การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ ในการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ

นางสาวสมถวิล วิจิตรวรรณา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา ภาควิชาวิจัยการศึกษา
คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-1036-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

10 ก.ย. 2546

A COMPARISION OF EFFICIENCY OF LATENT GROWTH CURVE, MULTILEVEL AND QUASI-SIMPLEX MODELS IN MEASURING UNIVARIATE AND MULTIVARIATE LONGITUDINAL CHANGE

Miss Somtawin Wijitwanna

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Doctor of Philosophy in Educational Measurement and Evaluation

Department of Educational Research

Faculty of Education

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-1036-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ ในการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ

โดย สมถวิล วิจิตรวรรณา

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์. ดร. ศิริชัย กาญจนวาสี

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตรจารย์. ดร. สุชาดา บวรกิติวงศ์

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต

....คณบดีคณะครุศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ สินลารัตน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีวัฒน์ ปิตยานนท์)

....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย กาญจนวาสี)

....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา บวรกิติวงศ์)

....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ผจงจิต อินทสุวรรณ)

....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช สุชีวะ)

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมถวิล วิจิตรวรรณา: การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ ในการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรเดี่ยว และตัวแปรพหุ (A COMPARISION OF EFFICIENCY OF LATENT GROWTH CURVE, MULTILEVEL AND QUASI-SIMPLEX MODELS IN MEASURING UNIVARIATE AND MULTIVARIATE LONGITUDINAL CHANGE) อาจารย์ที่ปรึกษา: รศ.ดร. ศิริชัย กาญจนวาสี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม: ผศ.ดร. สุชาดา บวรกิติวงศ์ 205 หน้า. ISBN 974-13-1036-6

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์สำคัญ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยวและชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ด้วยดัชนีความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูล คือ สถิติไค-สแควร์ ดัชนี GFI และ CFI ดัชนีรากกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือ (RMR) และดัชนีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าพารามิเตอร์ (RMSEA) การวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงโมเดลใหม่ คือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ที่จะสามารถอธิบายคะแนนเริ่มต้นและอัตราพัฒนาการที่แท้จริง ข้อมูลการวิจัยครั้งนี้ได้จากประชากรนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 469 คน ในโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษา สังกัดสำนักงานการประถมศึกษาจังหวัดสมุทรสงคราม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2542 โดยทำการวัดนักเรียนคนเดิม 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน เครื่องมือที่สร้างขึ้นในการวิจัยครั้งนี้คือ แบบสอบคู่ขนานวิชาคณิตศาสตร์ 5 ฉบับที่วัด 2 คุณลักษณะ คือ การคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา กระบวนการพัฒนาแบบสอบที่สำคัญ คือ การสร้างลักษณะเฉพาะของข้อสอบและการปรับเทียบคะแนนระหว่างบางฉบับที่ไม่เป็นคู่ขนาน การวิเคราะห์ข้อมูลโมเดลพหุระดับใช้โปรแกรม HLM ส่วนโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม EQS

ผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงเป็นโมเดลที่ใช้อธิบายการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ รองลงมาคือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ และโมเดลพหุระดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา **วิจัยการศึกษา** ลายมือชื่อนิสิต...

สาขาวิชา **การวัดและประเมินผลการศึกษา** ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา...

ปีการศึกษา **2543** ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม...

##3971949027: MAJOR EDUCATIONAL MEASUREMENT AND EVALUATION

KEY WORD: UNIVARIATE LONGITUDINAL CHANGE / MULTIVARIATE LONGITUDINAL CHANGE / LATENT GROWTH CURVE MODELS / MULTILEVEL MODELS / QUASI-SIMPLEX MODELS

SOMTAWIN WIJITWANNA: A COMPARISION OF EFFICIENCY OF LATENT GROWTH CURVE, MULTILEVEL AND QUASI-SIMPLEX MODELS IN MEASURING UNIVARIATE AND MULTIVARIATE LONGITUDINAL CHANGE

DISSERTATION ADVISOR: ASSOC. PROF. SIRICHAI KANJANAWASEE, Ph.D., DISSERTATION CO-ADVISOR: ASSIST. PROF. SUCHADA BOWARNKITIWONG, Ph.D., 205 pp. ISBN 974-13-1036-6

This research had two purposes. The first purpose was to compare the efficiency of latent growth curve models, multilevel models and quasi-simplex models in measuring univariate longitudinal change. The second purpose was to compare the efficiency of latent growth curve models, multilevel models and quasi-simplex models in measuring multivariate longitudinal change. The new quasi-simplex models with latent growth developed in this research in order to explain true initial and change parameters. The model fit indices were Chi-square, GFI, CFI, Root mean squared residual (RMR) and Root mean squared error of approximation (RMSEA). The longitudinal 5 wave data collected from the population of 469 Mathayom Suksa 2 students in Samusongkram Provice in the 1998 academic year. The research instruments were the 5 paralleled Mathematics Tests, each test consisting 2 traits Calculation and Problem Solving, the main processes of developing tests were constructing item-specification and equating some empirical nonparallel tests. Multilevel models employ HLM software, latent growth curve models and quasi-simplex models with latent growth employ covariance analysis EQS software.

Results indicated that latent growth curve models was the best efficiency in univariate and multivariate longitudinal change. The new quasi-simplex models with latent growth was the second efficiency and the last was multilevel models.

Department **Educational research** Student's signature Somtawin W.

Field of study **Educational Measurement and Evaluation** Advisor's signature Sirichai K.

Academic year **2000** Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นความสำเร็จที่เป็นรูปธรรมนี้ เกิดจากการก่อสานความรู้และประสบการณ์ทั้งปวงที่ผู้วิวจัยได้รับจากคณาจารย์ภาควิชาวิจัยการศึกษาทุกท่าน ตลอดช่วงเวลาที่ได้ศึกษาในระดับดุษฎีบัณฑิต โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย กาญจนวาสี ที่เมตตาให้โอกาส ให้ความรู้และคำแนะนำกระทั่งวิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร สุชาดา บวรกิตติวงศ์ หัวหน้าภาควิชาวิจัยการศึกษาที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะที่ทรงคุณค่าต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุวิมล ว่องวาณิช อาจารย์ที่ปรึกษาทางวิชาการที่เอื้ออาทรติดตามความก้าวหน้าของศิษย์มาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ามาร่วมสอบวิทยานิพนธ์ และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้สอนวิชาคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 และผู้บริหารของโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษาทั้ง 15 โรงเรียน ในสังกัดสำนักงานการประถมศึกษาจังหวัดสมุทรสงคราม ที่กรุณาให้ผู้วิจัยเก็บข้อมูลจากนักเรียนในสถานศึกษา และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการประถมศึกษาแห่งชาติ อันเป็นแหล่งวิทยาการแรกที่ให้ประสบการณ์การทำงานที่ทรงคุณค่าแก่ผู้วิจัย ก่อเกิดแรงบันดาลใจของการทำวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ และมอบทุนการวิจัยครั้งนี้ และขอน้อมรำลึกพระคุณ ดร. กมล ภู่ประเสริฐ ผู้เป็นปฐมครูในการทำงานด้านวิจัยของผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ ดร. นุพรรณ จาริยพานิช และเจ้าหน้าที่ศูนย์บริการการศึกษานอกโรงเรียนเขตบางกอกน้อย ที่เอื้อเฟื้อด้านเทคโนโลยีการนำเสนอผลการวิจัย ขอขอบคุณกัลยาณมิตรทุกท่านที่หนุนเกื้อเอื้ออาทรแก่ผู้วิจัย

ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณผู้มีรายนามในรายการอ้างอิงทุกท่าน โดยเฉพาะ John B. Willet, Robert c. MacCallum และคณะ ที่สร้างสรรค์สาระความรู้อันเป็นวิทยาทานสำคัญก่อให้เกิดความงอกงามด้านการวัดและการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาว (การวัดพัฒนาการ) แก่ผู้วิจัย จนเป็นงานวิจัยฉบับนี้

สมถวิล วิจิตรวรรณา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญ		ซ
สารบัญตาราง		ฌ
สารบัญแผนภาพ		ฎ
บทที่		
1	บทนำ	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	13
	สมมติฐานการวิจัย	14
	ขอบเขตของการวิจัย	16
	คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย	16
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	19
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
	ตอนที่ 1 แนวคิดและความเป็นมาเกี่ยวกับการวัดการเปลี่ยนแปลง	20
	ตอนที่ 2 การวัดการเปลี่ยนแปลงแนวใหม่	26
	ตอนที่ 3 แนวคิดและระเบียบวิธีการของโมเดลที่วัดการเปลี่ยนแปลง	39
	3.1 โมเดลพหุระดับ	39
	3.2 โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง	44
	3.3 โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์	49
	3.4 โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ใหม่ในการวิจัยครั้งนี้	50
	ตอนที่ 4 แนวคิด ทฤษฎีเกี่ยวกับคุณลักษณะที่วัด	55
	ตอนที่ 5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดการเปลี่ยนแปลง	57
3	วิธีดำเนินการวิจัย	63
	ประชากรและ กลุ่มตัวอย่าง	65
	ตัวแปรในการวิจัย	65
	เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	65
	การเก็บรวบรวมข้อมูล	72
	การวิเคราะห์ข้อมูล	72
	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดล	74

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.. 75

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐาน ความสามารถทางคณิตศาสตร์........................ 80

1.1 ค่าสถิติพื้นฐานคุณลักษณะการคิดคำนวณ และการแก้โจทย์ปัญหา 80

1.2 การตรวจสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความสามารถทางคณิตศาสตร์.. 84

1.3 การตรวจสอบแบบแผนการเปลี่ยนแปลงระยะยาว.. 85

1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความสามารถทางคณิตศาสตร์จากการวัด 5 ครั้ง ในช่วงเวลาต่างกัน 88

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ ในการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว............. 89

2.1 ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ 90

2.2 ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา.. 92

2.3 ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างคุณลักษณะการคิดคำนวณกับคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา.......... 95

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ในการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว.. 97

3.1 ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ 98

3.2 ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา.. 101

3.3 ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างคุณลักษณะการคิดคำนวณกับคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา 104

ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ในการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว.. 108

4.1 ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ.. 108

4.2 ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา.. 113

4.3 ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างคุณลักษณะการคิดคำนวณกับคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา 118

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเปรียบเทียบโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว 3 โมเดล	8
2	การเปรียบเทียบโมเดลของการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงจากการวัดแนวใหม่	36
3	แบบแผนการเปลี่ยนแปลงที่มีกำลังของตัวแปรอิสระสูงสุดแบบต่างๆ	42
4	ผลการวิเคราะห์ข้อสอบคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ฉบับทดลอง จำนวน 5 ฉบับ จากการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 500 คน	66
5	ผลการทดสอบความเท่ากันระหว่างความแปรปรวนของคะแนนแบบสอบคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ฉบับทดลอง จำนวน 5 ฉบับ	67
6	ผลการทดสอบความเท่ากันระหว่างคะแนนเฉลี่ยของแบบสอบคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ฉบับทดลอง จำนวน 5 ฉบับ	67
7	ผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของแบบสอบคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ฉบับทดลอง เป็นรายคู่ ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Post-hoc) ด้วยวิธีการของ Scheffe	68
8	ผลการทดสอบความเท่ากันระหว่างคะแนนเฉลี่ยของแบบสอบคณิตศาสตร์ ฉบับที่4 เมื่อปรับเทียบคะแนนแล้ว กับคะแนนเฉลี่ยรวมของแบบสอบ ฉบับที่ 1,2,3 และ 5 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2	69
9	ผลการทดสอบความเท่ากันระหว่างคะแนนเฉลี่ยของแบบสอบคณิตศาสตร์ ฉบับทดลอง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 5 ฉบับ เมื่อปรับเทียบคะแนน ฉบับที่ 4 แล้ว	71
10	สถิติเบื้องต้นของคะแนนจากแบบสอบคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เมื่อทำการปรับเทียบคะแนนแบบสอบฉบับที่ 4 แล้ว	71
11	ผลวิเคราะห์ค่าสถิติเบื้องต้นที่ได้จากการวัดการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง	80
12	ผลวิเคราะห์ค่าสถิติเบื้องต้นที่ได้จากการวัดการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง	82
13	ผลการทดสอบความแตกต่างคะแนนเฉลี่ยของการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง	84
14	ผลการทดสอบความแตกต่างคะแนนเฉลี่ยของการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง	84

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	ผลการวิเคราะห์แบบแผนการเปลี่ยนแปลงระยะยาว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน4	86
16	ผลการวิเคราะห์แบบแผนการเปลี่ยนแปลงระยะยาว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน	87
17	ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณลักษณะการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน	88
18	ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับเชิงเส้นตรงชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง	90
19	ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับเชิงเส้นโค้งชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง	92
20	ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างคุณลักษณะการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง	95
21	ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว การคิดคำนวณวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง	98
22	ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว การแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง	101
23	ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ระดับชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างคุณลักษณะการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง	104
24	ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง	108
25	ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง	113
26	ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างคุณลักษณะการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน	118
27	การเปรียบเทียบโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยว ระหว่าง 3 โมเดล คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน	122

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
28	การเปรียบเทียบโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยว ระหว่าง 3 โมเดล คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน	126
29	การเปรียบเทียบโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่าง 3 โมเดล คุณลักษณะการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน	130
30	การสรุปเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ ระหว่าง 3 โมเดล วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง ในช่วงเวลาต่างกัน	140
31	การเปรียบเทียบโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เมื่อกำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ของความคลาดเคลื่อนในการวัดซ้ำ 5 ครั้ง ในช่วงเวลาต่างกัน	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภาพ

แผนภาพ		หน้า
1	แบบแผนพัฒนาการ (growth patern)	22
2	แผนภาพโมเดล LCDA ที่ทำการวัด 2 ครั้งกับกลุ่มทดลอง 2 กลุ่ม	28
3	การแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Initial Ability, Effective Ability และ Learning Ability	30
4	โมเดลพลวัตลำดับขั้นการใช้สารสพติดในวัยรุ่นของ Graham และคณะ (ปี 1991)	32
5	โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว (univariate Latent Growth Curve Models) ที่มีแบบแผนการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรง จากการวัด 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน	48
6	โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรพหุ (multivariate Latent Growth Curve Model) จากการวัด 2 คุณลักษณะ 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน คุณลักษณะแรกมีแบบแผนการเปลี่ยนแปลงแบบ linear และคุณลักษณะที่ 2 มีแบบแผนการเปลี่ยนแปลงแบบ nonlinear	48
7	โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน ชนิดตัวแปรเดี่ยว (Univariate Quasi-Simplex Models) จากการวัด 1 คุณลักษณะ 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน	52
8	โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน ชนิดตัวแปรพหุ (Multivariate Quasi-Simplex Models) จากการวัด 2 คุณลักษณะ 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน	53
9	โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว (Univariate Quasi-Simplex Models with latent growth) ที่มีแบบแผนเชิงเส้นตรงจากการวัด 1 คุณลักษณะ 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน	53
10	โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรพหุ (Multivariate Quasi-Simplex Models with latent growth) จากการวัด 2 คุณลักษณะ 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน คุณลักษณะแรก มีแบบแผนการเปลี่ยนแปลงแบบ linear และคุณลักษณะที่ 2 มีแบบแผนการเปลี่ยนแปลงแบบ nonlinear	54
11	ลำดับขั้นของวิธีการวิจัยการวัดการเปลี่ยนแปลง..........................	64
12	แนวโน้มคะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน	81
13	ช่วงคะแนนคุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ระหว่างเปอร์เซนไทล์ที่ 25 ถึงเปอร์เซนไทล์ที่ 75 จากการวัด 5 ครั้ง ในช่วงเวลาที่ต่างกัน	81

สารบัญแผนภาพ (ต่อ)

แผนภาพ		หน้า
14	แนวโน้มคะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน	83
15	ช่วงคะแนนคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ระหว่างเปอร์เซนไทล์ที่ 25 ถึงเปอร์เซนไทล์ที่ 75 จากการวัด 5 ครั้ง ในช่วงเวลาที่ต่างกัน	83
16	การเปรียบเทียบประมาณค่าคะแนนเริ่มต้นของโมเดลพหุระดับ 3 โมเดล ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน	91
17	การเปรียบเทียบประมาณค่าคะแนนเริ่มต้นของโมเดลพหุระดับ 3 โมเดล ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน	94
18	ผลการประมาณค่าโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ (โมเดล GCL-401) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน	100
19	ผลการประมาณค่าโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ (โมเดล SLG-1) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน	103
20	ผลการประมาณค่าโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ (โมเดล GCLSL-41) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน	106
21	ผลการประมาณค่าโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน	112
22	ผลการประมาณค่าโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน(โมเดล QCL-M3)	112
23	ผลการประมาณค่าโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน	117
24	ผลการประมาณค่าโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน(โมเดล SLQ-M1)	117

สารบัญแผนภาพ (ต่อ)

แผนภาพ		หน้า
25	ผลการประมาณค่าโมเดลโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างคุณลักษณะการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน	120
26	ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์โมเดลพหุระดับ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ จากการวัด 5 ครั้ง ที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากัน	124
27	ผลการประมาณค่าโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ จากการวัด 5 ครั้ง ที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากัน	125
28	ผลการประมาณค่าโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ จากการวัด 5 ครั้ง ที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากัน	125
29	ผลการประมาณค่าโมเดลพหุระดับ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ จากการวัด 5 ครั้ง ที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากัน	128
30	ผลการประมาณค่าโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ จากการวัด 5 ครั้ง ที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากัน	129
31	ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ จากการวัด 5 ครั้ง ที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากัน	129

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวเป็นวิธีวิทยาการวัดแขนงหนึ่ง ที่มีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวมีความสำคัญเกี่ยวข้องกับทุกศาสตร์ การเปลี่ยนแปลงจะแสดงถึงภาวะของพัฒนาการที่เกี่ยวข้องกับสภาพที่มีอยู่เดิม อาจจะเป็นการเพิ่มพูน คงที่ หรือเสื่อมถอยจากเดิม สำหรับทางการศึกษาที่มีเป้าหมายให้ผู้เรียนเกิดการเปลี่ยนแปลงพุทธิพิสัย จิตพิสัย และทักษะพิสัยในทิศทางที่พึงประสงค์ ความสำเร็จในการสอนและการจัดทำหลักสูตร ควรพิจารณาจากพัฒนาการหรือการเปลี่ยนแปลงการเรียนรู้ของผู้เรียน ควบคู่กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เพราะผู้เรียนเริ่มต้นการเรียนด้วยความรู้ที่ไม่เท่ากัน คะแนนผลสัมฤทธิ์เป็นตัวบ่งชี้ถึงปลายทางพัฒนาการของผู้เรียน แต่คะแนนการเปลี่ยนแปลงที่ได้จากการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว จะบ่งชี้ถึงช่วงห่างที่ผู้เรียนพัฒนาได้ ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการจัดการศึกษาทำให้ผู้เรียนเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม ไปในทิศทางที่หลักสูตรพึงประสงค์มากน้อยเพียงใด การวัดการเปลี่ยนแปลงหรือการวัดพัฒนาการจึงเป็นการวัดที่สอดคล้องกับพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542 ที่จะเอื้อประโยชน์ต่อการวางแผนและชี้ถึงประสิทธิภาพของการจัดการศึกษา

การวัดการเปลี่ยนแปลงการเรียนรู้เป็นประเด็นได้รับความสนใจมานานเกือบ 80 ปี (Thorndike, 1924; Thomson, 1924 อ้างถึงใน อรุณี อ่อนสวัสดิ์ 2537) ในช่วงเวลาที่ผ่านมามีการพัฒนาและนำเสนอวิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงวิธีต่างๆมากมาย The International Encyclopedia of Education (1994) แบ่งประเภทของการวัดการเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณเป็น 2 ประเภท คือ วิธีการวัดแนวเดิม (Traditional methods of measuring changes) และวิธีการวัดแนวใหม่ (Modern methods of measuring changes) การวัดการเปลี่ยนแปลงแนวเดิมได้จากข้อมูลการวัด 2 ครั้ง (two-wave) ผลจากการวัดการเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณมักจะเรียกว่า คะแนนเพิ่ม (gain score) สำหรับวิธีการวัดแนวใหม่ได้จากข้อมูลการวัดหลายครั้ง (multiwave) หรือเป็นการวัดเปลี่ยนแปลงระยะยาว ผลเชิงปริมาณจากการวัดประเภทนี้มักจะเรียกว่า คะแนนพัฒนาการ (growth score) อย่างไรก็ตามคะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score) เป็นคำทั่วไปที่ใช้เรียกคะแนนประเภทนี้

วิธีการวัดแนวเดิมส่วนใหญ่วิเคราะห์จากคะแนนที่สังเกตได้ หรือคะแนนดิบจากการวัด 2 ครั้ง ไม่มีการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนในการวัด คะแนนการเปลี่ยนแปลงที่ได้อยู่ในรูปสมการเส้นตรงไม่สามารถใช้กับรูปแบบพัฒนาการแบบเส้นโค้งได้ จากการศึกษาเอกสารและ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกล่าวได้ว่า การวัดการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรก ๆ จนถึงปลายคริสตศักราช 1980 ส่วนใหญ่เป็นการวัดแนวเดิมที่สำคัญมี 6 วิธี สำหรับวิธีการวัดแบบดั้งเดิมจริงๆ คือ การหาคะแนนความแตกต่าง (difference score) ที่ได้จากผลต่างระหว่างคะแนนการวัด 2 ครั้ง ก่อนและหลังการเรียนรู้ ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐานที่เข้าใจง่ายและใช้แพร่หลายมาก แต่ต่อมามีการวิจารณ์ถึงข้อบกพร่องของวิธีนี้ เช่น ผู้ที่ได้คะแนนครั้งแรกสูงมีแนวโน้มได้คะแนนความแตกต่างต่ำกว่าผู้ที่ได้คะแนนครั้งแรกต่ำ ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความแตกต่างกับคะแนนการวัดไม่เป็นความสัมพันธ์ที่แท้จริง ความเที่ยงของคะแนนความแตกต่างมีค่าต่ำ ต่อมามีการพัฒนาวิธีการใหม่ ๆ ขึ้นมา ได้แก่ วิธีการหาคะแนนการเปลี่ยนแปลงเศษเหลือที่ Manning and Dubois นำเสนอในปี ค.ศ.1958 วิธีการหาคะแนนการเปลี่ยนแปลงที่เป็นอิสระจากคะแนนจริงก่อนเรียนที่ Tuckman และคณะ นำเสนอในปี ค.ศ.1966 แต่ทั้ง 2 วิธีนี้พบว่าขาดความคงเส้นคงวาในการประมาณค่า เป็นการพยายามสร้างจุดเริ่มต้นให้เท่ากัน โดยกำจัดอิทธิพลของคะแนนเริ่มต้นออกด้วยวิธีการทางสถิติ มีปัญหาในด้านความสมเหตุสมผลและการแปลผล ส่วนวิธีการประมาณคะแนนเพิ่มที่แท้จริงที่ใช้การถดถอยทางสถิติที่ Lord นำเสนอในปี ค.ศ. 1956 มีจุดเด่นคือผู้ที่ได้คะแนนครั้งแรกสูงจะได้คะแนนเพิ่มสูงกว่าผู้ที่ได้คะแนนครั้งแรกต่ำ แต่มีจุดอ่อนคือคะแนนเพิ่มจากวิธีนี้แคบกว่าวิธีการหาคะแนนความแตกต่าง (Rogosa, 1982 และ Willet, 1994) วิธีการหาคะแนนเพิ่มสัมพัทธ์ ที่ศิริชัย กาญจนวาสี พัฒนาขึ้นมาในปี ค.ศ. 1989 (พ.ศ.2532) มีจุดเด่นที่ลดปัญหาเรื่องอิทธิพลเพดานและเป็นคะแนนที่ไม่ขึ้นกับกลุ่มผู้สอบ แต่จุดอ่อนคือ ยังไม่มีวิธีประมาณค่าความเที่ยงของคะแนนการเปลี่ยนแปลง สำหรับวิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงที่อิงทฤษฎีการเรียนรู้และการขจัดอิทธิพลเพดานที่ อรุณี อ่อนสวัสดิ์ พัฒนาขึ้นในปี พ.ศ.2537 มีจุดเด่นที่ความเที่ยงของคะแนนการเปลี่ยนแปลงสูงกว่าวิธีการหาคะแนนความแตกต่างและวิธีการของลอร์ด แต่ยังไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะยืนยันเนื่องจากการทดสอบไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (อรุณี อ่อนสวัสดิ์, 2537) สำหรับวิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงวิธีต่าง ๆ ที่พัฒนาดังกล่าวมานี้ เพื่อแก้ปัญหาจุดอ่อนของวิธีการหาคะแนนความแตกต่าง วิธีการวัดแบบเดิมเหล่านี้สรุปได้ว่า วิธีการส่วนใหญ่ได้จากการวิเคราะห์คะแนนดิบที่ไม่ได้นำความคลาดเคลื่อนในการวัดเข้ามาร่วมวิเคราะห์ และการวัด 2 ครั้งเป็นเหมือนการกำหนดวิถีการเปลี่ยนแปลงให้เป็นรูปแบบเส้นตรง (linear change pattern) เพียงอย่างเดียว ทั้งที่แบบแผนการเปลี่ยนแปลงอาจเป็นลักษณะอื่นๆ เช่น แบบเส้นโค้ง แบบโลจีส เป็นต้น

วิธีการวัดแนวใหม่ที่เป็นการวัดมากกว่าสองครั้ง มีลักษณะการวิเคราะห์คะแนนจริงร่วมกับคะแนนสังเกตได้ จึงมีค่าประมาณความคลาดเคลื่อนในการวัด วิธีการวัดแนวใหม่สามารถใช้กับรูปแบบพัฒนาการแบบเส้นตรงและแบบอื่น ๆ ได้ จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกล่าวได้ว่า การวัดการเปลี่ยนแปลงในช่วงต้นคริสตศักราช 1990 เป็นต้นมาเป็นการวัดแนวใหม่ ที่นำความก้าวหน้าของวิธีวิทยาด้านทฤษฎีการวัด สถิติ และความล้ำสมัยของเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ บางวิธีสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งคะแนนการเปลี่ยนแปลงที่เป็นตัวแปรเดี่ยว (univariate change) และคะแนนการเปลี่ยนแปลงที่เป็นหลายตัวแปรตาม

หรือตัวแปรพหุ (multivariate change) วิธีการวัดแนวใหม่เท่าที่ผู้วิจัยรวบรวมมาตั้งแต่อดีตจนถึงช่วง ค.ศ. 2000 ที่สำคัญมี 10 วิธี ซึ่งผู้วิจัยจัดประเภทวิธีวิทยาการวัดการเปลี่ยนแปลงแนวใหม่ได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ตามลักษณะของการวิเคราะห์ ได้ดังนี้ กลุ่มแรกเป็นการประยุกต์ใช้โมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling: SEM) หรือการวิเคราะห์โครงสร้างความแปรปรวนร่วม (Covariance Structure Analysis) ซึ่งมีจุดมุ่งหมายหลักคือการทดสอบสมมติฐานทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่สังเกตได้กับตัวแปรที่สังเกตไม่ได้ (ตัวแปรแฝง) โดยใช้ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรเป็นฐานการวิเคราะห์ กลุ่มที่สองเป็นการประยุกต์ใช้โมเดลสัมประสิทธิ์เชิงสุ่ม (Random Coefficient Models) เป็นวิธีการที่มีจุดมุ่งหมายหลักคือวิเคราะห์ข้อมูลที่มีโครงสร้างลดหลั่นหลายระดับ กลุ่มที่สามเป็นกระบวนวิธีการทฤษฎีการวัดเชิงพลวัต (Dynamic Measurement Theory) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่อิงแนวคิดทฤษฎีการวัด กลุ่มที่สี่การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis Approaches) วิธีการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในแนวใหม่นี้ส่วนใหญ่เป็นการวิเคราะห์ระดับคะแนนจริงหรือตัวแปรแฝง ที่นำเอาความคลาดเคลื่อนในการวัดมาร่วมวิเคราะห์ สำหรับผลที่ได้จากกระบวนวิธีการและโมเดลต่าง ๆ เหล่านี้ ผู้วิจัยจัดได้เป็น 5 ประเภท คือ ปริมาณการเปลี่ยนแปลง สัดส่วนบุคคลที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ปริมาณเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตามเป้าหมาย แบบแผนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสิ่งที่วัด และการจำแนกคุณลักษณะที่เปลี่ยนแปลงออกจากคุณลักษณะที่ไม่เปลี่ยนแปลง เป็นต้น

โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ที่ประยุกต์ใช้กระบวนวิธีการสมการโครงสร้าง (SEM) หรือการวิเคราะห์โครงสร้างความแปรปรวนร่วม มีหลายโมเดล ได้แก่ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง (Meredith and Tisak, 1990) ที่มีแนวคิดว่า คะแนนการวัดแต่ละครั้งมีองค์ประกอบร่วมที่เป็นตัวแปรแฝง 2 องค์ประกอบคือ คะแนนเริ่มต้น (intercept) และอัตราพัฒนาการต่อหนึ่งช่วงเวลา (slope) ทำให้ทราบถึงปริมาณและความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลง โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์หรือการถดถอยแบบออโตที่ Joreskog นำเสนอในปี ค.ศ. 1970 ที่มีแนวคิดว่า ตัวแปรแฝงของการวัดแต่ละครั้งคือคะแนนจริง คะแนนจริงของการวัดครั้งหนึ่งมีอิทธิพลโดยตรงต่อคะแนนจริงครั้งที่อยู่ติดกัน โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว (Meredith and Tisak, 1990) แนวคิด คือ คะแนนดิบจากการวัดแต่ละบุคคลในช่วงเวลาที่ต่างกัน จะประกอบด้วยคะแนน 2 ส่วน คือ คะแนนองค์ประกอบร่วมและคะแนนองค์ประกอบเฉพาะ เป็นโมเดลตรวจสอบน้ำหนักองค์ประกอบร่วมของตัวแปรเดียวกันที่วัดในช่วงเวลาต่างๆ โมเดลตัวแปรแฝงของเมอร์ดิธ (Meredith, 1989) เป็นโมเดลที่ใช้กับแบบแผนการทดลอง เพื่อจำแนกคุณลักษณะที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงออกจากคุณลักษณะที่ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง มีแนวคิดว่าความแตกต่างระหว่างบุคคลเป็นแหล่งแรกของการเปลี่ยนแปลง และความแตกต่างภายในกลุ่มเป็นแหล่งความคลาดเคลื่อนที่ไม่แปรผัน โดยกำหนดคะแนนจริงของการวัดแต่ละครั้งเป็นตัวแปรแฝง

โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวกลุ่มที่สอง ที่เป็นการประยุกต์วิธีการสัมประสิทธิ์เชิงสุ่ม คือ โมเดลพหุระดับ ซึ่งเป็นโมเดลที่ทำให้ทราบถึงปริมาณการเปลี่ยนแปลงเป็นรายบุคคลและเป็นกลุ่ม (Bryk and Raudenbuch, 1987) สำหรับโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวกลุ่มที่สามที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีการวัดเชิงพลวัตมีหลายโมเดล ได้แก่ โมเดลราส์ชพหุมิติสำหรับการวัดเปลี่ยนแปลงการเรียนรู้ (Embretson, 1989) สิ่งที่ได้จากโมเดลนี้คือปริมาณการเปลี่ยนแปลงรายบุคคลและคุณภาพของข้อสอบ โมเดลการวัดตัวแปรแฝงพลวัตลำดับขั้น (Collins and Cliff, 1988) เป็นโมเดลที่บอกถึงสัดส่วนของบุคคลที่เกิดการเปลี่ยนแปลง โมเดลกัทแมนซิมเพลกซ์ (Collins, 1990) เป็นโมเดลทำให้ทราบปริมาณการเปลี่ยนแปลงรายบุคคลและรายกลุ่ม สำหรับโมเดลกลุ่มที่สามที่เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ การวิเคราะห์อนุกรมเวลา จะทำให้ทราบปริมาณการเปลี่ยนแปลง (Gottman, 1995) และการวิเคราะห์การเหลือรอดที่ Willet and Singer (1989) ประยุกต์จากวิธีการวิเคราะห์ event-history ที่ทำให้ทราบถึงปริมาณเวลาที่บุคคลเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องการวัดการเปลี่ยนแปลงทั้งแนวเดิมและแนวใหม่ในต่างประเทศมีจำนวนมาก ผู้วิจัยเลือกนำเสนอในที่นี้เฉพาะวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวัดระหว่างหลายวิธี สำหรับงานวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงแนวเดิมที่มีการวัด 2 ครั้ง ได้แก่ William และคณะ (1984) ศึกษาความคลาดเคลื่อนของคะแนนเพิ่ม 3 วิธี คือ วิธีดั้งเดิม วิธีเศษเหลือ และวิธีของทักเกอร์ ส่วน Locasscio and Cordray (1983 อ้างถึงใน วินิจ เทือกทอง 2537) เปรียบเทียบวิธีการหาคะแนนเพิ่มกับวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม ส่วนงานวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงแนวใหม่ ได้แก่ Chou, Bentler and Pentz (1998) เปรียบเทียบโมเดลพหุระดับและโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการสูบบุหรี่ของนักเรียนจากการเก็บข้อมูล 5 ครั้ง MacCallum และคณะ (1997) ศึกษาทางจิตวิทยาคลินิคถึงการเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมนที่ชี้ถึงการขัดแย้งของคู่สมรสจากข้อมูลการวัด 5 ครั้ง โดยการวิเคราะห์ด้วยโมเดลพหุระดับและโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ทั้งชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ สำหรับ Marsh (1993) เปรียบเทียบโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์และโมเดลหนึ่งองค์ประกอบ ในการประเมินประสิทธิภาพการสอนของอาจารย์ในมหาวิทยาลัยเอกชนที่มีการเก็ฐข้อมูลจำนวน 8 ครั้ง

สำหรับงานวิจัยการวัดการเปลี่ยนแปลงในประเทศไทย ได้แก่ อรุณี อ่อนสวัสดิ์ (2537) พัฒนาวิธีการวัดการเปลี่ยนแปลง 8 วิธี ที่อิงทฤษฎีการเรียนรู้และการขจัดอิทธิพลเพดาน เป็นวิธีที่ใช้คะแนนดิบจากการวัดก่อนและหลังการเรียนรู้ 4 วิธี และวิธีการค่าประมาณคะแนนจริง 4 วิธี วินิจ เทือกทอง (2537) เปรียบเทียบวิธีการหาคะแนนเพิ่ม 5 วิธีด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล คือ วิธีดั้งเดิม วิธีเศษเหลือ วิธีของลอร์ด วิธีของศิริชัย และวิธีเทียบส่วนร้อย สำหรับงานวิจัยการวัดการเปลี่ยนแปลงแนวใหม่ คือ ประสิทธิ์ ไชยกาล (2539) เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว 3 แบบที่กำหนด

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณิตศาสตร์จากการวัด 3 ครั้ง เอื้อมพร หลินเจริญ (2539) เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางวิทยาศาสตร์ด้านความรู้ของนักเรียน ในสถานศึกษาที่แตกต่างกันจากการวัด 2 ครั้ง โดยใช้โมเดลสมการโครงสร้างและตัวแปรพยากรณ์ที่พัฒนาจากโมเดลของ Pike (1991) วีระศักดิ์ คำล้าน (2540) นำโมเดลพหุระดับมาศึกษาพัฒนาการของผลสัมฤทธิ์ด้านคำศัพท์ภาษาอังกฤษที่ทำการวัด 8 ครั้ง อิทธิพงษ์ ตั้งสกุลเรืองไล (2541) เปรียบเทียบโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง 4 รูปแบบในการศึกษาพัฒนาการทางร่างกาย และผลสัมฤทธิ์ทางคณิตศาสตร์จากการวัด 5 ครั้ง สุภารัตน์ เรือจันทึก (2542) เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างโมเดลพหุระดับกับโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระยะยาวทางการเรียนสิ่งแวดล้อมจากการวัด 8 ครั้ง และมนต์ทิวา ไชยแก้ว (2542) เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวโดยใช้โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง เมื่อกำหนดอัตราการขาดหายของข้อมูล ช่วงเวลาการวัด และจำนวนครั้งการวัดที่แตกต่างกัน จากฐานข้อมูลทุติยภูมิคือผลสัมฤทธิ์ทางคณิตศาสตร์ 5 ครั้ง และอัตราการเข้าเรียนระดับประถมศึกษา มัธยมศึกษา และอุดมศึกษาของประเทศต่าง ๆ ในช่วงระยะเวลา 5 ปี

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยสนใจศึกษาการวัดการเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณ ที่มีการเก็บข้อมูลระยะยาว (longitudinal data) การวิเคราะห์เพื่อให้ได้คะแนนการเปลี่ยนแปลงที่เป็นความสามารถที่แท้จริง ไม่ใช่คะแนนการเปลี่ยนแปลงที่เป็นตัวแปรสังเกตได้ ผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวโดยใช้โมเดลสมการโครงสร้าง (SEM) เพราะมีลักษณะเด่นคือ การนำความคลาดเคลื่อนในการวัดมาร่วมวิเคราะห์ เป็นความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงจากคะแนนการวัดที่เป็นตัวแปรสังเกตได้ (manifest variables) มาสู่คะแนนจริงที่เป็นตัวแปรแฝง (latent variables) นอกจากนี้เป็นรูปแบบที่ยอมรับกันทั่วไปว่ามีความแกร่งและมีความพอเพียงในเชิงสถิติ มีความยืดหยุ่นสูงในการปรับขยายจากการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวที่มีตัวแปรตาม 1 ตัวหรือโมเดลตัวแปรเดี่ยว (univariate change) มาสู่การวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวตัวแปรตามหลายตัวหรือโมเดลตัวแปรพหุ (multivariate change) ตลอดจนมีความสะดวกที่จะศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลส่งผลถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลง และขนาดการเปลี่ยนแปลงที่สามารถทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปร และทดสอบโครงสร้างขององค์ประกอบเดียวกันที่วัดในเวลาต่างกันได้ สำหรับโมเดลที่เลือกใช้ครั้งนี้ คือ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ สำหรับโมเดลพหุระดับ เป็นวิธีที่มีแนวคิดการวิเคราะห์ที่คำนึงถึงโครงสร้างของระดับข้อมูล

โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง (Latent Growth Curve Models : LGC) มีจุดเด่นหลายประการ คือ เป็นโมเดลประหยัด ง่ายต่อการตีความ ไม่มีความลำเอียงในการประมาณค่าสามารถประมาณค่าได้อย่างดีแม้แบบแผนพัฒนาการจะเป็นเส้นตรงหรือไม่เป็นเส้นตรงก็ตามสามารถประมาณค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงและความคลาดเคลื่อนในการวัดได้ แม้กลุ่มตัวอย่างจะน้อยหรือเมื่อมีการขาดหายของข้อมูล (McArdle and Hamagami, 1995; Willet and Sayer, 1994) และนักวิธีวิทยาหลายท่านสนับสนุนถึงการใช้วิธีโค้งพัฒนาการ ฯ ว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุด

วิธีหนึ่งในการศึกษาการเปลี่ยนแปลง คือ Rogosa, Brandt and Zimowski (1982), Rogosa and Willet (1985) Stoolmiller (1995) และ Duncan และคณะ (1999) ผู้วิจัยจึงเลือกโมเดลมาศึกษา ด้วยเหตุผลดังกล่าวและเนื่องจากโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง มีกรอบแนวคิดว่าคะแนนการวัดแต่ละครั้ง เป็นคะแนนผสม (composite score) ที่ประกอบด้วยคะแนนแฝง 3 ส่วน คือ คะแนนเริ่มต้น อัตราพัฒนาการ และคะแนนความคลาดเคลื่อนในการวัด โดยที่องค์ประกอบร่วมที่แฝงอยู่ในคะแนนการวัดทุกครั้ง คือ คะแนนเริ่มต้นและอัตราพัฒนาการ ส่วนคะแนนความคลาดเคลื่อนในการวัดเป็นองค์ประกอบเฉพาะของการวัดแต่ละครั้ง คะแนนที่เปลี่ยนแปลงไปจะต้องเกี่ยวข้องกับเวลาอย่างเป็นระบบ

งานวิจัยที่ใช้โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงในการวัดการเปลี่ยนแปลงด้านต่างๆ ได้แก่ McArdle and Epotein (1987) ใช้โมเดลนี้ศึกษาพัฒนาการของระดับสติปัญญาของเด็กที่ทำการวัด 4 ครั้ง Stoolmiller (1994) ใช้โมเดลนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมที่ต่อต้านสังคมจากวัยเด็กไปถึงวัยรุ่น มีการเก็บข้อมูลติดตามจำนวน 4 ครั้ง เป็นการศึกษาทั้งชนิดตัวแปรเดี่ยวและชนิดตัวแปรพหุ สำหรับชนิดตัวแปรเดี่ยว คือ ศึกษาแบบแผนการเปลี่ยนแปลง และชนิดตัวแปรพหุที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมจากวัยเด็กมาสู่วัยรุ่นตอนต้น งานวิจัยของ Duncan and Duncan (1996) นำโมเดลนี้ในเพื่อศึกษาการขาดหายของข้อมูล ในการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของการใช้สารเสพติดของวัยรุ่นจากการติดตาม 5 ครั้ง Piccinnin (1994) ใช้การวิเคราะห์โมเดลนี้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านความรู้กับกลุ่มผู้สูงอายุ Willett and Sayer (1996) ใช้โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้ามโดเมน คือระหว่างการอ่านและคณิตศาสตร์ที่มีการวัด 3 ครั้ง เมื่อกำหนดลักษณะการแจกแจงความคลาดเคลื่อนและความแปรปรวนความคลาดเคลื่อนในรูปแบบต่างๆ

ส่วนโมเดลพหุระดับ (Multilevel Models : MLM) เป็นโมเดลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของบุคคลอย่างน้อย 2 ระดับ คือ พัฒนาการรายบุคคลจากการวัดหลายครั้ง แสดงถึงความผันแปรภายในของบุคคลนั้น (within-subject) และพัฒนาการของบุคคลเป็นส่วนหนึ่งของพัฒนาการระหว่างบุคคล (between-subjects) ดังนั้นโมเดลการวัดรายบุคคลที่มีเวลาเป็นตัวแปรอิสระ จึงเป็นหน่วยระดับย่อยที่ซ้อนใน (nested data) พัฒนาการระหว่างบุคคล ผลการวิเคราะห์ระดับแรกได้ค่าคะแนนพัฒนาการภายในบุคคล และระดับที่สองได้คะแนนพัฒนาการระหว่างบุคคล นอกจากนั้นโมเดลพหุระดับมีกระบวนการวิเคราะห์ที่ให้ความสนใจความแตกต่างระหว่างหน่วยที่วิเคราะห์ เป็นการลดความผิดพลาดในการสรุปผลระหว่างระดับ (aggregation bias) ซึ่งจะทำให้การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การทำนายมีความถูกต้องมากขึ้น ความคลาดเคลื่อนในการทำนายต่ำลง นอกจากนี้แล้วโมเดลนี้สามารถประมาณค่า คะแนนเริ่มต้น และ อัตราพัฒนาการ ที่ใช้อธิบายถึงพัฒนาการเป็นรายบุคคลและรายกลุ่มได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงเลือกที่จะใช้โมเดลพหุระดับในศึกษาการเปลี่ยนแปลงระยะยาว

งานวิจัยที่ใช้โมเดลพหุระดับในการวัดเปลี่ยนแปลง ได้แก่ Bryk and Raudenbush (1987) ใช้โมเดลพหุระดับที่วิเคราะห์ 2 ระดับในการศึกษาพัฒนาการทางสติปัญญาของนักเรียนที่มีการวัด 4 ครั้ง และการวิเคราะห์ 3 ระดับในการศึกษาพัฒนาการของคุณลักษณะทางวิทยาศาสตร์ที่มีการวัด 4 ครั้ง Burchinal และคณะ (1994) ใช้โปรแกรม HLM เปรียบเทียบพัฒนาการของเด็กปกติกับเด็กพิการที่เรียนกับเพื่อนวัยเดียวกัน-ต่างวัยกัน มีการเก็บข้อมูลจำนวน 4-8 ครั้ง Yang and Goldstein (1996) ใช้โมเดลพหุระดับที่วิเคราะห์ 2 ระดับในการพยากรณ์พัฒนาการของร่างกายของกลุ่มทารก ที่จำแนกตามเพศและเมือง จำนวนครั้งของข้อมูลกลุ่มตัวอย่างมีตั้งแต่ 1 –17 ครั้ง สำหรับการวิเคราะห์ 3 ระดับ ใช้ข้อมูลการสอบระดับมัธยมศึกษาที่มีการสอบกับนักเรียนจำนวน 3 รุ่นติดต่อกัน จำแนกตามโรงเรียน สังกัดและเขต เพื่อเปรียบเทียบพัฒนาการทางวิชาการของโรงเรียน

สำหรับการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการเรียนรู้ระยะยาว ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงทางการเรียนรู้ในครั้งหลังจะได้รับอิทธิพลการส่งถ่ายความรู้จากครั้งก่อนหน้านั้น ซึ่งตรงกับหลักการถดถอยแบบออโต (autoregressive model) ของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ (Quasi-Simplex Models หรือ QSM) นอกจากนั้นยังนำความคลาดเคลื่อนในการวัดมาร่วมวิเคราะห์ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาโมเดลนี้ นอกจากนี้คะแนนจากครั้งแรกใช้ในการพยากรณ์คะแนนครั้งถัดไปได้ Stoolmiller (1995) กล่าวว่า นักวิธีวิทยาหลายท่านสนับสนุนการใช้กระบวนการถดถอยแบบออโตในการศึกษาการเปลี่ยนแปลง คือ Gollob and Reichardt 1987; Kessler and Greenberg,1981; Maccoby and Martin, 1983

งานวิจัยที่ใช้โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ในการวิจัยด้านต่างๆ ได้แก่ Hanna and Lei (1985) ใช้โมเดลโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ในการศึกษาพัฒนาการทางด้านสังกัปและโจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4-6 ที่ทำการวัด 3 ครั้ง Marsh และคณะ (1993) นำเสนอการวิเคราะห์พัฒนาการของสติปัญญาของเด็ก ที่ใช้โมเดลโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์จากการวัด 4 ครั้ง และ Bast และ Reitsma (1997) ใช้โมเดลนี้ในการศึกษาพัฒนาการของการอ่านของเด็กจากการวัด 4 ครั้ง เป็นต้น

เมื่อผู้วิจัยพิจารณาเลือกที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระยะยาวด้วยโมเดลพหุระดับ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ ด้วยเหตุผลดังกล่าวแล้ว ผู้วิจัยได้ศึกษารายละเอียดโมเดลทั้งสาม และวิเคราะห์ในแง่มุมต่างๆแล้วสรุปเป็นประเด็น เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยโดยนำเสนอในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวทั้ง 3 โมเดล

ประเด็น	โมเดลพหุระดับ	โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง	โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์
1. โมเดลพื้นฐาน	สมการถดถอยร่วมกับหลักการสัมประสิทธิ์แบบสุ่ม เป็นโมเดลพหุระดับใช้วิเคราะห์ข้อมูลต่างระดับที่โครงสร้างข้อมูลระดับย่อยซ้อนใน (nested) ระดับสูงใหญ่	growth curve ในการศึกษาแบบแผนการเปลี่ยนแปลงรายบุคคลที่ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบ แบบ principal component analysis	simplex model ที่มีการวัดคุณลักษณะเดียวกันอย่างต่อเนื่อง ผลการวัดครั้งหนึ่งส่งอิทธิพลทางตรงต่อการวัดครั้งที่ติดกัน (autoregression)
2. การพัฒนาโมเดลมาสู่การวัดการเปลี่ยนแปลง	Goldstein (1986) และ Bryk & Raudenbuch (1987) ประยุกต์ใช้โมเดลพหุระดับเชิงเส้น 2 ระดับในการวัดการเปลี่ยนแปลง ระดับแรกคือ โมเดลการวัดซ้ำ และระดับสอง คือโมเดลระหว่างบุคคล	Meredith and Tisak (1984, 1990) ใช้โมเดลสมการโครงสร้าง(SEM) และนำความคลาดเคลื่อนในการวัดมาร่วมวิเคราะห์ เรียกโมเดลนี้ว่า latent growth curve models	Joreskog (1970) ใช้โมเดลสมการโครงสร้าง (SEM) และนำความคลาดเคลื่อนในการวัดมาร่วมวิเคราะห์ เรียกโมเดลนี้ว่า quasi- simplex models
3. ชื่อต่างๆ ของโมเดล	Multilevel Model (MLM), Hierarchical Linear Model (HLM), Mixed Model, Random Coefficient Model	Latent Growth Curve Models (LGC), Latent Curve Approach (LCA), Structural Curve Model	Quasi-Simplex Models (QSM) , Autoregressive Model, Quasi-Markov Model, Dynamic factor Model
4. แนวคิด	คะแนนการวัดแต่ละครั้งจำแนกอย่างน้อยเป็น 2 ระดับ คือ ระดับแรกเป็นเหตุการณ์การวัด (measurement level) เป็นส่วนย่อยที่ซ้อนในระดับสอง คือ ระดับบุคคล (individual)	คะแนนการวัดแต่ละครั้งมีองค์ประกอบร่วม คือ คะแนนเริ่มต้น (intercept) อัตราพัฒนาการ (slope) และองค์ประกอบเฉพาะ คือ ความคลาดเคลื่อนในการวัด	คะแนนจริงของการวัดซ้ำครั้งหนึ่งส่งอิทธิพลไปยังคะแนนจริงครั้งที่ติดกัน

ตารางที่ 1 ต่อ

ประเด็น	โมเดลพหุระดับ	โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง	โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์
5. โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล	HLM, MLn, AUFIT VARCL9 HLM วิเคราะห์ข้อมูลกรณีตัวแปรตามเดี่ยว วิเคราะห์ได้ 3 ระดับ MLn วิเคราะห์ข้อมูลได้ทั้งตัวแปรเดี่ยว และตัวแปรพหุ วิเคราะห์ได้ 15 ระดับ AUFIT สามารถตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูล VERCL 9 วิเคราะห์ได้ 9 ระดับ	โปรแกรมที่ใช้หลักการสมการโครงสร้าง (SEM) เช่น LISREL , EQS , SAS LISCOMP, COSAN โปรแกรม LISREL และ EQS วิเคราะห์ข้อมูลได้ทั้งตัวแปรตามเดี่ยว และตัวแปรตามพหุ มีความยืดหยุ่นสูงและสะดวกในการใช้ตัวชี้วัดหลายตัวเป็นตัวแทนของตัวแปรแฝงและตัวพยากรณ์	โปรแกรมที่ใช้หลักการสมการโครงสร้าง (SEM) เช่น LISREL , EQS , SAS, LISCOMP, COSAN
6. ข้อตกลงเบื้องต้น	1. เทอม random แต่ละระดับ มีการแจกแจงเป็นปกติ และอิสระ 2. เทอม random ต่างระดับกัน มีการแจกแจงเป็นอิสระจากกัน	1. ทุกตัวแปรมีระดับการวัดเป็น interval 2. ทุกตัวแปรมีการแจกแจงปกติร่วมกัน	1. ทุกตัวแปรมีระดับการวัดเป็น interval 2. ทุกตัวแปรมีการแจกแจงปกติร่วมกัน
7. วิธีการประมาณค่า	การวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรม HLM ที่มีวิธีประมาณค่า maximum likelihood	การวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรม EQS ที่กำหนดวิธีประมาณค่า maximum likelihood	การวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรม EQS ที่กำหนดวิธีประมาณค่า maximum likelihood
8. ลักษณะข้อมูลที่จะใช้กับโมเดล	1. ข้อมูลมีโครงสร้างอย่างน้อย 2 ระดับ ระดับย่อยซ้อนใน (nested) ระดับที่ซับซ้อนขึ้น 2. มีความแปรผันร่วมระหว่างครั้งการวัด	1. ระดับข้อมูล interval และการเปลี่ยนแปลงรายคนต้องเกี่ยวกับเวลาอย่างเป็นระบบ 2. โครงสร้างการวัดเป็นคุณลักษณะเดียวกันตลอดช่วงเวลา	เป็นข้อมูลมีโครงสร้างการส่งอิทธิพลจากการวัดครั้งหนึ่งไปยังครั้งถัดไป

ตารางที่ 1 ต่อ

ประเด็น	โมเดลพหุระดับ	โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง	โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์
9. ตัวแปรที่บรรยายพัฒนาการในโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรเดี่ยว	1. intercept เป็นคะแนนเริ่มต้นก่อนเรียน ได้จากเส้นพัฒนาการตัดแกนตั้ง ซึ่งมีค่าคงที่ตลอดช่วงการวัด 2. slope เป็นอัตราพัฒนาการ ได้จากสัมประสิทธิ์การถดถอยที่มีค่าเดียวตลอดช่วงเวลา	intercept (หรือ level) และslope (หรือ shape) มีความหมายเช่นเดียวกับโมเดลพหุระดับ แต่เป็นตัวแปรแฝง	เป็นค่าอิทธิพล จากการวัดครั้งก่อนไปยังครั้งถัดไป โดยประมาณจากค่า Autoregressive Coefficient ค่าอิทธิพลนี้จึงมีหลายค่า ซึ่งเป็นค่าอิสระจากการวัดแต่ละครั้ง
10. ความคลาดเคลื่อน หรือ เศษเหลือ (error term, residual, disturbances)	ε_{it} เป็น residual ของการวัดที่มีค่าเดียวในการวัดแต่ละครั้ง อยู่ในการวิเคราะห์ระดับแรก ส่วน U_{0i} และ U_{1i} เป็น residual ในระดับที่สอง U_{0i} คือส่วนต่าง intercept รายคนจากค่าเฉลี่ยกลุ่ม U_{1i} คือส่วนต่าง slope รายคนจากค่าเฉลี่ยกลุ่ม	ε_t เป็น error การวัดที่มีค่าได้ต่างกันในการวัดแต่ละครั้ง อยู่ในส่วนสมการการวัด ζ_1 เป็น residual ของ intercept อยู่ในส่วนสมการโครงสร้าง ζ_2 เป็น residual ของ slope อยู่ในส่วนสมการโครงสร้าง	ε_t เป็น error ของการวัดแต่ละครั้ง อยู่ในส่วนสมการการวัด ζ_i เป็น residual ของคะแนนจริงในการวัดแต่ละครั้ง อยู่ในส่วนสมการโครงสร้าง
11. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรพหุ	เป็นการวิเคราะห์อิทธิพลสุ่ม ที่ประมาณความแปรปรวนร่วมของ slope กับ intercept ระหว่างคุณลักษณะต่างๆ เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของคุณลักษณะนั้นเอง	เป็นการหาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ slope กับ intercept ระหว่างหลายๆคุณลักษณะที่วัด	เป็นการวิเคราะห์อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอิทธิพลตัวนำ-ตัวตาม ระหว่าง 2 คุณลักษณะ

ตารางที่ 1 ต่อ

ประเด็น	โมเดลพหุระดับ	โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง	โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์
12. แบบแผนของโมเดล	การวิเคราะห์ 2 ระดับ ระดับแรกเป็นโมเดลการวัดซ้ำ ที่คะแนนการวัดภายในบุคคลแบบแผนเส้นตรงคือ $Y_{it}=\beta_{0i}+\beta_{1i}T_{it}+\varepsilon_{it}$ Y_{it} คือ คะแนนการวัด β_{0i} และ β_{1i} คือ intercept และ slope ตามลำดับ T_{it} คือ ครั้งที่วัด ระดับที่ 2 เป็นโมเดลระหว่างบุคคลเป็นสมการของ β_{0i} และ β_{1i} ประกอบด้วย ค่าเฉลี่ย (อิทธิพลกำหนด) และค่าผันแปรรายคนรอบๆค่าเฉลี่ย (อิทธิพลสุ่ม) $\beta_{0i}=\beta_0+U_{0i}$ $\beta_{1i}=\beta_1+U_{1i}$	โมเดลนี้ประกอบด้วย 2 โมเดลย่อย คือ 1.สมการการวัด 5 ครั้ง แบบแผนเส้นตรงคือ $y_1=\eta_1+0\eta_2+\varepsilon_1$ $y_2=\eta_1+1\eta_2+\varepsilon_2$ $y_3=\eta_1+\beta_1\eta_2+\varepsilon_3$ $y_4=\eta_1+\beta_2{*}\eta_2+\varepsilon_4$ $y_5=\eta_1+\beta_3{*}\eta_2+\varepsilon_5$ y1 - y5 เป็นคะแนนการวัดครั้งที่1-5 η_1 และ η_2 คือ intercept และ slope ตามลำดับ β_1 - β_3 เป็นค่าประมาณของน้ำหนักองค์ประกอบของ slope ในการวัดแต่ละครั้ง 2. สมการโครงสร้างประกอบด้วย ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนของ η_1 และ η_2 $\eta_1=\mu_1+\zeta_1$ $\eta_2=\mu_2+\zeta_2$	โมเดลนี้ประกอบด้วย 2 โมเดลย่อย คือ 1.สมการการวัด 5 ครั้ง แบบแผนเส้นตรงคือ $y_1=\eta_1+\varepsilon_1$ $y_2=\eta_2+\varepsilon_2$ $y_3=\eta_3+\varepsilon_3$ $y_4=\eta_4+\varepsilon_4$ $y_5=\eta_5+\varepsilon_5$ y1 - y5 เป็นคะแนนการวัดครั้งที่1-5 F1-F5 เป็นคะแนนจริงครั้งที่1-5 2. สมการโครงสร้างเป็นความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนจริงของครั้งติดกัน $\eta 2=\beta 1{*}\eta 1+\zeta 2$ $\eta 3=\beta 2{*}\eta 2+\zeta 3$ $\eta 4=\beta 3{*}\eta 3+\zeta 4$ $\eta 5=\beta 4{*}\eta 4+\zeta 5$ $\beta 1$-$\beta 4$ ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยระหว่างคะแนนจริงครั้งที่ติดกัน
13. การตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูล	เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบภาพรวมของโมเดลน้อยมาก แต่เป็นการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าประมาณพารามิเตอร์	เป็นการวิเคราะห์แบบ SEM ที่มีการตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูล พร้อมๆกับการประมาณค่าพารามิเตอร์	เป็นการวิเคราะห์แบบ SEM ที่มีการตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูล พร้อมๆกับการประมาณค่าพารามิเตอร์

จากการวิเคราะห์แนวคิดและกระบวนวิธีการของโมเดลทั้งสามจากเอกสารและงานวิจัย พบว่า โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง มีรูปแบบความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรแฝงที่บรรยายลักษณะของการเปลี่ยนแปลง 2 ตัวแปรแฝง คือ คะแนนเริ่มต้น และอัตราพัฒนาการที่เป็นองค์ประกอบร่วมของคะแนนการวัดแต่ละครั้งที่สังเกตได้ สำหรับโมเดลพหุระดับสามารถได้คะแนนเริ่มต้น และอัตราพัฒนาการจากการวิเคราะห์โมเดล แต่โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์เป็นโมเดลที่มีตัวแปรแฝงเป็นคะแนนจริงของการวัดแต่ละครั้ง โมเดลนี้ไม่มีตัวแปรแฝงเชิงการเปลี่ยนแปลงทั้งสองดังกล่าว ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผู้วิจัยสนใจพัฒนาโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์โมเดลใหม่ โดยผู้วิจัยมีแนวคิดว่า คะแนนจริงของการวัดแต่ละครั้งได้รับอิทธิพลจากคะแนนจริง 2 ส่วน คือ คะแนนจริงของการวัดครั้งก่อนหน้านี้ และคะแนนพัฒนาการจริงที่เพิ่มขึ้นจากคะแนนจริงของการวัดครั้งก่อน ดังนั้นพัฒนาการที่แท้จริง (latent growth) ได้จากค่าเฉลี่ยของคะแนนพัฒนาการจริงของทุกครั้งการวัด สำหรับคะแนนเริ่มต้นที่แท้จริง (latent intercept) ได้จากคะแนนจริงจากการวัดครั้งแรก ทั้งคะแนนเริ่มต้นที่แท้จริงและพัฒนาการที่แท้จริงเป็นองค์ประกอบร่วมของคะแนนจริงแต่ละครั้ง ผู้วิจัยเรียกโมเดลใหม่นี้ว่า โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ (Quasi-simplex with latent growth models) และผลจากการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ จะทำให้ทราบประสิทธิภาพของโมเดลนี้เมื่อเปรียบเทียบกับโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลพหุระดับ

นอกจากนั้นงานวิจัยการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวที่ผ่านมา ยังไม่มีงานวิจัยใดๆ ที่ศึกษาเปรียบเทียบการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของโมเดลทั้งสาม ที่มีความแกร่งทางสถิติ มีจุดเด่นเฉพาะโมเดลที่แตกต่างกัน และมีผู้นำไปประยุกต์ในงานวิจัยต่างๆดังตัวอย่างที่กล่าวมาแล้ว ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาเปรียบเทียบโมเดลทั้งสามรวมถึงโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ คือ ศึกษาพัฒนาการของคุณลักษณะของวิชาคณิตศาสตร์ คือการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา ทั้งชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป 2 โปรแกรมในการวิเคราะห์ครั้งนี้ คือโปรแกรม HLM 4.01 ในการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ และโปรแกรม EQS 5.7B ในการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงและโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ ที่มีกระบวนวิธีการวิเคราะห์แบบ SEM สำหรับเกณฑ์การเปรียบเทียบโมเดลระหว่าง 2 โปรแกรม เพื่อพิจารณาประสิทธิภาพของโมเดลและผลที่ได้จากโมเดล คือ สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ และรากกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือ (root mean square residual) สำหรับเปรียบเทียบโมเดลที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EQS จะพิจารณาจากสำหรับกลุ่มดัชนีความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูล เช่น สถิติไค-สแควร์ ดัชนี GFI (goodness of fit index) และ CFI (Comparative fit index) และดัชนีที่บอกถึงความคลาดเคลื่อนของโมเดล คือ ดัชนีรากกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือ (root mean squared residaul: RMR) และดัชนีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าพารามิเตอร์ (root mean squared of error approximation: RMSEA) เป็นต้น

จำนวนครั้งการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวในงานวิจัยนี้กำหนด 5 ครั้ง เนื่องจาก Stoolmiller (1995) อ้างถึงข้อเสนอแนะของ Rogosa ในปี 1991 ว่าหลักเกณฑ์คร่าวๆของจำนวนครั้งการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว คือ 4-5 ครั้ง ก็พอเพียงที่จะทำให้นักวิจัยตัดสินได้ว่า พัฒนาการมีแบบแผนเป็นเส้นตรงหรือไม่ แต่หากเป็นการศึกษาตัวแปรพยากรณ์ที่จะใช้ทำนายอัตราการเปลี่ยนแปลง ก็อาจจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนครั้งการวัด และ Raykov (1994) เสนอว่าควรดำเนินการวัดอย่างน้อย 3 ครั้ง และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว พบว่า ส่วนใหญ่มีจำนวนครั้งการวัด 4-5 ครั้งดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

การที่ผู้วิจัยสนใจศึกษาวิชาคณิตศาสตร์เนื่องจากวิชานี้มีความสำคัญจัดเป็นหนึ่งในมาตรฐานคุณภาพนักเรียน ที่โรงเรียนจะต้องพัฒนาเข้าสู่เกณฑ์มาตรฐานนี้ แต่ปรากฏว่าจากงานวิจัยของหน่วยงานต่าง ๆ ที่ติดตามคุณภาพของนักเรียนมาเป็นช่วงระยะยาว (2527-2533) เช่น กรมวิชาการ สำนักงานคณะกรรมการการประถมศึกษาแห่งชาติ พบว่านักเรียนมีคะแนนวิชานี้ต่ำกว่าทุกวิชา คุณลักษณะที่มีผลสำคัญต่อภาพรวมของวิชาคณิตศาสตร์คือ การแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์และการคิดคำนวณ เนื่องจากทั้ง 2 คุณลักษณะมีความสัมพันธ์กันและนักเรียนมีปัญหาบกพร่องมากทั้ง 2 คุณลักษณะ แม้ว่าโครงสร้างของวิชาคณิตศาสตร์ประกอบด้วยใน 5 คุณลักษณะหลัก คือ เจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์ ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคณิตศาสตร์ การคิดคำนวณ การแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ และการปฏิบัติทางคณิตศาสตร์ แต่ผลการสอบของคุณลักษณะอื่นๆอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะวัดการเปลี่ยนแปลง ความสามารถของนักเรียนคุณลักษณะการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา ในแต่ละคุณลักษณะ ซึ่งเป็นการวัดตัวแปรเดี่ยว และความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงการเรียนรู้ของนักเรียนในสองคุณลักษณะนี้ซึ่งเป็นการวัดตัวแปรพหุ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น คือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ (Quasi-simplex with latent growth models)

วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรเดี่ยว 3 โมเดล ระหว่างโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ด้วยดัชนีความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูล คือ สถิติไค-สแควร์ ดัชนี GFI และ CFI ดัชนีรากกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือ และดัชนีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าพารามิเตอร์

2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรพหุ 3 โมเดล ระหว่างโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ด้วยดัชนีความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูล คือ สถิติไค-สแควร์ ดัชนี GFI และ CFI ดัชนีรากกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือ และดัชนีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าพารามิเตอร์

สมมติฐานของการวิจัย

สมมติฐานที่ 1. ประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยว ที่ได้จากโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ น่าจะไม่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 2. ประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรพหุ ที่ได้จากโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ น่าจะไม่แตกต่างกัน

สำหรับกรอบแนวคิดที่มาของสมมติฐานทั้งสองข้อ มีดังนี้

กรอบแนวคิดที่มาของสมมติฐานที่ 1 คือ

1.1 โมเดลการวัดซ้ำ(หรือโมเดลภายในบุคคล) อันเป็นระดับแรกของโมเดลพหุระดับ ที่มีสมการของตัวแปรตาม (คะแนนการวัด) ประกอบด้วย ค่าคงที่ ค่าเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามเมื่อตัวแปรอิสระ (เวลา) เปลี่ยนไป 1 หน่วย และส่วนที่เหลือ เช่นเดียวกับโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงที่ใช้กระบวนวิธีการสมการโครงสร้าง (SEM) การวิเคราะห์ประกอบด้วยโมเดลย่อย 2 โมเดล คือ สมการการวัดและสมการโครงสร้าง ส่วนของสมการการวัดของโมเดลโค้งพัฒนาการฯ มีรูปแบบสมการ คือ คะแนนการวัดแต่ละครั้งของแต่ละคนประกอบด้วยคะแนนแฝง 3 ส่วน คือ คะแนนเริ่มต้น อัตราพัฒนาการ และความคลาดเคลื่อนในการวัดหรือคะแนนส่วนที่เหลือ โดยที่ตัวแปรเวลาส่งผลต่ออัตราพัฒนาการ จำนวนและรูปแบบของพจน์ตัวแปรเวลาในแบบแผนการเปลี่ยนแปลงของ 2 โมเดลเหมือนกัน เช่น กรณีที่แบบแผนการเปลี่ยนแปลงเป็นเส้นตรง โมเดลพหุระดับมีตัวแปรเวลา 1 พจน์และมีกำลังสูงสุดคือหนึ่ง หากแบบแผนการเปลี่ยนแปลงเป็นเส้นโค้ง มีตัวแปรเวลามี 2 พจน์ และพจน์กำลังสูงสุดคือสอง หากการเปลี่ยนแปลงมีแบบแผนเป็นเส้นโค้ง 2 ยอด (cubic) ตัวแปรเวลามี 3 พจน์ พจน์กำลังสูงสุดคือ สาม เป็นต้น สำหรับในโมเดลโค้งพัฒนาการฯ ก็มีรูปแบบสมการเช่นเดียวกับโมเดลพหุระดับ สำหรับโมเดลระหว่างบุคคล อันเป็นโมเดลระดับ ที่ 2 ของโมเดลพหุระดับ เป็นการประมาณค่าอิทธิพล 2 ประเภท คือ อิทธิพลกำหนด จะให้ค่าพารามิเตอร์ที่เป็นการประมาณค่าเฉลี่ยของคะแนนเริ่มต้นและคะแนนอัตราพัฒนาการ และอิทธิพลสุ่ม จะให้ค่าพารามิเตอร์ที่เป็นการประมาณค่าความผันแปรของคะแนนเริ่มต้นและคะแนนอัตราพัฒนาการ ในทำนองเดียวกับส่วนสมการโครงสร้างของโมเดลโค้งพัฒนาการ ฯ ที่จะให้ค่าพารามิเตอร์ที่เป็นการประมาณค่าเฉลี่ยของคะแนนเริ่มต้นและคะแนนอัตราพัฒนาการ และความผันแปรของคะแนนเริ่มต้นและคะแนนอัตราพัฒนาการ

1.2 จากงานวิจัยของ MacCallum และคณะ (1997) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระยะยาว โดยใช้การวิเคราะห์ 2 โมเดล คือ โมเดลพหุระดับที่ใช้โปรแกรม MLn และโมเดลโค้งพัฒนาการ ฯ ที่ใช้โปรแกรม LISREL พบว่า ค่าประมาณพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์โมเดลทั้งสองมีค่าไม่ต่างกัน ย่อมแสดงว่าโมเดลทั้งสองมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน

1.3 สำหรับโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์เป็นโมเดลที่ใช้กระบวนวิธีการสมการโครงสร้าง เช่นเดียวกับโมเดลโค้งพัฒนาการฯ แต่ค่าพารามิเตอร์ของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ในสมการโครงสร้างคือความแปรปรวนของคะแนนจริงในการวัดแต่ละครั้ง จึงไม่สามารถเปรียบเทียบค่าประมาณคะแนนเริ่มต้นและคะแนนอัตราพัฒนาการกับ 2 โมเดลแรกได้ แต่เนื่องจากกรอบแนวคิดของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่ว่า คะแนนจริงในการวัดครั้งหลังย่อมได้รับอิทธิพลจากการคะแนนจริงก่อนหน้านี้ เป็นแนวคิดการเปลี่ยนแปลงที่สมเหตุสมผล ดังนั้นการพัฒนาโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์โดยกำหนดให้คะแนนจริงแต่ละครั้ง ได้รับอิทธิพลจากตัวแปรแฝงพัฒนาการ คือ คะแนนเริ่มต้น และอัตราพัฒนาการ ก็จะเป็นโมเดลที่สมเหตุสมผลอีกโมเดลหนึ่ง ผู้วิจัยจึงนำเสนอโมเดลใหม่ในงานวิจัยครั้งนี้ โดยเพิ่มตัวแปรแฝงพัฒนาการทั้งสองในโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน ตัวแปรแฝงพัฒนาการทั้งสองจะส่งอิทธิพลต่อคะแนนจริงในการวัดแต่ละครั้ง คะแนนจริงในการวัดครั้งนั้นจะส่งอิทธิพลไปยังคะแนนการวัดแต่ละครั้ง และตั้งชื่อโมเดลใหม่นี้ว่า โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ โมเดลที่สร้างใหม่นี้ต่างจากโมเดลโค้งพัฒนาการฯ ที่ตัวแปรแฝงทั้งสองของโมเดลโค้งพัฒนาการฯส่งอิทธิพลไปยังคะแนนการวัดโดยตรง ผู้วิจัยเชื่อว่าเป็นโมเดลใหม่นี้น่าจะอธิบายอัตราพัฒนาการได้ดีกว่าโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน และโมเดลนี้มีประสิทธิภาพไม่น่าจะแตกต่างจากโมเดลโค้งพัฒนาการ ฯ และโมเดลพหุระดับ

ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงตั้งเป็นสมมติฐานข้อแรกว่า ประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยว ที่ได้จากโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรพัฒนาการไม่แตกต่างกัน

สำหรับกรอบแนวคิดที่มาของสมมติฐานที่ 2 คือ

สืบเนื่องจากสมมติฐานแรก ประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงชนิดตัวแปรเดี่ยวของโมเดลพหุระดับกับ โมเดลโค้งพัฒนาการฯมีค่าไม่น่าจะต่างกัน ดังนั้นการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมระหว่างพัฒนาการของ 2 คุณลักษณะจึงไม่น่าแตกต่างกัน

ส่วนโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ระดับตัวแปรพหุแบบเดิมเป็นความสัมพันธ์แบบตัวนำ-ตัวตาม ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ชนิดตัวแปรพหุ โมเดลใหม่ โดยนำโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ชนิดตัวแปรเดี่ยว 2 โมเดลที่พัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยครั้งนี้ มาวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมระหว่างพัฒนาการของ 2 คุณลักษณะ แต่โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ชนิดตัวแปรพหุโมเดลใหม่ ยังคงลักษณะความสัมพันธ์แบบตัวนำ-ตัวตามอยู่ ดังนั้นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับตัวแปรพหุของโมเดลพหุระดับกับโมเดลพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง จึงไม่ต่างกับโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรพัฒนาการ

ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงตั้งเป็นสมมติฐานข้อที่สองว่า ประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรพหุ ที่ได้จากโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ไม่น่าจะแตกต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้แนวคิดการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาว 3 โมเดล คือ โมเดลพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ในการวัดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางคณิตศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ในโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษาทุกโรงเรียน ที่สังกัดสำนักงานการประถมศึกษาจังหวัดสมุทรสงคราม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2542 จำนวน 469 คน

ตัวแปรในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามดังนี้

ตัวแปรอิสระ คือ โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว 3 ประเภทที่วิเคราะห์พัฒนาการของวิชาคณอตศาสตร์ทั้งชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ โมเดลดังกล่าว ได้แก่ โมเดลพหุระดับ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ

ตัวแปรตาม คือ ค่าประสิทธิภาพของโมเดล ได้แก่ สัมประสิทธิ์การกำหนด ค่าอัตราไค-สแควส์ ดัชนีวัดระดับความสอดคล้อง คือ ดัชนี GFI ค่าดัชนี CFI ดัชนีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ดัชนีรากกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือ

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

การเปลี่ยนแปลงระยะยาว (longitudinal change) หมายถึง ภาวะของพัฒนาการที่เกี่ยวข้องกับสภาพที่มีอยู่เดิมที่มีการวัดมากกว่า 2 ครั้งอย่างต่อเนื่องกัน ในการวิจัยครั้งนี้กำหนดการวัดพัฒนาการคุณลักษณะทางคณิตศาสตร์นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 5 ครั้งจากนักเรียนคนเดิม แต่ละครั้งห่างกัน 3 สัปดาห์ กับในโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษาทุกโรงเรียน สังกัดสำนักงานการประถมศึกษาจังหวัดสมุทรสงคราม จำนวน 469 คน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2542

การวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรเดี่ยว (univariate longitudinal change measuring) หมายถึง กระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูล 1 คุณลักษณะจากนักเรียนคนเดิมจำนวนหลายครั้ง และนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาพัฒนาการด้วยเทคนิคทางสถิติ การวิจัยครั้งนี้ทำการวัดคุณลักษณะทางคณิตศาสตร์ทีละ 1 คุณลักษณะ คือ การคิดคำนวณ และการแก้โจทย์ปัญหา กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 5 ครั้งจากนักเรียนคนเดิม แต่ละครั้งห่างกัน 3 สัปดาห์ นำมาวิเคราะห์ด้วยโมเดลการวัดเปลี่ยนแปลงระยะยาว คือ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรเดี่ยว คือ ค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแปรแฝงพัฒนาการ คือ คะแนนเริ่มต้นที่แท้จริง และอัตราพัฒนาการที่แท้จริง

การวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรพหุ (multivariate longitudinal change measuring) หมายถึง กระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูล 2 คุณลักษณะขึ้นไปจากนักเรียนคนเดิมจำนวนหลายครั้ง เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของคุณลักษณะเหล่านั้นด้วยเทคนิคทางสถิติ ในการวิจัยครั้งนี้นำการวัด 5 ครั้ง มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา ด้วยโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว คือ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ

ผลที่ได้จากการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรพหุ คือ ค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแปรแฝงพัฒนาการ คือ คะแนนเริ่มต้นที่แท้จริง และอัตราพัฒนาการที่แท้จริงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงพัฒนาการของ 2 คุณลักษณะในวิชาคณิตศาสตร์

โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง (Latent Growth Curve Models : LGC) หมายถึง วิธีวิทยาทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคะแนนคุณลักษณะทางคณิตศาสตร์จากข้อมูลการวัดระยะยาว เป็นโมเดลที่มีลักษณะเป็นกระบวนวิธีสมการโครงสร้าง (SEM) คะแนนที่เปลี่ยนแปลงไปจะต้องเกี่ยวข้องกับเวลาอย่างเป็นระบบ กรอบแนวคิดการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาว คือ คะแนนการวัดแต่ละครั้งเป็นคะแนนผสม (composite score) ที่ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ คะแนนเริ่มต้น อัตราพัฒนาการ และความคลาดเคลื่อนในการวัด โดยที่คะแนนเริ่มต้น (intercept) และอัตราพัฒนาการ (slope) เป็นองค์ประกอบร่วมของคะแนนการวัดทุกครั้ง องค์ประกอบร่วมหรือตัวแปรแฝงทั้ง 2 องค์ประกอบนี้มีอิทธิพลต่อคะแนนการวัดทุกครั้ง ส่วนคะแนนความคลาดเคลื่อนในการวัดเป็นองค์ประกอบเฉพาะของการวัดครั้งนั้น การวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

โมเดลพหุระดับ (Multilevel Models : MLM) หมายถึง วิธีวิทยาทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของคะแนนคุณลักษณะทางคณิตศาสตร์ จากข้อมูลการวัดระยะยาว เป็นโมเดลที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่มีโครงสร้างของตัวแปรเป็นระดับลดหลั่นกันตั้งแต่ 2 ระดับขึ้นไป ข้อมูลระดับย่อยซ้อนในข้อมูลระดับสูงขึ้นไป กรอบแนวคิดการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาว คือ ระดับแรกเป็นโมเดลการซ้ำที่แสดงถึงพัฒนาการที่เกิดขึ้นภายในบุคคล ณ เวลาต่างๆ และระดับที่สองเป็นพัฒนาการระหว่างบุคคล พัฒนาการรายบุคคลที่หลากหลายมีผลต่อพัฒนาการของกลุ่ม โมเดลนี้ใช้รูปแบบการวิเคราะห์ถดถอยที่จำแนกระดับของข้อมูล

โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ (Quasi-Simplex Models : QSM) หมายถึง วิธีวิทยาทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคะแนนคุณลักษณะทางคณิตศาสตร์ จากข้อมูลการวัดระยะยาวที่ใช้วิธีวิทยาโมเดลสมการโครงสร้าง (SEM) กรอบแนวคิดการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาว คือ คะแนนจริงของการวัดครั้งหนึ่งมีอิทธิพลโดยตรงต่อคะแนนจริงเฉพาะครั้งที่อยู่ติดกัน คะแนนจากครั้งแรกใช้ในการพยากรณ์คะแนนครั้งที่ติดกัน ตัวแปรแฝงในโมเดลนี้ คือ คะแนนจริงของการวัด รูปแบบการวิเคราะห์เป็นการถดถอยแบบออโต (autoregression)

โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ (Quasi-simplex with latent growth models) หมายถึง วิธีวิทยาทางสถิติที่ผู้วิจัยพัฒนาในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการบูรณาการระหว่าง 2 โมเดล คือ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์โดยการเพิ่มตัวแปรแฝงที่แสดงถึงพัฒนาการ 2 ตัวแปร เข้ามาในโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ คือ คะแนนเริ่มต้น และอัตราพัฒนาการ ที่เป็นองค์ประกอบร่วมของคะแนนจริงของการวัดทุกครั้ง เพื่อที่เปรียบเทียบตัวแปรแฝงพัฒนาการกับโมเดลอื่นๆ

ตัวแปรแฝง (latent variable) คือ ตัวแปรที่ไม่สามารถสังเกตได้โดยตรง ได้แก่ คุณลักษณะทางจิต หรือองค์ประกอบ หรือโครงสร้างของสิ่งที่ศึกษา ที่ผู้วิจัยกำหนดตามทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา สำหรับตัวแปรแฝงที่แสดงถึงพัฒนาการของโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ คือ คะแนนเริ่มต้นที่แท้จริง และอัตราพัฒนาการที่แท้จริง

คะแนนเริ่มต้นที่แท้จริง (latent initial score หรือ intercept) หมายถึง ความสามารถเดิมของนักเรียนก่อนการเรียนรู้ เป็นคะแนนจริงที่มีค่าคงที่ตลอดช่วงการวัด ได้จากการวิเคราะห์หาค่าอิทธิพลของคะแนนการวัดบนตัวคงที่ หรือจุดตัดของเส้นทางการเปลี่ยนแปลงที่ประมาณได้บนแกนตั้งของการวัดครั้งแรก

อัตราพัฒนาการที่แท้จริง (latent growth rate หรือ slope) หมายถึง ปริมาณคะแนนจริงที่เพิ่ม คงที่หรือลดจากความสามารถเดิม โดยคิดเป็นอัตราเฉลี่ยต่อ 1 หน่วยเวลา ตลอดช่วงเวลาการวัด ได้จากการสัมประสิทธิ์การถดถอยบนตัวแปรอิสระ หรือเป็นความชันของเส้นทางการเปลี่ยนแปลงที่ประมาณได้

แบบแผนของการเปลี่ยนแปลง (change pattern) หมายถึง เส้นทางการเปลี่ยนแปลงที่แสดงค่าประมาณคะแนนจริง 1 คุณลักษณะจากการวัดนักเรียนคนเดิมหลายครั้ง วิถีการเปลี่ยนแปลงที่ประมาณได้นี้ อาจเป็นแบบแผนเส้นตรง (linear) หรือแบบแผนไม่ใช่เส้นตรง (nonlinear)

ประสิทธิภาพของโมเดล หมายถึง ความตรงของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงที่ใช้ในการวิจัยมีความสอดคล้องกับข้อมูลในการวิจัยได้ดีเพียงใด เป็นผลที่ได้จากการตรวจสอบด้วยเทคนิคทางสถิติ การตรวจสอบประสิทธิภาพของโมเดลจึงเป็นการพิจารณาว่าโมเดลที่พัฒนาขึ้นเป็นตัวแทนของข้อมูลที่สังเกตได้หรือไม่ ถ้าโมเดลได้รับการปฏิเสธ ก็จะมีปัญหาเกี่ยวกับความตรงเชิงโครงสร้างของการวัด เกณฑ์ในการใช้พิจารณาประสิทธิภาพของโมเดล คือ

1. ดัชนีที่เปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EQS 5.7b มี 5 ดัชนี คือ ค่าสถิติไค-สแควร์ (chi-square) ดัชนีวัดระดับความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูล คือ ดัชนี GFI (goodness of fit index) และ CFI (Comparative fit index) สำหรับดัชนีที่บอกถึงความคลาดเคลื่อนของโมเดล คือ ดัชนีรากกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือ (root mean squared residaul: RMR) และดัชนีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าพารามิเตอร์ (root

mean squared of error approximation: RMSEA) โมเดลที่มีประสิทธิภาพคือ มีค่าความน่าจะเป็นของไค-สแควร์มากกว่า 0.05 ดัชนี GFI และ CFI มากกว่า 0.95 ดัชนี RMR เข้าใกล้ 0 และดัชนี RMSEA น้อยกว่า 0.05

2. ดัชนีบ่งชี้ประสิทธิภาพของโมเดลพหุระดับที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม HLM 4.01 คือ สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (coefficient of determination หรือ R^2) โมเดลที่มีประสิทธิภาพมีค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์เข้าใกล้ 1

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผลจาการวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในเชิงวิชาการ คือ ได้วิธีการที่มีประสิทธิภาพในการวัดและการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณ ที่ใช้ในการศึกษาพัฒนาการของคุณลักษณะทางคณิตศาสตร์ ในการวิเคราะห์ทั้งตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ จากการใช้โมเดล 3 รูปแบบ คือ โมเดลพหุระดับ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ โดยเฉพาะการวิเคราะห์พัฒนาการตัวแปรพหุ ซึ่งจะเป็นแนวทางที่จะทำให้การแปลความหมายของการวิจัยระยะยาวได้กว้างขวางลึกซึ้งขึ้น และเป็นแนวทางในการเลือกใช้วิธีวิทยาการที่จะศึกษาพัฒนาการหรือการเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมกับโครงสร้างและลักษณะของข้อมูล ตลอดจนปัญหาการวิจัยต่อไป

2. ได้โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นในการวิจัยครั้งนี้ โดยกำหนดองค์ประกอบร่วมของคะแนนจริงของการวัดแต่ละครั้งมี 2 องค์ประกอบที่เป็นตัวแปรแฝง คือ คะแนนเริ่มต้นที่แท้จริง คะแนนอัตราพัฒนาการ ที่จะใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของคุณลักษณะทางคณิตศาสตร์ที่วิจัยในครั้งนี้

3. ได้สารสนเทศเกี่ยวกับค่าประมาณคะแนนเริ่มต้นที่แท้จริง และอัตราพัฒนาการที่แท้จริงของความสามารถทางคณิตศาสตร์ คุณลักษณะการคิดคำนวณ และการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ในโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษา สังกัดสำนักงานการประถมศึกษาจังหวัดสมุทรสงคราม ที่จะเป็นประโยชน์ต่อครูผู้สอนที่จะพัฒนาการเรียนการสอนในห้องเรียน และเป็นประโยชน์แก่ผู้บริหารที่จะใช้ในการวางแผนตั้งเป้าหมายของการศึกษาต่อไป

4. ได้แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ คุณลักษณะการคิดคำนวณ และการแก้โจทย์ปัญหา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 5 ฉบับ ที่ผ่านการปรับปรุงและการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาววิชาคณิตศาสตร์ใน 2 คุณลักษณะ คือ การคิดคำนวณ และการแก้โจทย์ปัญหา ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่มีการเก็บข้อมูลวัด 5 ครั้ง โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูล 3 โมเดล คือ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่นำเสนอโมเดลใหม่ที่พัฒนาขึ้นมาในการวิจัยครั้งนี้ คือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ เพื่อเปรียบเทียบว่าโมเดลทั้งสามอธิบายการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของคุณลักษณะของคณิตศาสตร์แตกต่างกันหรือไม่ โมเดลใดมีประสิทธิภาพสอดคล้องกับข้อมูลมากที่สุด โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพของโมเดล จากการศึกษากรอบแนวคิดและทฤษฎีที่มาของงานวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ประมวลการศึกษาค้นคว้าโดยนำเสนอเป็น 5 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 แนวคิดและความเป็นมาของการวัดการเปลี่ยนแปลง
ตอนที่ 2 การวัดการเปลี่ยนแปลงแนวใหม่
ตอนที่ 3 ระเบียบวิธีการของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในการวิจัยครั้งนี้
ตอนที่ 4 คุณลักษณะที่วัดในวิชาคณิตศาสตร์
ตอนที่ 5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดการเปลี่ยนแปลง

ตอนที่ 1 แนวคิดและความเป็นมาของการวัดการเปลี่ยนแปลง

การวัดการเปลี่ยนแปลงหรือการวัดพัฒนาการ จัดเป็นบทบาทของการวัดการศึกษาที่มีความสำคัญต่อการจัดการศึกษา ผลจากการวัดการเปลี่ยนแปลงจะเป็นสารสนเทศที่เป็นประโยชน์ต่อผู้เรียน ครูและผู้บริหาร ที่จะนำผลมาปรับปรุงการเรียนการสอน และใช้ในการวางแผนการศึกษา นอกจากนั้นการวัดการเปลี่ยนแปลงยังมีประโยชน์อีกหลายสาขาวิชา เพราะเป็นดัชนีหนึ่งที่ชี้วัดถึงความก้าวหน้าของสิ่งที่ได้รับการวัด จึงมีการนำไปใช้ในสาขาต่างๆ เช่น พฤติกรรมศาสตร์ จิตวิทยาคลินิค เศรษฐศาสตร์ เป็นต้น

Burr and Nesselroade (อ้างอิงจาก Eye, 1990) ให้นิยามการเปลี่ยนแปลง ว่าหมายถึงการแปรผันของคุณสมบัติที่มีอยู่ (attributes) ของสิ่งต่างๆในเชิงปริมาณหรือคุณภาพ สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงคุณภาพ เพื่ออธิบายว่าทำไมจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่เปลี่ยนแปลง เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงอย่างไรและมีผลกระทบอย่างไร ส่วนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณ เป็นการตอบคำถามว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงเท่าไร เปลี่ยนแปลงลักษณะใด และเพื่อการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทำนายแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง อันจะเอื้อประโยชน์ในการตั้งเป้าหมายพัฒนา การศึกษาการเปลี่ยนแปลงมักจะนำมาใช้ในการวิจัยพัฒนาการ โดยเฉพาะการศึกษาระยะยาว (longitudinal studies) แบบแผนการวิจัยระยะยาวจึงได้รับการพัฒนาควบคู่กับการคิดค้นพัฒนาวิธีวิทยาการวัดและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง

คะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score) เป็นปริมาณที่ได้จากการเปรียบเทียบกับผลการวัดตั้งแต่ 2 ครั้งขึ้นไป คะแนนการเปลี่ยนแปลงมีชื่อเรียกต่างๆกัน ตามลักษณะการวิเคราะห์และจำนวนครั้งในการวัด ได้แก่ คะแนนเพิ่ม (gain score) คะแนนพัฒนาการ (growth score) คะแนนความแตกต่าง (difference score) เป็นต้น คะแนนเพิ่มเป็นคะแนนการเปลี่ยนแปลงที่ได้จากการวัดก่อนและหลังการเรียนรู้ ซึ่งมีผู้เสนอวิธีการวิเคราะห์หลายวิธี ส่วนวิธีวัดแบบดั้งเดิมจริงๆ จะเรียกชื่อเฉพาะว่า คะแนนความแตกต่าง เป็นคะแนนที่ได้จากผลต่างของคะแนนหลังเรียนกับก่อนเรียน สำหรับคะแนนการเปลี่ยนแปลงที่ได้จากการวัดหลายครั้ง (multiwave) มักจะเรียกว่าคะแนนพัฒนาการ ส่วนคำว่า wave เป็นศัพท์เฉพาะของการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว หมายถึงจำนวนครั้งการวัด

คะแนนจากการวัดระยะยาวรายบุคคล จะมีแบบแผนการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกัน บางคนมีแนวโน้มเป็นแบบเส้นตรง บางคนมีแนวโน้มไม่ใช่เส้นตรง แต่เมื่อนำมาพิจารณาในภาพรวมเป็นกลุ่มและรายบุคคลร่วมกัน จำแนกลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็น 5 รูปแบบ ได้แก่

1) พัฒนาการเชิงเส้นตรง (Straight line growth) คือ คะแนนของกลุ่มผู้สอบส่วนใหญ่มีลักษณะเพิ่มขึ้นในอัตราค่อนข้างสม่ำเสมอ พัฒนาการจะมีค่าเป็นบวก ถ้าคะแนนลดลงค่อนข้างสม่ำเสมอ พัฒนาการจะมีค่าเป็นลบ ดังนั้นน้ำหนักองค์ประกอบของ อัตราพัฒนาการ (slope) กำหนดด้วยเมทริกซ์ของเวลาเชิงเส้นตรง

2) พัฒนาการที่ไม่ใช่เส้นตรง (nonlinear growth) คือ พัฒนาการของกลุ่มผู้สอบส่วนใหญ่มีลักษณะกระเพื่อม เช่นบางครั้งเพิ่มขึ้น บางครั้งลดลง หรือเพิ่มขึ้นในอัตราไม่สม่ำเสมอ โค้งพัฒนาการลักษณะนี้ น้ำหนักองค์ประกอบของ slope กำหนดด้วยเมทริกซ์ของเวลาที่ไม่ใช่เส้นตรง

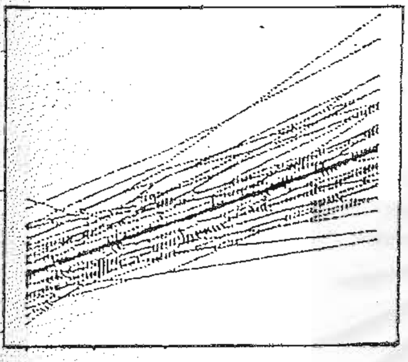
3) พัฒนาการรายบุคคลไม่ต่างกัน (No individaul differences in growth) คือ คะแนนการวัดตลอดทุกครั้งของแต่ละคนมีลักษณะขนานกัน (parallel stability) ทำให้ไม่มีความแปรปรวนของพัฒนาการ นั่นคือ variance (slope) = 0 เป็นไปได้ทั้งแบบแผนเส้นตรงและไม่ใช่เส้นตรง

4) ลำดับที่รายบุคคลไม่เปลี่ยนแปลง (No changes in rank order) คือ คะแนนการวัดตลอดทุกครั้งระหว่างกลุ่มผู้สอบมีลำดับที่เหมือนเดิมทุกครั้ง แต่ช่วงห่างของคะแนนในกลุ่มแต่ละครั้ง ต่างกันมีลักษณะกระจายออก (monotonic stability or fan spread) นั่นคือ ความแปรปรวนของคะแนนการวัดครั้งหลังมีมากกว่าครั้งแรกๆ เป็นไปได้ทั้งแบบแผนเส้นตรงและไม่ใช่เส้นตรง

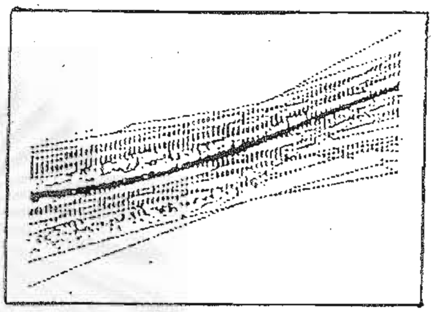
5) ไม่มีค่าเฉลี่ยของพัฒนาการ (No mean growth) คือ คะแนนการวัดตลอดทุกครั้งของกลุ่มผู้สอบมีลักษณะทั้งเพิ่ม ลด หรือคงที่ คนเก่งมีแนวโน้มคะแนนต่ำลง ขณะเดียวกันคนไม่เก่งมี

แนวโน้มคะแนนสูงขึ้น ทำให้ค่าเฉลี่ยของพัฒนาการของกลุ่มผู้สอบเป็นศูนย์ นั่นคือ mean (slope) = 0 เป็นไปได้ทั้งแบบแผนเส้นตรงและไม่ใช่เส้นตรง

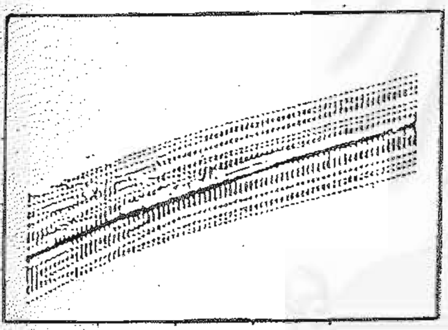
ตัวอย่างแบบแผนการเปลี่ยนแปลง 5 รูปแบบ นำเสนอในภาพที่ 1



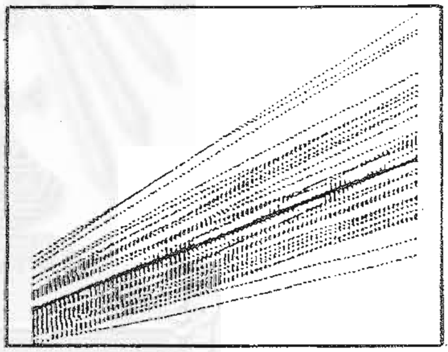
1) พัฒนาการเชิงเส้นตรง
(Straight line growth)



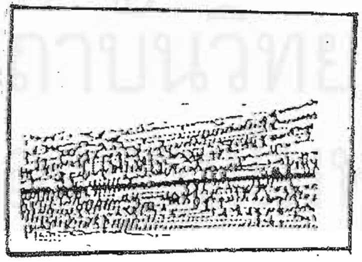
2) พัฒนาการที่มิใช่เชิงเส้นตรง
(nonlinear growth)



3) พัฒนาการรายบุคคลไม่ต่างกัน
(No individaul differences in growth)



4) ลำดับที่รายบุคคลไม่เปลี่ยนแปลง
(No changes in rank order)



5) ไม่มีค่าเฉลี่ยของพัฒนาการ
(No mean growth)

ภาพที่ 1 แบบแผนพัฒนาการ (growth pattern)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเป็นมาของการวัดการเปลี่ยนแปลงเป็นเรื่องที่นักวิจัย นักวัดผล และนักสถิติให้ความสนใจอย่างต่อเนื่องมานานเกือบ 80 ปี นับตั้งแต่ Thondike ที่กล่าวถึงการวัดการเปลี่ยนแปลงในปีค.ศ. 1924 แนวคิดและวิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงได้รับการพัฒนามาตลอด การวัดการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกๆ มาจากแนวคิดว่า เมื่อบุคคลเกิดการเรียนรู้ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในด้านต่างๆ การวัดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในแนวเดิม จึงเป็นการวัดความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการเรียนรู้ จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง อาจกล่าวได้ว่า การวัดการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกๆถึงประมาณปลายคริสตศักราช 1980 เป็นการวัดแนวเดิมที่เป็นการเก็บข้อมูล 2 ครั้ง วิธีการวัดที่สำคัญๆ ได้แก่

1. วิธีการวัดแบบดั้งเดิมหรือ การหาคะแนนความแตกต่าง (difference score) ของผลการสอบในช่วงก่อนและหลังเรียนด้วยแบบสอบฉบับเดิมหรือคู่ขนาน Willet (1994) กล่าวว่าวิธีนี้เป็นวิธีการเริ่มแรกที่ปรากฏการใช้อย่างแพร่หลาย เป็นวิธีที่เข้าใจง่ายและคำนวณง่าย และเป็นค่าประมาณที่ลำเอียงของการเปลี่ยนแปลงที่แท้จริง แต่ได้รับการวิพากษ์วิจารณ์ทั้งในด้านเห็นด้วยและไม่เห็นด้วยมาตลอดกว่า 30 ปี โดยเฉพาะในช่วงทศวรรษที่ 1960 และ 1970 ว่าเป็นวิธีการที่ไม่น่าเชื่อถือด้วยเหตุผลหลายประการ ได้แก่ ความเที่ยงของคะแนนความแตกต่างมีค่าต่ำกว่าความเที่ยงในการวัดแต่ละครั้ง สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความแตกต่างกับคะแนนการสอบก่อนเรียนมีแนวโน้มเป็นลบ ทำให้ไม่ยุติธรรมต่อผู้ที่ได้คะแนนจากการสอบครั้งแรกสูง เพราะปริมาณคะแนนเพิ่มจะน้อยกว่าคนที่สอบครั้งแรกได้คะแนนต่ำ (Lord, 1956; Bereiter, 1963; Linn and Slinde 1977 อ้างถึงใน Willet,1994) และเป็นวิธีที่ไม่ใส่ใจกับความคลาดเคลื่อนในการวัด อันจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าของตัวแปรได้ (Ravkov, 1993)

ต่อมาผู้พัฒนาการวิธีการใหม่ๆที่เป็นการวัดแนวเดิม ในช่วงคริสตศตวรรษ 1960-1990 ได้แก่

1.2 วิธีการหาคะแนนการเปลี่ยนแปลงส่วนที่เหลือ (Residaul change score) ที่นำเสนอโดย Manning และ Dubois (1958 อ้างถึงใน Willet,1994) หลักการของวิธีนี้คือ คะแนนการเปลี่ยนแปลง ได้จาก ผลต่างระหว่างคะแนนการวัดครั้งหลัง กับคะแนนการทำนายครั้งหลังที่มีคะแนนการวัดครั้งแรกเป็นตัวทำนาย

1.3 วิธีการหาคะแนนการเปลี่ยนแปลงที่เป็นอิสระจากคะแนนจริงก่อนเรียน (base-free measure of change) ที่นำเสนอโดย Tuckman และคณะ (1966 อ้างถึงใน Willet,1994) หลักการของวิธีนี้คือ คะแนนการเปลี่ยนแปลง ได้จาก ผลต่างระหว่างคะแนนการวัดครั้งหลังกับคะแนนการทำนายครั้งหลังที่มีคะแนนจริงจากการวัดครั้งแรกเป็นตัวทำนาย

การพัฒนาโมเดลการวัดวิธีที่ 2 และ 3 ได้รับอิทธิพลจากการวิจารณ์ในยุคนั้นว่า คะแนนการเปลี่ยนแปลงควรเป็นอิสระจากการสอบก่อนเรียน แต่นักวิธีวิทยาในยุคต่อมาวิจารณ์ว่า การกำจัดอิทธิพลของคะแนนเริ่มต้นออกด้วยวิธีการทางสถิติ ทำให้ทั้ง 2 วิธีนี้ขาดความคงเส้นคงวาใน

การประมาณค่า เป็นการพยายามสร้างจุดเริ่มต้นให้เท่ากัน โดยมีปัญหาในด้านความสมเหตุสมผลและการแปลผล (Rogosa, 1982 Ravkov, 1993 และ Willet, 1994)

1.4 วิธีประมาณคะแนนเพิ่มที่แท้จริงที่ใช้การถดถอย (Regression-based estimators of true gain score) นำเสนอโดย Lord (1956) หลักการของวิธีนี้คือ คะแนนการเปลี่ยนแปลงได้จาก การใช้คะแนนการวัดครั้งแรกและครั้งหลังทำนายความแตกต่างของคะแนนจริงโดยการลดด้วยค่าเฉลี่ยกำลังสองของคะแนนความคลาดเคลื่อน ดังนั้นคะแนนเพิ่มที่แท้จริง เป็นการรวมเชิงเส้นแบบถ่วงน้ำหนักของคะแนนการวัดแต่ละครั้งที่ต่างจากคะแนนเฉลี่ยการวัดครั้งนั้น วิธีนี้มีจุดเด่นคือผู้ที่ได้คะแนนครั้งแรกสูงจะได้คะแนนเพิ่มสูงกว่าผู้ที่ได้คะแนนครั้งแรกต่ำ แต่ก็มีจุดอ่อนคือ คะแนนเพิ่มจากวิธีนี้แคบกว่าวิธีการหาคะแนนความแตกต่าง (Rogosa, 1982; Willet, 1994)

1.5 วิธีการหาคะแนนการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ (relative gain score) ที่ศิริชัย กาญจนวาสี นำเสนอในปี ค.ศ. 1989 เป็นดัชนีในการวัดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการประเมินอิทธิพลของโรงเรียนที่มีต่อความรู้และทัศนคติทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน คะแนนการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ได้จากสัดส่วนของผลต่างคะแนนการวัดทั้ง 2 ครั้ง กับผลต่างระหว่างคะแนนเต็มกับคะแนนการวัดครั้งแรก วิธีนี้มีจุดเด่นที่ขจัดปัญหาเรื่องอิทธิพลเพดานและลดปัญหาการถดถอยเข้าสู่ส่วนกลาง แต่มีจุดอ่อนคือ ยังไม่มีวิธีประมาณค่าความเที่ยงของคะแนนการเปลี่ยนแปลง (อรุณี อ่อนสวัสดิ์ 2537)

1.6 วิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงที่อิงทฤษฎีการเรียนรู้และการขจัดอิทธิพลเพดานที่ อรุณี อ่อนสวัสดิ์ พัฒนาการขึ้นในปี พ.ศ.2537 วิธีนี้มีจุดเด่นที่ความเที่ยงของคะแนนการเปลี่ยนแปลงสูงกว่าวิธีการหาคะแนนความแตกต่างและวิธีการของลอร์ด แต่ไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะยืนยันเนื่องจากการทดสอบไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (อรุณี อ่อนสวัสดิ์ 2537)

จากวิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆที่พัฒนาขึ้น เพื่อแก้ปัญหาจุดอ่อนของวิธีการหาคะแนนความแตกต่างหรือวิธีดั้งเดิมที่ได้กล่าวมา วิธีการส่วนใหญ่ได้จากการวิเคราะห์จากคะแนนดิบที่ไม่ได้นำความคลาดเคลื่อนในการวัดเข้ามาร่วมวิเคราะห์ และการวัด 2 ครั้งเป็นเหมือนการกำหนดวิถีการเปลี่ยนแปลงให้เป็น แบบแผนเส้นตรง (linear change pattern) เพียงอย่างเดียว ทั้งที่แบบแผนการเปลี่ยนแปลงอาจเป็นลักษณะอื่นๆ เช่น แบบเส้นโค้ง แบบโลจีสหรือรูปเอส เป็นต้น การวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวจากข้อมูลการวัด 2 ครั้งจึงไม่น่าจะเพียงพอในอธิบายกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดแนวคิดการวัดจากข้อมูลการวัดหลายครั้งหรือ การวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวแนวใหม่

ต่อมานักวิธีวิทยาได้พัฒนาวิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว เป็นการวัดมากกว่าสองครั้งอันเป็นการวัดแนวใหม่ที่ศึกษาถึงกระบวนพัฒนาการอย่างต่อเนื่อง ซึ่งน่าจะสมเหตุสมผลกว่าการวัด 2 ครั้งที่ไม่เพียงพอที่จะทราบถึงวิถีทางการพัฒนาการของผู้เรียน ขึ้นกับการตัดช่วงเวลามาใช้ในการวัดครั้งแรก และวิถีทางการเปลี่ยนแปลงการเรียนรู้ของบุคคลมีหลายแบบแผน ซึ่งอาจจะ

ไม่ใช่แนวทางเชิงเส้นตรงเพียงอย่างเดียว แนวคิดและวิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวแนวใหม่นี้ส่วนใหญ่ จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวแนวใหม่มีการวิเคราะห์ข้อมูลหลายแนวทาง โดยการนำวิทยาการด้านการวัด สถิติและการวิจัยมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง วิทยาการในด้านการวัด ได้แก่ การประยุกต์ทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบพหุมิติ (Embretson, 1989) ทฤษฎีการวัดตัวแปรแฝงพลวัตที่เสนอการประยุกต์ใช้โมเดล 2 โมเดล คือ โมเดลกัทแมนซิมเพลกซ์ (Collins & Cliff, 1988) โมเดลตัวแปรแฝงพลวัตลำดับขั้น (Collins, 1989) สำหรับวิธีวิทยาทางสถิติที่นำมาใช้วิเคราะห์ได้แก่ โมเดลสัมประสิทธิ์เชิงสุ่ม หรือโมเดลการวิเคราะห์พหุระดับ (Bryk & Raudenbuch, 1987) โดยเฉพาะการนำโครงสร้างความแปรปรวนร่วมหรือโมเดลสมการโครงสร้างมาใช้อย่างกว้างขวาง ได้แก่ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง (Tisak & Meredith, 1990) โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ (Joreskog, 1970) โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว (Tisak & Meredith, 1990) โมเดลความแตกต่างและการเปลี่ยนแปลงแฝง (Meredith, 1989) และนอกจากนี้มีการนำสถิติด้านเศรษฐศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลง เช่น อนุกรมเวลา (Gottman, 1989) การวิเคราะห์การเหลือรอด (Willet & Singer, 1989) สำหรับในวิทยาการด้านการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาความเปลี่ยนแปลง ได้แก่ การศึกษาเปรียบเทียบผลการวิจัยแบบภาคตัดขวางกับผลการวิจัยระยะยาว การผสมผสานการวิจัยทั้ง 2 ประเภทเข้าด้วยกัน เช่น การวิจัยภาคตัดขวางในการสำรวจข้อมูลเพื่อกำหนดตัวแปรในการวิจัยระยะยาว การวิจัยภาคตัดขวางเสริมข้อมูลการวิจัยระยะยาวเพื่อศึกษาแบบแผนการเปลี่ยนแปลง (Sayer, 1993; Kim,1993 ; McArdle and Hamagami, 1989) เป็นต้น

นอกเหนือจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้วยวิธีวิทยาการดังกล่าวแล้ว ความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ก็ทำให้การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสะดวกรวดเร็วขึ้นกว่าเดิม เนื่องจากมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เอื้อต่อการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านนี้ เช่น โปรแกรมที่ใช้กระบวนวิธีการ วิเคราะห์สมการโครงสร้างเชิงเส้น (SEM) ได้แก่ โปรแกรม LISREL (Joreskog, 1989) โปรแกรม EQS (Bentler, 1989) โปรแกรมการวิเคราะห์พหุระดับ ได้แก่ โปรแกรม HLM (Bryk & Raudenbush, 1987) โปรแกรม MLn (Goldstein, 1987) โปรแกรม GENMOD (Mason, Anderson and Hayat, 1991) และ โปรแกรม VARCL (Longman, 1991) นอกจากนั้นนักวิธีวิทยาที่เสนอโมเดลหรือวิธีการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงก็ได้พัฒนาโปรแกรมเฉพาะของวิธีเหล่านั้นขึ้นมา เช่น โปรแกรม LISCOMP (Muthen, 1988) โปรแกรม LCDA (Meredith, 1989) โปรแกรม LGSINDEX และ โปรแกรม LGSCLUS ที่ใช้วิเคราะห์โมเดลกัทแมนซิมเพลกซ์ (Collins, 1989) ตลอดจนโปรแกรมที่วิเคราะห์การเหลือรอด (Willet and Singer, 1989) เป็นต้น

ตอนที่ 2 การวัดการเปลี่ยนแปลงแนวใหม่

เมื่อมีการนำเสนอวิธีวิทยาการวัดการเปลี่ยนแปลงที่มีการเก็บข้อมูลระยะยาว (longitudinal data) จากการวัดหลายครั้งตั้งแต่ช่วงปลายคริสตศักราช 1980 เป็นต้นมา อันมาจากแนวคิดว่ากระบวนการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง การเปลี่ยนแปลงอาจมีหลายรูปแบบ เป็นได้ทั้งแบบแผนเส้นตรงและที่ไม่ใช่เส้นตรง การวัดการเปลี่ยนแปลงแนวใหม่เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางและมีการพัฒนาเป็นโมเดลต่างๆ มากมาย จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยจัดประเภทวิธีวิทยาการวัดการเปลี่ยนแปลงแนวใหม่ได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ตามลักษณะของการวิเคราะห์ดังนี้ กลุ่มแรกเป็นการประยุกต์ใช้โมเดลสมการโครงสร้าง หรือการวิเคราะห์โครงสร้างความแปรปรวนร่วม ที่คำนึงความคลาดเคลื่อนในการวัดและนำตัวแปรแฝงมาร่วมวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง ได้แก่ การวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว การวิเคราะห์ความแตกต่างและการเปลี่ยนแปลงแฝง โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ กลุ่มที่สองเป็นการประยุกต์ใช้โมเดลสัมประสิทธิ์เชิงสุ่ม ได้แก่ โมเดลการวิเคราะห์พหุระดับ กลุ่มที่สามเป็นกระบวนวิธีการทฤษฎีการวัดเชิงพลวัต ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่อิงแนวคิดทฤษฎีการวัดต่างๆ เช่น IRT, Guttman เป็นต้น กลุ่มที่สี่การประยุกต์ใช้กระบวนวิธีการทางเศรษฐศาสตร์ เช่น อนุกรมเวลา การวิเคราะห์การเหลือรอด เป็นต้น วิธีการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแนวใหม่นี้ ส่วนใหญ่เป็นการวิเคราะห์ระดับคะแนนจริงหรือตัวแปรแฝง ที่นำเอาความคลาดเคลื่อนในการวัดมาร่วมวิเคราะห์ สำหรับผลที่ได้จากกระบวนวิธีการและโมเดลต่างๆ เหล่านี้อาจจัดได้เป็น 5 ประเภท คือ ปริมาณการเปลี่ยนแปลง สัดส่วนบุคคลที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ปริมาณเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลง แบบแผนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบสิ่งที่วัด และการจำแนกคุณลักษณะที่เปลี่ยนแปลงออกจากคุณลักษณะที่ไม่เปลี่ยนแปลง เป็นต้น

แนวคิดและกระบวนวิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงแนวใหม่ที่สำคัญ มีดังนี้

2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว (longitudinal factor analysis) รากฐานของโมเดลนี้มาจากการวิเคราะห์องค์ประกอบ Meredith & Tisak (1989) พัฒนาโมเดลนี้โดยประยุกต์สมการโครงสร้าง (SEM) ในการวิเคราะห์องค์ประกอบกับกลุ่มตัวแปรที่มีการวัดหลายครั้ง เพื่อวัดความคงที่ของโครงสร้างตัวแปรในช่วงเวลาต่างกัน การวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวมีข้อตกลงเบื้องต้นสำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรกมีความเข้มงวดในการวิเคราะห์องค์ประกอบ คือ องค์ประกอบร่วมไม่สัมพันธ์กับองค์ประกอบเฉพาะในการวัดครั้งเดียวกัน ประการที่สอง องค์ประกอบเฉพาะระหว่างตัวแปรในการวัดครั้งเดียวกันไม่สัมพันธ์กัน ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตและองค์ประกอบร่วมจะต้องมีค่าคงที่ทุกครั้งของการวัด แนวคิดของการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวคือ คะแนนดิบจากการวัดแต่ละบุคคล ในช่วงเวลาที่ต่างกัน จะประกอบด้วยคะแนน 2 ส่วน คือ คะแนนองค์ประกอบร่วม

(common factor score) และคะแนนองค์ประกอบเฉพาะ (unique factor score) เขียนเป็นโมเดลการวัดรายบุคคล ของคะแนนคนที่ i วัดครั้งที่ t ตัวแปร m คือ

$$Y_m = b_{mt} F_t + e_{mt}$$

เมื่อ Y_m คือ คะแนนดิบของตัวแปรที่การวัดครั้งที่ t ในรูปคะแนนที่เบี่ยงเบนจากกลุ่ม
b_{mt} คือ น้ำหนักองค์ประกอบในการวัดตัวแปร m ครั้งที่ t
F_t คือ องค์ประกอบร่วมในการวัดครั้งที่ t
e_{mt} คือ คะแนนองค์ประกอบเฉพาะในการวัดตัวแปร m ครั้งที่ t

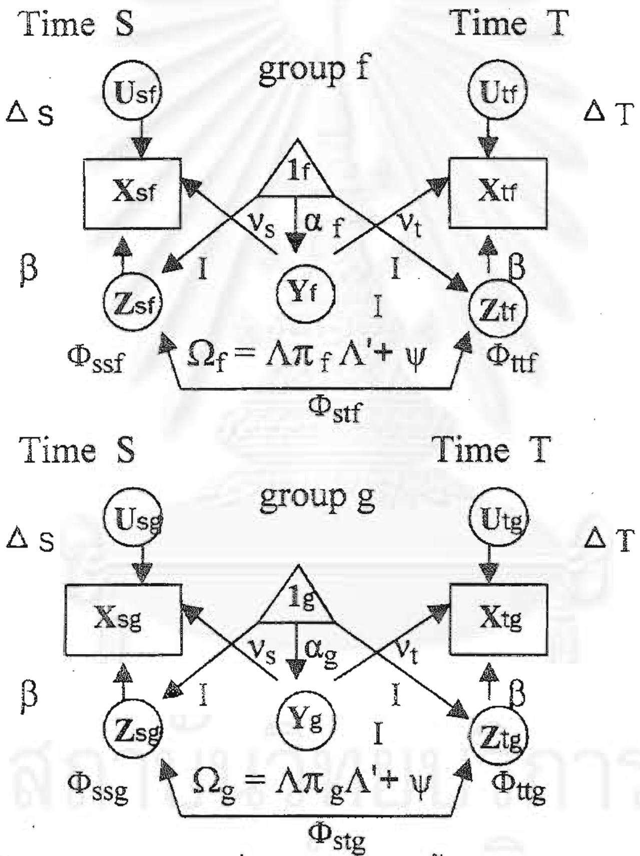
ดังนั้นมีการตรวจสอบน้ำหนักองค์ประกอบร่วมของตัวแปรเดียวกันในทุกช่วงเวลาว่าแตกต่างกันหรือไม่ ถ้าไม่แตกต่างก็แสดงว่ามีความคงที่ของโมเดล (stationarity) สำหรับการศึกษากับประชากรหลายกลุ่ม หากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการวัดกับองค์ประกอบร่วมในแต่ละกลุ่มประชากรมีความคงที่ แสดงว่า แบบแผนขององค์ประกอบที่วัดจากประชากรต่างกลุ่มกันไม่มีความแปรเปลี่ยนเป็นแบบแผนเดียวกัน (invariance of factor pattern) ความคงที่และการไม่แปรเปลี่ยนของการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวมีความสำคัญ เพราะสามารถเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงในระหว่างช่วงเวลาและระหว่างกลุ่มประชากรได้โดยตรง การตรวจสอบทั้งสองประการนี้แสดงถึงประสิทธิภาพของโมเดล สามารถตรวจสอบโดยใช้ผลต่างของไค-สแควส์

2.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างและการเปลี่ยนแปลงแฝง (Latent change and differences analysis : LCDA) พัฒนาโดย Meredith ในปีค.ศ.1989 (Collins and Horn, 1995) โมเดลนี้มุ่งระบุลักษณะที่ชี้ถึงความเปลี่ยนแปลง และจำแนกลักษณะเหล่านั้นออกจากลักษณะอื่น ๆ ที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในการวัดซ้ำของแบบแผนการทดลอง กล่าวได้ว่าเป็นการหาสารสนเทศเกี่ยวกับองค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงหรือแตกต่างกันของพหุกลุ่มและพหุเวลา โมเดลนี้เป็นการบูรณาการโมเดลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่มีตัวแปรแฝง (latent differences analysis : LDA) กับโมเดลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระหว่างการวัดที่มีตัวแปรแฝง (latent change analysis : LCA) การวิเคราะห์อยู่ในเงื่อนไข 2 way-MANOVA มีแนวคิดว่าความแตกต่างระหว่างบุคคลเป็นแหล่งแรกของการเปลี่ยนแปลง และความแตกต่างภายในกลุ่มเป็นแหล่งความคลาดเคลื่อน (noise) ที่ไม่แปรผันองค์ประกอบที่ศึกษาซ้อนใน (nested) กลุ่มตัวอย่าง สถานการณ์นี้จำแนกด้วยการวิเคราะห์ความแปรผันคาร์โนนิคอล (carnonical variant analysis) โมเดลคือ

$$x_t = Y + \beta Z_t + \alpha + \upsilon_t$$
$$\mu_{t,i} = \beta \nu_{t,i} + \alpha$$
$$\Sigma_{tt,i} = \Omega + \beta \Phi_{tt,i} \beta' + \Delta_{t,i}$$
$$\Sigma_{st,i} = \Omega + \beta \Phi_{st,i} \beta'$$

เมื่อ x_t คือ คะแนนการวัดครั้งที่ t, Z_t คือ ตัวแปรแฝงพัฒนาการครั้งที่ t, U_t คือ ความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งที่ t, Y คือ องค์ประกอบร่วมของการวัดทุกครั้ง สำหรับ β คือ สัมประสิทธิ์ถดถอยของคะแนนการวัดบนตัวแปรแฝงพัฒนาการ α เป็นสัมประสิทธิ์ถดถอยขององค์ประกอบร่วมบนคะแนนคงที่ ทั้ง β และ α ไม่แปรเปลี่ยนระหว่างกลุ่มและคงที่ระหว่างการวัด

ส่วน $\mu_{t,i}$ และ $v_{t,i}$ เป็นเวคเตอร์ของค่าเฉลี่ยของ x_t และ Z_t ของกลุ่มที่ i ตามลำดับ สำหรับ $\sum_{tt,i}$ และ $\Phi_{tt,i}$ เป็นเวคเตอร์ของเมทริกซ์การกระจายของ x_t และ Z_t ของกลุ่มที่ i ตามลำดับ ส่วน $\sum_{st,i}$ และ $\Phi_{st,i}$ เป็นเวคเตอร์ของเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของการสอบ 2 ครั้ง คือ x_t, x_s และ Z_t , Z_s กลุ่มที่ i ตามลำดับ Ω และ $\Delta_{t,i}$ เป็นเมทริกซ์การกระจายของ Y และ U ตามลำดับ



ภาพที่ 2 แผนภาพโมเดล LCDA ที่ทำการวัด 2 ครั้งกับกลุ่มทดลอง 2 กลุ่ม

McArdle กล่าวสรุปโมเดลนี้ว่า เป็นโมเดลที่บูรณาการระหว่างโมเดลการเปลี่ยนแปลงเชิง Canonical ของ Harris ในปี1963 และโมเดลพลวัตเชิงเส้น โมเดลนี้นำไปใช้กับการวัดพหุเวลาและพหุกลุ่ม (กลุ่มเป็นอิสระจากกัน) พารามิเตอร์ที่สามารถทำให้คงที่ได้จะเป็นตัวไม่แปรผันระหว่างหลายกลุ่ม โมเดลนี้เป็นโมเดลพหุกลุ่มองค์ประกอบซึ่งมีลักษณะพิเศษคือ 1. องค์ประกอบร่วมเป็นตัวแทนความแตกต่าง 2. ไม่มีโมเดลองค์ประกอบสำหรับตัวแปร y 3. องค์ประกอบแรกของกลุ่ม

แรกมีค่าคงที่ ที่ไม่มีการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน และ 4. การจัดโมเดลสามารถยืดหยุ่นสำหรับการทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับพัฒนาการ

2.3 โมเดลอนุกรมเวลา (Time-series Model) เป็นโมเดลที่ประยุกต์จากเศรษฐศาสตร์วิธีหนึ่ง เพื่อพยากรณ์ค่าในอนาคตจากแบบแผนหรือสมการที่สร้างภายใต้ข้อสมมุติว่า แบบแผนหรือความสัมพันธ์ในอนาคตไม่แตกต่างจากแบบแผนที่เกิดขึ้นแล้ว ข้อมูลมักจะมีความสัมพันธ์กันระหว่างช่วงเวลาหลังกับเวลาก่อนหน้านั้น ซึ่งต่างจากการวิเคราะห์การถดถอยทั่วไปที่ข้อมูลจะเป็นอิสระจากกัน ข้อตกลงเบื้องต้นของอนุกรมเวลาที่สำคัญ คือ รูปแบบของแนวโน้มค่อนข้างชัดเจน ข้อมูลมีการเพิ่มและลดอย่างสม่ำเสมอหรือไม่มีการแปรผันมาก การพยากรณ์ข้อมูลระยะยาวโมเดลนี้จึงไม่นำค่าแปรผันใดๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง การวิเคราะห์อนุกรมเวลาพิจาณาได้เป็น 2 โมเดลตามลักษณะข้อมูล คือ โมเดลการถดถอยแบบออโต (Autoregressive model) และโมเดลค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving-average model) การถดถอยแบบออโตใช้กับกรณีการเกิดเหตุการณ์ปัจจุบันที่ขึ้นอยู่กับเหตุการณ์ลำดับเวลาที่ผ่านมา การเพิ่มจำนวนครั้งการวัดจะลดระดับความไม่เป็นอิสระต่อกัน ตัวแปรอิสระเป็นตัวตาม (lag) ของตัวแปรตาม โมเดลนี้นิยามว่าคะแนนแต่ละครั้งได้รับผลจากสัดส่วนของจำนวนคะแนนก่อนหน้านี้ โมเดล คือ

$$Y_t = a + \Sigma b_i (Y_{t-i} - a) + E_t$$

เมื่อ Y_t คือ คะแนนการวัดครั้งที่ t ส่วน a และ b_i คือ intercept และ slope ตัวแปรที่ i สำหรับ E_t คือ คะแนนความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งที่ t

โมเดลค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ นิยามว่าคะแนนแต่ละครั้งได้รับผลจากสัดส่วนของจำนวนคะแนนความคลาดเคลื่อนก่อนหน้านี้ โดยการนำข้อมูลลำดับเวลาที่ติดต่อกันจำนวนหนึ่งมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อหาค่าแนวโน้มในปีถัดมา และกระทำต่อเนื่องโดยใช้จำนวนเวลาเท่าเดิม จำนวนเวลาที่คิดค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ต้องไม่น้อยกว่า 3 ครั้ง การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เป็นเพียงค่าแนวโน้มไม่สามารถพยากรณ์ค่าตัวแปรในอนาคตได้โมเดล คือ

$$Y_t = a - \Sigma b_i (E_{t-i}) + E_t$$

ปัญหาหลักของโมเดลอนุกรมเวลา คือ จำนวนครั้งที่มากพอจะระบุโมเดลได้ถูกต้อง และการเคลื่อนย้ายค่า slope โดยที่ Gottman (1996) ได้เสนอโมเดล ITSA (Interrupted time-series analysis) เป็นเทคนิคการควบคุมความสัมพันธ์แบบออโตและใช้ t ทดสอบการเปลี่ยนแปลง โดยการแบ่งเป็นจำนวนช่วงระยะ (phase) ที่มีข้อตกลงเบื้องต้นว่า แต่ละช่วงระยะต้องมี intercept และ slope ที่ต่างกัน ดังนั้นจึงไม่ต้องเคลื่อนย้ายค่า slope และสามารถใช้กับลำดับเวลาไม่มากครั้ง การประมาณค่าใช้วิธีกำลังสองที่น้อยที่สุด แล้วทดสอบนัยสำคัญความเปลี่ยนแปลงของค่า intercept และ slope ระหว่างระยะที่ 1 และ 2 เมื่อพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงจึงใช้การวิเคราะห์แบบ ITSA

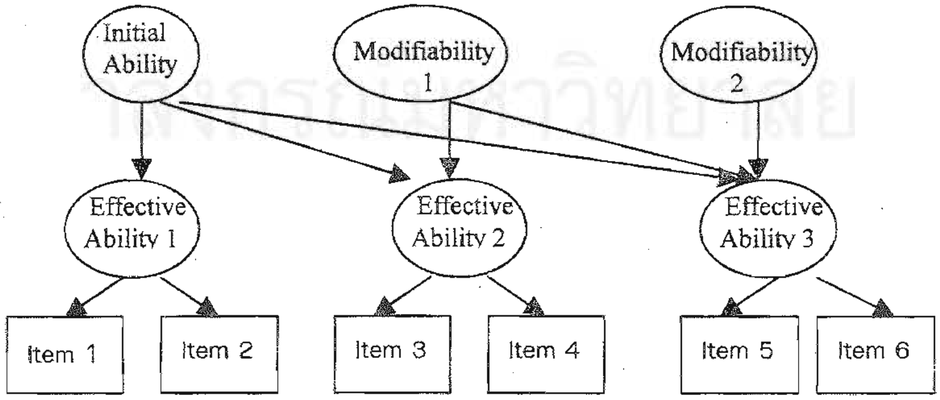
2.4 โมเดลราส์ชพหุมิติสำหรับการวัดการเปลี่ยนแปลงการเรียนรู้ (Mulidimensional Rasch model for learning and change หรือ MRMLC) พัฒนาโมเดลโดย Embretson (1989) เป็นโมเดลที่ประยุกต์จากโมเดลราส์ชและโมเดลกึ่งวีเนอร์ซิมเพลกซ์ (Quasi-Wiener Simplex model) โมเดลราส์ชมีประโยชน์กว่าทฤษฎีดั้งเดิม ในแง่การประมาณความสามารถของผู้สอบไม่ลำเอียงจากความยากของข้อสอบ และการใช้โมเดลกึ่งวีเนอร์ซิมเพลกซ์พิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถเริ่มต้น (initial ability) และความสามารถในการปรับเปลี่ยน(modifiability) ข้อตกลงเบื้องต้น คือ กระบวนการเปลี่ยนแปลงมีความซับซ้อนของการตอบข้อสอบเพิ่มขึ้นในการวัดแต่ละครั้ง โมเดลเหมาะกับงานที่ซับซ้อนขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งจะมีความแปรปรวนเพิ่มขึ้นตลอดช่วงเวลาการวัดโดยเป็นแบบแผนการวัดซ้ำ 2-5 ครั้ง สำหรับชุดข้อมูลที่มีความแปรปรวนของความสามารถที่ลดลงหรือเป็นงานที่ทำซ้ำด้วยความสามารถคงเดิม ไม่ควรใช้โมเดลนี้ ตัวแปรแฝงของโมเดล MRMLC คือ ความสามารถเริ่มต้นจากการวัดครั้งแรก ส่วนความสามารถในการวัดครั้งต่อๆไป คือ ครั้งที่ 2,3,...เรียกว่า ความสามารถการเรียนรู้ ความสามารถการเรียนรู้แต่ละครั้ง ได้รับอิทธิพลจากความสามารถในการปรับเปลี่ยนครั้งก่อนหน้า ลักษณะนี้เป็นโครงสร้าง Wiener สำหรับผลรวมของความสามารถเริ่มต้นกับความสามารถในการเรียนรู้แต่ละครั้ง เรียกว่า ความสามารถเชิงประสิทธิภาพ (effective ability) ดังนั้นความน่าจะเป็นในการตอบข้อสอบแต่ละข้อ หาได้จาก

$$P(X_{i(k)j} = 1) = \frac{\exp(\sum_{m=1}^{k} \theta_{jm} - b_i)}{1 + \exp(\sum_{m=1}^{k} \theta_{jm} - b_i)}$$

เมื่อ $P(X_{i(k)j} = 1)$ คือ ความน่าจะเป็นของคะแนนข้อสอบข้อที่ i คนที่ j ครั้งที่ k

$\sum_{m=1}^{k}\theta_{jm} - b_i$ คือ ศักยภาพในการตอบข้อสอบ ได้จากผลต่างระหว่างความสามารถเชิงประสิทธิภาพกับความยากของข้อสอบ (b_i)

และ $\sum_{m=1}^{k}\theta_{jm}$ คือ ความสามารถเชิงประสิทธิภาพ (Effective Ability) ได้จาก ผลรวมของความสามารถในการเรียนรู้รายบุคคล (θ_{jm}) ครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ k



ภาพที่ 3 การแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Initial Ability, Effective Ability และ Learning Ability

คุณสมบัติของโมเดลนี้ประการแรก แม้ว่าโมเดลจะเป็นพหุมิติทุกครั้งของการวัด แต่ความสามารถที่เป็นส่วนประกอบการวัดแต่ละครั้งสามารถทำเป็นเอกมิติได้ ประการที่สอง โมเดลทำให้พารามิเตอร์ข้อสอบบรรลุเป้าหมาย ประการที่สาม มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานร่วมอยู่ด้วย ประการที่สี่ความหมายของคะแนนนำมาเปรียบทียบในรูปแบบมาตรฐานและไม่มาตรฐาน

เมื่อนำโมเดลนี้เปรียบเทียบกับข้อวิจารณ์การวัดการเปลี่ยนแปลงแบบดั้งเดิม พบว่า มีประโยชน์อย่างน้อย 2 ประการ คือ ความเที่ยงไม่เกิดในลักษณะผิดปกติ กล่าวคือ ความเที่ยงของคะแนนการเปลี่ยนแปลงมีค่าไม่ต่ำกว่าความเที่ยงของการวัดแต่ละครั้ง ข้อที่ 2 คือ ความสามารถเดิมที่ต่างกันจะทำให้คะแนนการเปลี่ยนแปลงที่ต่างกันด้วย และท้ายสุด การประมาณ MRMLC มีพื้นฐานจากแบบสอบที่มีเนื้อหาตายตัวที่อาจจะทำให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างสถานภาพเดิม แต่การเปลี่ยนแปลงที่มีความลำเอียงในทางลบ อาจแก้ไขด้วยการสอบแบบปรับเหมาะ

2.5 โมเดลตัวแปรแฝงพลวัตลำดับขั้น (Stage-sequential Dynamic Latent Variables Model) จัดเป็นโมเดลหนึ่งในการประยุกต์ทฤษฎีการวัดแนวใหม่ในการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว Collins (1991) เสนอแนวคิดการวัดเชิงพลวัตว่า ทฤษฎีการวัดในอดีตเป็นการวัดตัวแปรแฝงสถิต (static latent variable) เช่น ทฤษฎีการวัดแบบดั้งเดิมและทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ ที่เน้นความแปรผันระหว่างบุคคลในการวัดครั้งเดียว (within-time individaul variability) ซึ่งไม่สอดคล้องกับการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวที่ตัวแปรแฝงมีลักษณะเป็นพลวัต (dynamic latent variable) ตัวอย่างในการวัดทักษะคณิตศาสตร์ ผู้วิจัยทำการวัดทั้ง 4 ทักษะ (บวกลบคูณหาร) เพื่อให้ครอบคลุมความตรงเชิงเนื้อหา แต่ผลการวัดครั้งแรกนักเรียนส่วนมากทำข้อสอบการบวกได้ และ บางส่วนทำข้อสอบการลบและคูณได้ แต่ไม่มีใครทำข้อสอบการหารได้ ดังนั้นข้อสอบการหารจึงคงที่ในการสอบครั้งแรก เมื่อทำการวัดปีถัดไปข้อสอบการหารจะไม่คงที่ แต่ข้อสอบการบวกจะคงที่เพราะทุกคนทำได้ ข้อสอบการหารในการวัดครั้งแรกและข้อสอบการบวกในครั้งสุดท้ายจะมีค่าความแปรผันระหว่างบุคคลในการวัดครั้งเดียวเป็นศูนย์ ในทางปฏิบัติเราจะละทิ้งข้อสอบเหล่านี้ออกไปจำนวนมาก แต่การวัดครบทั้ง 4 ทักษะจะแสดงให้เห็นลักษณะพลวัตของการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้น การนิยามความเที่ยงของทฤษฎีแบบดั้งเดิม ประชากรที่มีความแปรปรวนคะแนนจริงมากย่อมมีค่าความเที่ยงสูงกว่ากลุ่มที่มีความแปรปรวนของคะแนนจริงแคบ ดังนั้นการวัดติดตามเด็กที่ตัวแปรแฝงเป็นเอกพันธ์ตลอดหลักสูตร จะไม่แสดงค่าความเที่ยงที่สูงได้ แม้สะท้อนถึงพัฒนาการได้ดีก็ตาม การใช้ประชากรที่มีความสามารถหลากหลายหรือวิวิธพันธ์ จะแก้ปัญหาความเที่ยงได้หรือไม่นั้น ต้องตระหนักว่า ความแตกต่างระหว่างบุคคลเป็นอิสระจากความแตกต่างภายในบุคคล เกณฑ์สำหรับการสร้างและประเมินเครื่องมือที่มีฐานมาจากความแตกต่างระหว่างบุคคล จะไม่มีประโยชน์สำหรับการสร้างและประเมินเครื่องมือที่วัดความแตกต่างภายในบุคคล ดังนั้นรูปแบบการประเมินเครื่องมือจึงควรเป็นเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงภายในบุคคลตลอดช่วงเวลา

สำหรับทฤษฎีการวัดสำหรับตัวแปรแฝงพลวัตที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝงควรมาจากทฤษฎีที่เกี่ยวกับพัฒนาการของตัวแปรแฝงที่เราสนใจ ซึ่งมีรูปแบบการพัฒนามากมาย เพียงแต่ผู้วิจัยจะต้องเลือกให้เหมาะสม คำถามต่อไปนี้เป็นแนวทางการเลือกใช้หรือสร้างทฤษฎีการวัดตัวแปรแฝงพลวัต

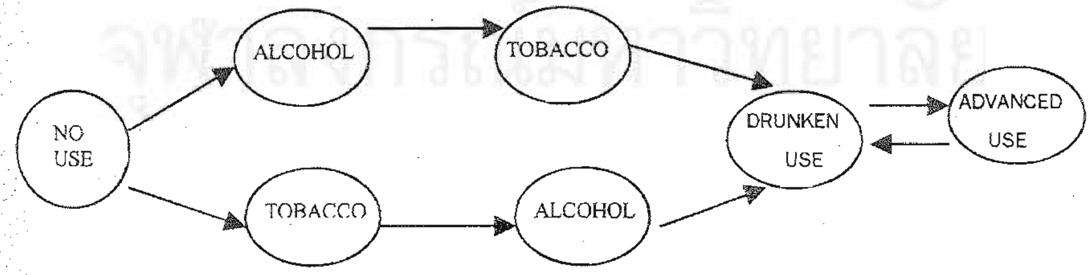
1. การพัฒนาเป็นแบบสะสม (cumulative) หรือไม่ คือ มีความสามารถ (ทัศนคติ ทักษะ ยุทธวิธี) เพิ่มขึ้น ขณะที่ความสามารถเดิมยังคงมีอยู่

2. การพัฒนาไปในทางเดียวกันหรือหลายเส้นทาง (unitary or multi-path) ตัวแปรแฝงที่นำเสนอด้วยเส้นทางเดียวเป็นการดีที่สุด ในกรณีเป็นทางอ้อมจะมีมีลำดับขั้นที่ใช้จะลัดหรือไม่

3. การพัฒนาเป็นแบบถอยหลัง (reversible) หรือไม่ หรือเกิดเหตุการณ์ที่จะทำให้สูญเสียความสามารถหรือไม่

4. พัฒนาการเชิงปริมาณที่ต่อเนื่อง (continuous) หรือเป็นคุณลักษณะที่ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ในเชิงคุณภาพหรือไม่

Collins (1991) เสนอโมเดลที่เป็นแบบทฤษฎีการวัดเชิงพลวัต 2 โมเดล โมเดลแรก ตัวแปรแฝงพลวัตลำดับขั้น โมเดลที่สองคือ โมเดลกัทแมนซิมเพลกซ์ระยะยาวอยู่ในหัวข้อ 2.5 ในที่นี้จะกล่าวถึงโมเดลตัวแปรแฝงพลวัตลำดับขั้นที่ขยายจาก Latent Class Measurement Theory เป็นจำแนกประชากรเป็นกลุ่มแฝง 2 กลุ่มขึ้นไป และใช้โมเดล Markov ในการประยุกต์ลำดับขั้นพลวัต แล้วเพิ่มเติมการประมาณค่าความน่าจะเป็นของกลุ่มแฝงเหล่านั้น โมเดลนี้ใช้ประมาณค่าในรูปเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงจากสถานการณ์แฝงหนึ่งเป็นอีกสถานการณ์แฝงหนึ่งในระหว่างช่วงการวัด โดยที่สถานการณ์แรกมีลำดับขั้นเดียว สถานการณ์ท้าย ๆ จะมีลำดับขั้นครอบคลุมสถานการณ์แรกๆ ด้วย โมเดลนี้สามารถใช้กับสถานการณ์ที่เป็นลักษณะทั่วไปมากกว่าโมเดลกัทแมนซิมเพลกซ์ฯ เพราะสามารถใช้กับเงื่อนไขพัฒนาการที่ไม่ใช่แบบสะสม เป็นหลายเส้นทาง และสามารถถอยกลับได้ Collins ยกตัวอย่างสถานการณ์ติดสิ่งเสพติดของวัยรุ่นจากโมเดลของ Graham และคณะ (1991) ที่จัดกลุ่มตัวอย่างเข้าในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งใน 4 กลุ่มแฝง คือ กลุ่มเคยลองเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ กลุ่มเคยลองบุหรี่ กลุ่มติดเหล้า และกลุ่มใช้สิ่งเสพติดเพิ่มขึ้น ลำดับขั้นการใช้สิ่งเสพติด ดังภาพ



ภาพที่ 4 โมเดลพลวัตลำดับขั้นการใช้สารเสพติดในกลุ่มวัยรุ่นของ Graham และคณะ ในปี 1991

Collins จำแนกสมาชิกของกลุ่มแฝงเป็น 6 สถานการณ์แฝง คือ 1. ไม่เคยใช้สิ่งเสพติด 2. เคยลองเครื่องดื่มแอลกอฮอล์เท่านั้น 3. เคยลองบุหรี่เท่านั้น 4. เคยลองทั้งแอลกอฮอล์และบุหรี่ 5. เคยลองทั้งแอลกอฮอล์และบุหรี่และติดเหล้า 6. เคยลองทั้งแอลกอฮอล์และบุหรี่ และปัจจุบันติดเหล้าและลองใช้สิ่งเสพติดเพิ่มขึ้น เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงจากสถานการณ์แฝงเป็นอีกสถานการณ์แฝงหนึ่ง โดยใช้ค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลง โมเดลจะประมาณค่าพารามิเตอร์เป็น 3 ชนิด คือ ชนิดแรกค่าประมาณความน่าจะเป็นของสมาชิกในเมทริกซ์ ชนิดที่สองค่าประมาณสัดส่วนบุคคลในแต่ละสถานการณ์จากการวัดครั้งแรก ชนิดที่สามค่าประมาณความสัมพันธ์ระหว่างสถานการณ์และข้อคำถามซึ่งเป็นคุณภาพของข้อคำถาม พารามิเตอร์การวัดของการรวมแต่ละข้อคำถาม/สถานการณ์แฝง แสดงถึงความน่าจะเป็นของการตอบข้อคำถามบนเงื่อนไขของสถานการณ์แฝง มีการทดสอบความสอดคล้องกลมกลืนของโมเดลโดยใช้ไค-สแควส์และพารามิเตอร์การวัด ผลจากโมเดลที่สำคัญคือ ชุดพารามิเตอร์ข้อสอบที่ดี ความน่าจะเป็นของสถานการณ์แฝงแต่ละครั้งการวัด และความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงแฝง

2.6 โมเดลกัทแมนซิมเพลกซ์ระยะยาว (Longitudinal Guttman simplex : LGS) นำเสนอโดย Collins และ Cliff (1988, 1990) จัดเป็นโมเดลหนึ่งในการประยุกต์ทฤษฎีการวัดที่มีตัวแปรพลวัต โดยขยายแนวคิดจากโมเดลกัทแมนซิมเพลกซ์ (GS) ที่ Guttman นำเสนอในปี ค.ศ. 1950 โดยปรับเพิ่ม 2 ประการ คือ ประการแรก เพิ่มข้อมูลชุดที่ 3 คือ เวลา จากโมเดลเดิมที่มีข้อมูล บุคคลและข้อสอบ และประการที่ 2 แต่ละบุคคลมีลำดับของข้อสอบและลำดับเวลาร่วมกันและลำดับนี้คงที่ระหว่างบุคคล ความคงที่นี้ทำให้ข้อสอบและเวลาเป็นลำดับร่วม ข้อสอบมีความสัมพันธ์กับเวลาและเวลาสัมพันธ์กับข้อสอบ และลำดับข้อสอบ-เวลาร่วมกันระหว่างบุคคล

การวิเคราะห์ตัวแปรแฝงที่ใช้โมเดล LGS นี้ ต้องมีลักษณะเป็นพัฒนาการรายบุคคลแบบสะสมในทิศทางเดียวและไม่มีการลดถอยจากเดิม (model of monotonic individaul growth) ดังนั้นข้อสอบข้อเดียวกันที่ทำการวัดครั้งที่ 2 จะต้องมีความน่าจะเป็นในการตอบถูกมากกว่าครั้งแรก และทุกข้อจะมีค่าดัชนีที่วัดคงเส้นคงวาตามลักษณะของมาตรวัดกัทแมนระยะยาว (consistency index of longitudinal Guttman scales) ที่เรียกว่า CL index

$$CL = \frac{\dfrac{\text{consistent}}{\text{total}} - \dfrac{\text{expected consistent}}{\text{expected total}}}{1 - \dfrac{\text{expected consistent}}{\text{expected total}}}$$

เมื่อ consistent คือ ความสัมพันธ์ของลำดับที่ข้อสอบทั้งหมดที่ถ่วงน้ำหนัก ด้วยสหสัมพันธ์ลำดับที่ความยากของข้อสอบที่เป็นไปตามโมเดลระหว่างช่วงเวลาต่างๆ total คือ จำนวนข้อสอบจำนวนครั้งการสอบ ไม่ว่าจะคงเส้นคงวาหรือไม่คงเส้นคงวากับโมเดลก็ตาม expected consistent and expected total เป็นความสัมพันธ์แต่ละประเภทที่ได้รับการคาดหวังจากความแตกต่างของความถี่ระหว่างข้อสอบและระหว่างเวลา

โมเดลนี้มีโปรแกรมวิเคราะห์โดยเฉพาะ คือ โปรแกรม LGSINDEX ในการวิเคราะห์ข้อสอบและโปรแกรม LGSCLUS สำรวจข้อมูลสำหรับมาตรวัดกัทแทมระยะยาว ลักษณะสำคัญ 4 ประการของระเบียบวิธี LGS ที่ควรนำไปใช้ คือ สามารถหาอัตราพัฒนาการเป็นรายบุคคล สามารถใช้วัดได้หลายครั้ง สามารถใช้กับพัฒนาการที่เป็นเชิงเส้นตรงและมิใช่เส้นตรง และสุดท้าย cumulative เป็นส่วนสำคัญของการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างพัฒนาการเชิงสะสมทิศทางเดียว

2.7 การวิเคราะห์การเหลือรอด (Survival Analysis) เป็นโมเดลที่ Willet และ Singer พัฒนาจากโมเดลทางเศรษฐศาสตร์คือ even-history ในปี ค.ศ.1989 เพื่อศึกษาถึงระยะเวลาที่กลุ่มตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลง ผลที่ได้ของโมเดลจึงตอบคำถามว่า เด็กต้องใช้เวลาเท่าไรจึงจะมีพัฒนาการ หรือจะบรรลุกิจกรรมนี้ต้องใช้ระยะเวลาเท่าไร เป็นต้น การวิเคราะห์การเหลือรอดเป็นเทคนิคที่รวมการตรวจสอบกรณีผ่านไม่ผ่าน (censored and uncensored) ไว้ในการวิเคราะห์ครั้งเดียว กระบวนการวิเคราะห์ประกอบด้วย 2 ฟังก์ชัน คือ ฟังก์ชันการเหลือรอด (survival function) และฟังก์ชันภาวะการเสี่ยง (hazard function) ค่าที่ได้จากฟังก์ชันทั้งสองนำมาสร้างโค้งความน่าจะเป็นในการเหลือรอดและภาวะการเสี่ยงในแต่ละช่วงเวลา การวิเคราะห์ใช้โมเดล partial likelihood โดยพิจารณาความกลมกลืนของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ด้วยไค-สแควส์และทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวพยากรณ์และช่วงระยะเวลา

การศึกษาประกอบการนำเสนอโมเดลนี้ได้ข้อมูลจากสถานคุ้มครองเด็กแห่งชาติอเมริกา เมื่อทำกราฟแสดงความน่าจะเป็นของช่วงเวลาที่เด็กอยู่ในความคุ้มครอง ที่ได้การวิเคราะห์การเหลือรอด เช่น 6 เดือน 1 ปี หรือ 2 ปีจากเวลาที่เริ่มต้นศึกษา ความน่าจะเป็นของเหลือรอดของเด็กทั้งหมดเท่ากับ 1.00 เมื่อเด็กออกจากการคุ้มครองฟังก์ชันการเหลือรอดจะลดลงเข้ามาศูนย์ จากกราฟพบว่าเด็กประมาณ 50 % ใช้เวลามากกว่า 3.1 ปี อันเป็นค่าประมาณมัธยฐานอายุการคุ้มครอง (median lifetime) จะเป็นการตอบคำถามว่าใช้เวลากี่ปี สถิตินี้ใช้ทั้งกรณีการตรวจสอบผ่านและไม่ผ่าน ถ้าเส้นกราฟของฟังก์ชันการเหลือรอดมีความชันเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันใน ณ ช่วงใดจะเป็นช่วงที่เด็กมีความเสี่ยงสูง การตรวจสอบความชันในการกระเพื่อมของเส้นกราฟนี้ เป็นการตรวจสอบฟังก์ชันภาวะการเสี่ยง ภาวะการเสี่ยง (hazard) นิยามได้ว่าเป็นค่าความน่าจะเป็นที่เด็กออกจากสถานคุ้มครองในขณะที่เขาต้องอยู่ในความคุ้มครอง การเปรียบเทียบ hazard ณ ช่วงเวลาต่างกัน ช่วงระบุถึงช่วงเวลาเกิดอันตราย ขั้นต่อมาเป็นการศึกษาตัวพยากรณ์ของความแปรผันระหว่างบุคคลตลอดช่วงระยะเวลา เป็นการเปรียบเทียบการทำกราฟ

survival และ hazard นำมาคำนวณแยกกลุ่มเด็กซึ่งมีค่าร่วมกันในหาตัวพยากรณ์ การทำกราฟของฟังก์ชันทั้งสองจะทำให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาและตัวพยากรณ์แต่ละตัว และโมเดลการถดถอยเชิงเส้นเป็นโมเดลที่สอดคล้องกับการนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างผลที่ได้ (คือ ระยะเวลากับตัวพยากรณ์หลายตัว) เป็นโมเดลภาวะการเสี่ยง (hazard models) ที่ทดสอบเส้นภาพภาวะการเสี่ยง (hazard profiles)

การวิเคราะห์การเหลือรอดด้วยการใช้โมเดลภาวะการเสี่ยงมีประโยชน์หลายประการคือ ประการแรก มีตัวพยากรณ์หลายตัวรวมอยู่ในโมเดลเดียว สามารถศึกษาอิทธิพลตัวพยากรณ์หนึ่ง โดยการควบคุมตัวพยากรณ์อื่น ๆ ประการที่ 2 ตัวแปรที่เป็นแบบต่อเนื่องและแยกประเภทสามารถนำมาเป็นตัวพยากรณ์ได้ ประการที่สาม อิทธิพลหลักทั้ง 2 ตัว และปฏิสัมพันธ์ของอิทธิพลสามารถมารวมไว้ในโมเดลเดียวกัน โมเดลภาวะการเสี่ยงเป็นโมเดลการถดถอยเชิงเส้น ดังนั้นปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวพยากรณ์สามารถทดสอบได้ โดยการเพิ่มเทอม cross-product ในโมเดลอิทธิพลหลักได้ และประการที่สี่ สามารถตรวจสอบความสอดคล้องกลมกลืนของโมเดลได้

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยสนใจที่ศึกษาถึงการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวในแนวใหม่ที่มีการเก็บข้อมูลระยะยาว (longitudinal data) การวิเคราะห์เพื่อให้ได้คะแนนการเปลี่ยนแปลงที่เป็นความสามารถที่แท้จริง ผู้วิจัยเลือกศึกษาการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวโดยใช้โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ และโมเดลพหุระดับ (รายละเอียดโมเดลทั้งสามนี้ที่ใช้ในการวิจัยครั้งจะนำเสนอเฉพาะในตอนที่ 3) การที่เลือกโมเดลทั้งสามนี้เนื่องจากโมเดลพหุระดับ เป็นวิธีที่มีแนวคิดการวิเคราะห์ที่คำนึงถึงโครงสร้างของระดับข้อมูลที่สอดคล้องลักษณะข้อมูลการวัดการเปลี่ยนปผลงครั้งนี้ ส่วนโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์เป็นการวิเคราะห์ตามกรอบโมเดลสมการโครงสร้าง (SEM) ที่มีการเชื่อมโยงจากคะแนนการวัดมาสู่คะแนนจริงที่เป็นตัวแปรแฝง นำความคลาดเคลื่อนในการวัดมาร่วมวิเคราะห์ นอกจากนี้เป็นรูปแบบที่ยอมรับกันทั่วไปว่ามีความแกร่งและมีความพอเพียงในเชิงสถิติ มีความยืดหยุ่นสูงในการปรับขยายจากการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวที่มีตัวแปรเดี่ยวมาสู่การวัดโมเดลตัวแปรพหุ สำหรับโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง มีจุดเด่นหลายประการ คือ เป็นโมเดลประหยัด ง่ายต่อการตีความ ไม่มีความลำเอียงในการประมาณค่า สามารถประมาณค่าได้อย่างดีแม้แบบแผนพัฒนาการจะเป็นเส้นตรงหรือไม่เป็นเส้นตรงก็ตาม การเลือกโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ (Quasi-Simplex Models หรือ QSM) มาประยุกต์ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางการเรียนรู้ในครั้งหลังๆ จะได้รับอิทธิพลการส่งถ่ายความรู้จากครั้งแรกๆ ก่อนหน้านั้น มีลักษณะเป็นการถดถอยแบบออโต

จากการศึกษารายละเอียดวิธีวิทยาการวัดและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวแนวใหม่ ผู้วิจัยวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีวิทยาการวัดในแง่มุมต่างๆ นำเสนอสรุปในตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบโมเดลของการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงจากการวัดแนวใหม่

วิธี	โมเดลพื้นฐาน	ข้อตกลงเบื้องต้น	ผลที่ได้
1. โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง (Latent Growth Curve)	โค้งพัฒนาการ (GC) และสมการโครงสร้าง (SEM) **ผู้พัฒนาโมเดล** Meredith & Tisak (1990)	ระดับข้อมูลคือ interval และการเปลี่ยนแปลงรายบุคคลเกี่ยวกับเวลาอย่างเป็นระบบ วัดคุณลักษณะเดียวกันตลอดช่วงการวัด	1.คะแนนเริ่มต้นที่แท้จริง 2.อัตราพัฒนาการ 3. ค่าอิทธิพลของอัตราพัฒนาการส่งผลต่อคะแนนวัด
2. โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ (Quasi Simplex Model)	โมเดลซิมเพลกซ์และสมการโครงสร้าง (SEM) **ผู้พัฒนาโมเดล** Joreskog (1970)	มีการส่งถ่ายความรู้จากการวัดครั้งแรกไปยังครั้งถัดไป	อิทธิพลของคะแนนจริงที่วัดครั้งแรก ๆ ส่งผลยังคะแนนจริงครั้งถัดไป
3. โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว (Longitudinal Factor Analysis)	การวิเคราะห์องค์ประกอบและ และสมการโครงสร้าง (SEM) **ผู้พัฒนาโมเดล** Meredith & Tisak (1990)	1. องค์ประกอบร่วมไม่สัมพันธ์กับองค์ประกอบเฉพาะในการวัดครั้งนั้น 2. องค์ประกอบเฉพาะระหว่างตัวแปรในการวัดครั้งเดียวกันไม่สัมพันธ์กัน	ความคงที่ของแบบแผนน้ำหนักองค์ประกอบต่าง ๆ ของตัวแปร ตลอดช่วงเวลาการวัด
4. โมเดลการวิเคราะห์ความแตกต่างและการเปลี่ยนแปลงแฝง (LCDA)	1. LDA วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม 2. LCA วิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงระหว่างครั้งของการวัด โมเดลนี้วิเคราะห์ด้วย MANOVA และ CANONICAL **ผู้พัฒนาโมเดล** Meredith (1989)	1. พหุเวลาและพหุกลุ่ม (กลุ่มเป็นอิสระจากกัน) 2. เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของ MANOVA และ CANONICAL	จำแนกคุณลักษณะที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงออกจากคุณลักษณะที่ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 2 (ต่อ)

วิธี	โมเดลพื้นฐาน	ข้อตกลงเบื้องต้น	ผลที่ได้
5. โมเดลพหุระดับ (Multilevel Model)	โมเดลสัมประสิทธิ์เชิงสุ่ม **ผู้พัฒนาโมเดล** Bryk & Raudenbush (1987)	1. ข้อมูลมีโครงสร้างอย่างน้อย 2 ระดับ คือ ระดับย่อยซ้อนใน (nested) ระดับใหญ่ 2. มีความแปรผันร่วมระหว่างครั้งการวัด	1. คะแนนเริ่มต้นที่แท้จริง (intercept) 2. อัตราพัฒนาการ (slope)รายบุคคลและเป็นกลุ่ม
6. โมเดลราส์ชพหุมิติสำหรับการวัดการเปลี่ยนแปลงการเรียนรู้ (MRMLC)	โมเดลราส์ช (IRT) และโมเดลกึ่งโครงสร้าง-วีเนอร์ซิมเพลกซ์ **ผู้พัฒนาโมเดล** Embretson (1989)	1. เครื่องมือวัดพหุมิติ 2. สถานการณ์วัดผู้สอบต้องใช้ความสามารถเพิ่มขึ้นแบบสะสม	1. คะแนนการเปลี่ยนแปลงเป็นรายบุคคล 2. คุณภาพข้อสอบ (ความยาก)
7. โมเดลกัทแมนซิมเพลกซ์ระยะยาว (Longitudinal Guttman Simplex)	โมเดลกัทแมน (GS) และโมเดลซิมเพลกซ์ **ผู้พัฒนาโมเดล** Collins & Cliff (1988)	สถานการณ์วัดต้องใช้ความสามารถเพิ่มขึ้นแบบสะสม เป็นทิศทางเดียวและไม่ลดถอยจากเดิม	คะแนนการเปลี่ยนแปลงรายบุคคล และเป็นกลุ่ม
8. โมเดลตัวแปรแฝงพลวัตลำดับขั้น	ทฤษฎีการวัดกลุ่มแฝง (latent class) **ผู้พัฒนาโมเดล** Collins (1991)	พัฒนาการไม่ใช่แบบสะสม แต่มีหลายเส้นทาง พัฒนาการหลายแบบ และอาจมีลักษณะลดถอยจากเดิม	1. สัดส่วนบุคคลในแต่ละสถานการณ์ของการเปลี่ยนแปลง 2. คุณภาพข้อคำถาม (ความสัมพันธ์ระหว่างสถานการณ์กับข้อคำถาม) 3. ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมแฝง

ตารางที่ 2 (ต่อ)

วิธี	โมเดลพื้นฐาน	ข้อตกลงเบื้องต้น	ผลที่ได้
9. การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (time series analysis)	โมเดลอนุกรมเวลา **ผู้พัฒนาโมเดล** Browne & Du Toit (1989) Gottman (1989)	1. ความไม่แปรเปลี่ยนของแบบแผนความสัมพันธ์ 2. ความคงที่ของโมเดล	คะแนนการเปลี่ยนแปลง
10.โมเดลการวิเคราะห์การเหลือรอด (Survival analysis)	Even - hiotory analysis ประกอบด้วย 2 ฟังก์ชัน คือ survival function และ hazard function	1. ความไม่แปรเปลี่ยนของแบบแผนความ-สัมพันธ์ 2. ความคงที่ของโมเดล	ปริมาณเวลาที่ใช้จัดกิจกรรม เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมที่ต้องการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตอนที่ 3 แนวคิดและระเบียบวิธีการของโมเดลที่วัดการเปลี่ยนแปลง

โมเดลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มี 3 โมเดล คือ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ เนื่องจากโมเดลทั้งสามสามารถให้คำตอบในเชิงปริมาณเกี่ยวกับอัตราการเปลี่ยนแปลง มีข้อตกลงเบื้องต้นที่สอดคล้องกับลักษณะข้อมูลครั้งนี้ และทั้งสามโมเดลนำความคลาดเคลื่อนของการวัดมาร่วมวิเคราะห์ และสามารถปรับขยายจากโมเดลชนิดตัวแปรเดี่ยวมาเป็นโมเดลชนิดตัวแปรพหุได้ รายละเอียดแต่ละโมเดล มีดังนี้ คือ

3.1 โมเดลพหุระดับ (Multilevel Model : MLM)

โมเดลพหุระดับที่รู้จักกันในนามของโมเดลสัมประสิทธิ์เชิงสุ่ม (Rosenberg, 1973) และ โมเดลลดหลั่นเชิงเส้น หรือ HLM (Bry and Raudenbush, 1987) เป็นวิธีวิทยาการทางสถิติที่ประยุกต์จากสมการถดถอย ที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่มีโครงสร้างเป็นระดับตั้งแต่ 2 ระดับขึ้นไป (hierarchical data) โดยข้อมูลระดับย่อยซ้อนใน (nested) ข้อมูลระดับที่สูงขึ้น เช่น นักเรียนซ้อนในห้องเรียน ห้องเรียนซ้อนในโรงเรียน เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงระยะยาวก็มีโครงสร้างเป็นระดับเช่นกัน กล่าวคือ จำนวนครั้งในการวัดซ้อนในหน่วยบุคคล เวลาเป็นหน่วยต่ำสุดของโมเดล Byrk and Raudenbush (1987,1992) อธิบายกรอบของโมเดลนี้โดยใช้การวิเคราะห์เป็น 2 ระดับ โดยที่ระดับแรกเป็นโมเดลการวัดซ้ำ (อันเป็นพัฒนาการที่เกิดขึ้นภายในบุคคล (within - subject) เมื่อกำหนดตัวแปรตามเป็นสถานภาพรายบุคคลที่สังเกตได้ ณ เวลาต่างๆ เวลาจึงเป็นตัวแปรอิสระของฟังก์ชันวิถีทางพัฒนาการ (growth trajectory) ที่เป็นระบบรวมกับความคลาดเคลื่อนเชิงสุ่ม และระดับที่สองคือพัฒนาการระหว่างบุคคล (between-subjects) การวิเคราะห์ระดับนี้พัฒนาการรายบุคคลที่หลากหลายมีผลพัฒนาการของกลุ่ม การประยุกต์ใช้โมเดลพหุระดับนี้จึงเป็นทางเลือกหนึ่ง ที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงหรือพัฒนาการของนักเรียน โมเดลนี้จึงเป็นการอธิบายแยกระดับของวิถีการเปลี่ยนแปลงของนักเรียน และสามารถวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เช่น HLM และ MLn เป็นต้น

3.1.1 พัฒนาการชนิดตัวแปรเดี่ยวของโมเดลพหุระดับ (Univariate MLM)

การวัดพัฒนาการชนิดตัวแปรเดี่ยวของโมเดลนี้ ข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับตัวแปรการตอบข้อสอบ คือ คะแนนจากการวัดรายบุคคลแต่ละครั้งเป็นเมทริกซ์ร่วม (common matrix) ที่เป็นตัวแปรตามของการวัดณ เวลาต่างๆ การเปลี่ยนแปลงระหว่างเวลาแสดงถึงพัฒนาการไม่ใช่เปลี่ยนแปลงมาตรวัด เวลาเป็นตัวแปรอิสระของฟังก์ชันวิถีทางพัฒนาการที่เป็นระบบรวมกับความคลาดเคลื่อนเชิงสุ่ม รูปแบบพัฒนาการที่เกิดขึ้นภายในบุคคลจัดเป็นระดับแรกของโมเดลพหุระดับ ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนการวัดและเวลาการวัด คือ

เมื่อคะแนนการวัดของ 1 คน ณ เวลา 1 ครั้ง คือ y_{it} (คนที่ i เวลาที่ t) x_{it} เป็นตัวแปรเวลา หน่วยเวลาอาจเป็นจำนวนเวลาที่แท้จริง เช่น นาที ปี หรือเป็นลำดับที่การวัด เช่น 0,1,2, 3 เป็นต้น คะแนนการวัดในครั้งนั้นสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น ดังนี้

$$y_{it} = \beta_{0i} + \beta_{1i} x_{it} + e_{it} \qquad (1)$$

e_{it} คือ ส่วนที่เหลือของการอธิบายความแปรปรวนของ y ด้วย x ของคนที่ i

β_{0i} คือ คะแนนความสามารถเริ่มต้นก่อนมีพัฒนาการ (intercept) ของคนที่ i

β_{1i} คือ อัตราพัฒนาการ (slope) ของคนที่ i

ทั้ง β_{0i} , β_{1i} เป็นตัวชี้พัฒนาการรายบุคคล แต่ละคนในกลุ่มจะมีค่าทั้งสองแตกต่างกัน ซึ่งก็คือมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่มที่ผันแปรระหว่างคนในกลุ่ม ค่าเฉลี่ยของ intercept และ slope ของประชากร คือ β_0 และ β_1 ตามลำดับ ในโมเดลพหุระดับจะเรียกค่าเฉลี่ยทั้งสองว่า fixed effect สำหรับ intercept และ slope ของแต่ละคนที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มคือ u_{0i} และ u_{1i} เป็นความแปรปรวนของ u_{0i} และ u_{1i} เป็นความผันแปรของ intercept และ slope รายบุคคลรอบๆ ค่าเฉลี่ย ในโมเดลพหุระดับจะเรียกค่าความผันแปรทั้งสองว่า random effects

ดังนั้นค่า β_{0i} และ β_{1i} ซึ่งเป็น intercept และ slope รายคน จึงประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยและส่วนที่ต่างจากค่าเฉลี่ย คือ

$$\beta_{0i} = \beta_0 + u_{0i} \qquad (2)$$

$$\beta_{1i} = \beta_1 + u_{1i} \qquad (3)$$

เมื่อนำ 2 โมเดลนี้ไปแทนในสมการ (1) จะได้ว่า

$$y_{it} = \beta_0 + \beta x_{it} + u_{0i} + u_{1i} x_{it} + e_{it} \qquad (4)$$

การทดสอบความสอดคล้องของสมการที่ (4) จะทำให้ค่าประมาณพารามิเตอร์ของ fixed effects 2 ค่า คือ ค่าเฉลี่ย intercept และค่าเฉลี่ย slope และได้ค่าประมาณพารามิเตอร์ของ random effect 4 ค่า ที่เป็นความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม คือ ความแปรปรวนของ intercept (σ^2_{U0}) ความแปรปรวนของ slope (σ^2_{U1}) ความแปรปรวนร่วมระหว่าง intercept และ slope ($\sigma_{U0,U1}$) และความแปรปรวนของส่วนที่เหลือ (σ^2_e) ทั้ง 6 ค่าที่ประมาณได้นี้เป็นค่าของกลุ่มซึ่งเป็นระดับที่ 2 (between-subjects) ของโมเดลพหุระดับ ส่วนความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจะได้จากการคำนวณช่วงความเชื่อมั่นและทดสอบนัยสำคัญอีกวิธีหนึ่งได้จากการประมาณค่าของ intercept และ slope รายบุคคล จากข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับการแจกแจงแบบปกติและการประมาณค่าแบบ maximum likelihood จะได้ค่าอัตรา

ส่วนความเป็นไปได้ (likelihood ratio) ที่จะนำมาใช้ในการทดสอบความแตกต่างระหว่างโมเดลซ้อนใน

กรณีที่แบบแผนพัฒนาการไม่ใช่เป็นแบบเชิงเส้น (nonlinear) เช่น quadratic, cubic สมการเป็นการเพิ่มตัวแปรจาก x_{it} เป็น x^2_{it}, x^3_{it} เป็นต้น โมเดลดังกล่าวยังคงลักษณะของพารามิเตอร์แบบ linear นั่นคือ โมเดลจะมี y เป็นผลรวมเชิงเส้นของ x และค่าที่ transform ของ x กรณีที่พัฒนาการมีแบบแผนไม่ใช่เส้นตรง แต่เป็น quadratic ทำให้ได้สมการ ดังนี้

$$y_{it} = \beta_{0i} + \beta_{1i} x_{it} + \beta_{2i} x^2_{it} + e_{it} \qquad (5)$$

ประโยชน์ของการวิเคราะห์พหุระดับพัฒนาการระดับที่สองของตัวแปรเดี่ยว (univariate growth) คือ สามารถศึกษาถึงตัวแปรพยากรณ์ที่คาดว่าจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงที่ต่างกันระหว่างบุคคล เนื่องจากมีความผันแปรของ intercept และ slope ที่เกิดจากตัวแปรพยากรณ์ เช่น เพศ ลักษณะการอบรมเลี้ยงดู เศรษฐานะ ใช้อธิบายถึงความแตกต่างของพัฒนาการรายบุคคล วิธีนี้ง่ายที่จะนำตัวพยากรณ์แทนความผันแปรของพารามิเตอร์ในสมการที่ 2 และ 3 ตัวอย่างตัวพยากรณ์ W_1 และ W_2 โมเดลของ intercept และ slope ในสมการที่ 2 และ 3 จะเป็นดังนี้

$$\beta_{0i} = \beta_0 + \gamma_{01} w_{i1} + \gamma_{02} w_{i2} + u_{0i} \qquad (6)$$

$$\beta_{1i} = \beta_1 + \gamma_{11} w_{i1} + \gamma_{12} w_{i2} + u_{1i} \qquad (7)$$

แทนในสมการที่ (1) จะได้

$$y_{it} = \beta_0 + \gamma_{01} w_{i1} + \gamma_{02} w_{i2} + \beta_1 x_{it} + \gamma_{11} w_{i1} x_{it} + \gamma_{12} w_{i2} x_{it}$$

$$+ u_{0i} + u_{1i} x_{it} + e_{it} \qquad (8)$$

หลังจากการตรวจสอบนัยสำคัญของค่าประมาณพารามิเตอร์สมการที่ 4 แล้ว จะได้ค่า fixed efficient ของชุด γ ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของ u ก่อนเพิ่มตัวพยากรณ์จะแปลผลเป็นความแปรปรวน และความแปรปรวนร่วมของ random intercept และ slope แต่หลังจากเพิ่มตัวพยากรณ์ชุด w แล้วความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของ u จะแปลผลเป็นความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของ residual intercept และ slope ซึ่งหลังจากที่ควบคุม (partial) ตัวพยากรณ์ชุด w ให้คงที่แล้ว ในทางปฏิบัติลำดับขั้นแรกเป็นการตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลสมการที่ 4 หากพบว่าสอดคล้องกัน คือ intercept และ slope มีความแปรปรวน จึงจะนำตัวพยากรณ์มาร่วมวิเคราะห์ในขั้นต่อไป จากสมการ 8 ความแปรปรวนของของชุด u ที่ลดลง ทำให้ได้ค่าประมาณความผันแปรของ intercept และ slope ที่ได้จากตัวพยากรณ์ชุด w

สำหรับแบบแผนการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ มีลักษณะโมเดลสรุปในตารางที่ 3 ดังนี้ (อ้างถึงใน วีระศักดิ์ คำล้าน, 2540)

ตารางที่ 3 แบบแผนการเปลี่ยนแปลงที่มีกำลังของตัวแปรอิสระสูงสุดแบบต่างๆ

กำลังสูงสุด	Model	ชื่อสมการ	ชื่อโค้ง
1	$y = \beta_0+\beta_1 t + \varepsilon$	Linear	Straight line
2	$y = \beta_0+\beta_1 t+\beta_2 t^2+\varepsilon$	Guadratic	Parabola
3	$y = \beta_0+\beta_1 t+\beta_2 t^2+\beta_3 t^3 + \varepsilon$	Cubic	Cubic parabola
4	$y = \beta_0+\beta_1 t+\beta_2 t^2+\beta_3 t^3 +\beta_4 t^4 +\varepsilon$	Quartic	Quartic parabola
5	$y = \beta_0+\beta_1 t+\beta_2 t^2+\beta_3 t^3 +\beta_4 t^4 +\beta_5 t^5 + \varepsilon$	Quintic	Quintic parabola

3.1.2 พัฒนาการชนิดตัวแปรพหุของโมเดลพหุระดับ (Multivariate MLM)

การวิเคราะห์ในระดับตัวแปรพหุขยายมาจาก การวิเคราะห์พัฒนาการชนิดตัวแปรเดี่ยวของโมเดลพหุระดับ จะใช้วิธีการที่เสนอโดย Goldstein (1995) และ MacCallum และคณะ (1997) ที่กล่าวว่า กรณีการวัดหลายคุณลักษณะ การเก็บข้อมูลไม่จำเป็นต้องวัดครั้งเดียวกันหรือมีจำนวนครั้งเท่ากัน ข้อมูลจากการวัดชนิดตัวแปรพหุ ก็จะดำเนินการเช่นเดียวกับการวัดพัฒนาการตัวแปรเดี่ยว มีวิธีการวิเคราะห์ คือ

เมื่อคะแนนการวัดจาก 1 คน ณ การวัด 1 ครั้ง ใน 1 ตัวแปร คือ y_{itk} (คนที่ i ณ เวลา t ที่วัดในคุณลักษณะ k) และ $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \ldots, \delta_k, \ldots, \delta_p$ เป็นตัวแปร dummy ของตัวแปรแต่ละตัว $\delta_k = 1$ ถ้าเป็นคะแนนการวัดจากคุณลักษณะ y_k และ $\delta_k = 0$ เมื่อเป็นคะแนนการวัดจากตัวแปรตัวอื่นๆ ในการนิยาม multivariate model ของตัวแปรหลายตัว ในที่นี้จะนำเสนอตัวอย่าง กรณีที่ทุกตัวแปรมีแบบแผนพัฒนาการเชิงเส้นเหมือนกัน จะได้ว่า

$$y_{itk} = \sum_k \delta_k \text{(univariate model)}$$
$$y_{itk} = \sum_k \delta_k (\beta_{0ik} + \beta_{1ik} x_{itk} + e_{itk}) \qquad (8)$$

β_{0ik} คือ intercept ของคนที่ i ที่วัดคุณลักษณะ k

β_{1ik} คือ slope ของคนที่ i ที่วัดคุณลักษณะ k

x_{itk} คือ ตัวแปรอิสระ (เวลา) ที่วัดคุณลักษณะ k ของคนที่ i ณ เวลา t

e_{itk} คือ ส่วนที่เหลือของความผันแปรคุณลักษณะ k ที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรเวลาของคนที่ i ณ เวลา t

สำหรับ intercept และ slope ของตัวแปร P ตัว เป็นตัวแปรสุ่ม ความผันแปรของ intercepts และ slopes เขียนเป็นโมเดล ได้ ดังนี้

$$\beta_{0ik} = \beta_{0k} + U_{0ik} \quad (9)$$

$$\beta_{1ik} = \beta_{1k} + U_{1ik} \quad (10)$$

β_{0k} และ β_{1k} เป็น fixed effects เป็นค่าเฉลี่ยของ intercept และ slope ของตัวแปร k สำหรับ U_{0ik} และ U_{1ik} เป็น random effect ซึ่งแทนความผันแปรรายบุคคลรอบๆ ค่าเฉลี่ย intercepts และ slopes ของตัวแปร k ตามลำดับ เมื่อนำ 2 โมเดลนี้ไปแทนในโมเดล (8) ทำให้ได้

$$Y_{itk^*} = \sum_k \delta_k (\beta_{0k} + \beta_{1k} X_{itk} + U_{0ik} + U_{1ik} X_{itk} + e_{itk}) \quad (11)$$

$$= \sum_k (\beta_{0k} \delta_k + \beta_{1k} \delta_k X_{itk} + \delta_k U_{0ik} + U_{1ik} \delta_k X_{itk} + e_{itk})$$

เป็นที่น่าสังเกตว่าเทอม fixed intercepts (β_{0k}) เป็นสัมประสิทธิ์ถดถอยสำหรับตัวแปร dummy ส่วนเทอม fixed slopes (β_{1k}) เป็นสัมประสิทธิ์ถดถอยของผลคูณตัวแปร dummy และการวัดเวลา X โมเดลนี้สอดคล้องกับข้อมูลเช่นเดียวกับสมการที่(4) การประมาณทำให้ได้ fixed intercept (β_{0k}) และ fixed slope (β_{1k}) อย่างละตัวสำหรับแต่ละตัวแปร สำหรับการประมาณค่า random effects ของแต่ละตัวแปร คือ ความแปรปรวนของ ของส่วนที่เหลือ intercept และ slope คือ VAR(e_{itk}), VAR(U_{0ik}) และ VAR(U_{1ik}) ตามลำดับ และความแปรปรวนร่วมของ intercept และ slope คือ COV(U_{0ik}, U_{1ik}) ส่วนเทอมที่เพิ่มขึ้นมาคือ random effects ที่ประมาณค่าความแปรปรวนร่วมของ intercept และ slope ของแต่ละคู่คุณลักษณะ ในภาพรวมกระบวนการความสอดคล้องของโมเดลทำให้ได้ค่าประมาณของความแปรปรวนส่วนที่เหลือของแต่ละคุณลักษณะ เช่นเดียวกับค่าประมาณของความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของพารามิเตอร์ random change ทั้งภายในและระหว่างตัวแปร โดยเฉพาะ random effects ชุดสุดท้ายนี้ ทำให้วิธี Multivariate Multilevel Models สามารถหาค่าได้อย่างมีศักยภาพ ในกรณีของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ค่าประมาณของความแปรปรวนร่วมของ slope ในตัวแปรต่างๆ ชี้ให้เห็นระดับความสัมพันธ์ของอัตราการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นของตัวแปรเหล่านี้ ขณะที่ Univariate Multilevel Models จะประมาณค่าเป็นสัมประสิทธิ์รายตัวแปร ยิ่งกว่านั้น likelihood ratio สามารถใช้ทดสอบโมเดลและเปรียบเทียบโมเดลของ multivariate และเราสามารถศึกษาตัวพยากรณ์ที่ส่งผลต่ออัตราพัฒนาการได้ของ multivariate ได้โดยใช้โมเดลของความแปรปรวนส่วนที่เหลือให้ซับซ้อนขึ้น และเพิ่มใช้ตัวแปรระดับบุคคลมาพยากรณ์สัมประสิทธิ์ความแตกต่างระหว่างบุคคล ที่แสดงถึงลักษณะพัฒนาการ

3.2 โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง (Latent Growth Curve หรือ LGC)

โมเดลนี้มีพื้นฐานมาจากโค้งพัฒนาการ ที่ Rao (1958) และ Tucker (1958) เสนอแนวคิดการวิเคราะห์องค์ประกอบประเภท component analysis ในการศึกษาแบบแผนการเปลี่ยนแปลงรายบุคคล แบบแผนพัฒนาการแปลผลจากคะแนนผสม (composite score) ที่น้ำหนักแต่ละส่วนได้จากการหมุนแกน แต่การวิเคราะห์แบบนี้ไม่สามารถประมาณค่าความแปรปรวนส่วนที่เหลือหรือความคลาดเคลื่อนได้ ต่อมามีผู้ปรับวิธีการในโมเดลนี้อีกหลายครั้ง ล่าสุด Meredith and Tisak (1984, 1990) ประยุกต์ใช้วิธีวิทยาการสมการโครงสร้างที่มีการวิเคราะห์ระดับตัวแปรแฝง เพิ่มการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของส่วนที่เหลือและตรวจสอบโมเดลด้วยสมการโครงสร้างเชิงยืนยัน เรียกโมเดลนี้ว่า Latent Growth Curve Models (LGC) โดยข้อมูลต้องมีลักษณะเป็นโครงสร้างเชิงเวลา (time-structued data)

3.2.1 พัฒนาการชนิดตัวแปรเดี่ยวของโมเดลโค้งพัฒนาการฯ LGC (Univaralte LGC)

ในการวัดพัฒนาการตัวแปรเดี่ยวหรือระดับตัวแปรเดี่ยวของโมเดล LGC พัฒนาการเชิงเส้นตรงรายบุคคลในการวัด 1 คน เวลา 1 ครั้ง (ครั้งที่ i) คะแนนจากการวัดที่สังเกตได้ (y_i) ประกอบด้วยคะแนนแฝง 3 ส่วน คือ ความสามารถเริ่มต้นที่แท้จริง (η_1) อัตราพัฒนาการที่แท้จริง (η_2) และความคลาดเคลื่อนในการวัด (ε_i) สมการที่ได้ คือ

$$y_i = \eta_1 + \eta_2 t_i + \varepsilon_i$$

ชุดของคะแนนการวัดทุกครั้งของแต่ละคน $Y = (y_1, y_2, y_3 \ldots y_m)$ ตัวอย่างคะแนนการวัดของ 1 คนจำนวน 3 ครั้ง เขียนเป็นโมเดลการวัดที่มีแบบแผนเส้นตรง คือ

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & t_1 \\ 1 & t_2 \\ 1 & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \end{bmatrix}$$

เขียนเป็นสมการเมทริกซ์ได้ คือ $Y = \Lambda \eta + \varepsilon$

เมื่อ η เป็นเวคเตอร์คอลัมน์องค์ประกอบร่วมของคะแนนการวัดแต่ละครั้ง (y_i) ประกอบด้วย หรือเป็นคะแนนจริงของ intercept (η_1) และ slope (η_2)

ε เป็นเวคเตอร์คอลัมน์คะแนนส่วนที่เหลือของ y หรือคะแนนความคลาดเคลื่อนในการวัด และการมี ε ทำให้โมเดล LGC แตกต่างจากโมเดล GC ดั้งเดิม

Λ เป็นเมทริกซ์น้ำหนักองค์ประกอบ ในมีแบบแผนพัฒนาการเชิงเส้นตรง มี 2 คอลัมน์ คอลัมน์แรกของ Λ เป็นค่าน้ำหนักองค์ประกอบของ intercept ที่ส่งผลต่อคะแนนการวัดแต่ละครั้งเท่ากัน จึงกำหนดค่าทุกครั้งเท่ากับ 1 สำหรับคอลัมน์สองเป็นค่าน้ำหนักองค์ประกอบของ slope ที่ส่งผลต่อคะแนนการวัดแต่ละครั้งไม่เท่ากัน คือ t_1, t_2, t_3 ในการประมาณค่าจึงกำหนดค่าเริ่มต้นของการวัดครั้งที่ 1-3 เป็น 0,1,2 สำหรับการกำหนดค่า

3.2 โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง (Latent Growth Curve หรือ LGC)

โมเดลนี้มีพื้นฐานมาจากโค้งพัฒนาการ ที่ Rao (1958) และ Tucker (1958) เสนอแนวคิดการวิเคราะห์องค์ประกอบประเภท component analysis ในการศึกษาแบบแผนการเปลี่ยนแปลงรายบุคคล แบบแผนพัฒนาการแปลผลจากคะแนนผสม (composite score) ที่น้ำหนักแต่ละส่วนได้จากการหมุนแกน แต่การวิเคราะห์แบบนี้ไม่สามารถประมาณค่าความแปรปรวนส่วนที่เหลือหรือความคลาดเคลื่อนได้ ต่อมามีผู้ปรับวิธีการในโมเดลนี้อีกหลายครั้ง ล่าสุด Meredith and Tisak (1984, 1990) ประยุกต์ใช้วิธีวิทยาการสมการโครงสร้างที่มีการวิเคราะห์ระดับตัวแปรแฝง เพิ่มการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของส่วนที่เหลือและตรวจสอบโมเดลด้วยสมการโครงสร้างเชิงยืนยัน เรียกโมเดลนี้ว่า Latent Growth Curve Models (LGC) โดยข้อมูลต้องมีลักษณะเป็นโครงสร้างเชิงเวลา (time-structued data)

3.2.1 พัฒนาการชนิดตัวแปรเดี่ยวของโมเดลโค้งพัฒนาการฯ LGC (Univaraite LGC)

ในการวัดพัฒนาการตัวแปรเดี่ยวหรือระดับตัวแปรเดี่ยวของโมเดล LGC พัฒนาการเชิงเส้นตรงรายบุคคลในการวัด 1 คน เวลา 1 ครั้ง (ครั้งที่ i) คะแนนจากการวัดที่สังเกตได้ (y_i) ประกอบด้วยคะแนนแฝง 3 ส่วน คือ ความสามารถเริ่มต้นที่แท้จริง (η_1) อัตราพัฒนาการที่แท้จริง (η_2) และความคลาดเคลื่อนในการวัด (ε_i) สมการที่ได้ คือ

$$y_i = \eta_1 + \eta_2 t_i + \varepsilon_i$$

ชุดของคะแนนการวัดทุกครั้งของแต่ละคน $Y = (y_1, y_2, y_3 \dots y_m)$ ตัวอย่างคะแนนการวัดของ 1 คนจำนวน 3 ครั้ง เขียนเป็นโมเดลการวัดที่มีแบบแผนเส้นตรง คือ

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & t_1 \\ 1 & t_2 \\ 1 & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \end{bmatrix}$$

เขียนเป็นสมการเมทริกซ์ได้ คือ $Y = \Lambda \eta + \varepsilon$

เมื่อ η เป็นเวคเตอร์คอลัมน์องค์ประกอบร่วมของคะแนนการวัดแต่ละครั้ง (y_i) ประกอบด้วย หรือเป็นคะแนนจริงของ intercept (η_1) และ slope (η_2)

ε เป็นเวคเตอร์คอลัมน์คะแนนส่วนที่เหลือของ y หรือคะแนนความคลาดเคลื่อนในการวัด และการมี ε ทำให้โมเดล LGC แตกต่างจากโมเดล GC ดั้งเดิม

Λ เป็นเมทริกซ์น้ำหนักองค์ประกอบ ในมีแบบแผนพัฒนาการเชิงเส้นตรง มี 2 คอลัมน์ คอลัมน์แรกของ Λ เป็นค่าน้ำหนักองค์ประกอบของ intercept ที่ส่งผลต่อคะแนนการวัดแต่ละครั้งเท่ากัน จึงกำหนดค่าทุกครั้งเท่ากับ 1 สำหรับคอลัมน์สองเป็นค่าน้ำหนักองค์ประกอบของ slope ที่ส่งผลต่อคะแนนการวัดแต่ละครั้งไม่เท่ากัน คือ t_1, t_2, t_3 ในการประมาณค่าจึงกำหนดค่าเริ่มต้นของการวัดครั้งที่ 1-3 เป็น 0,1,2 สำหรับการกำหนดค่า

น้ำหนักองค์ประกอบครั้งแรกเป็น 0 เพราะนักเรียนยังไม่เกิดพัฒนาการ และน้ำหนักองค์ประกอบเป็นค่าเชิงสัมพัทธ์จึงกำหนดน้ำหนักครั้งต่อมาเป็น 1 ถ้าแบบแผนพัฒนาการเป็น quadratic แล้ว Λ มี 3 คอลัมน์ คือ intercept, linear slope และ quadratic slope จำนวนแถวของ Λ จึงเท่ากับจำนวนครั้งของการวัด และจำนวนคอลัมน์ของ Λ แสดงถึงแบบแผนพัฒนาการ สำหรับคอลัมน์ของ Λ นี้ Meredith และ Tisak เรียกชื่อว่า basis function

ดังนั้นในกรณีที่โมเดล LGC ไม่เป็นเส้นตรง วิธีการง่ายๆคือ เพิ่ม basis function เป็นคอลัมน์ที่ 3 ในเมทริกซ์ Λ เช่น กรณีแบบแผนพัฒนาการ quadratic จึงต้องเพิ่มคอลัมน์ที่มีสมาชิกเป็น t^2_1 , t^2_2 , t^2_3 เรียงลงมาในแต่ละแถว ค่าเริ่มต้นอิทธิพลของ quadratic slope ในคอลัมน์ที่ 3 จึงเป็น 2 เท่าของคอลัมน์ที่ 2

สำหรับสมการโครงสร้าง ค่า intercept และ slope รายบุคคลที่เป็นตัวแปรแฝง (η) จะประกอบด้วยค่าเฉลี่ย (μ) และส่วนที่เบี่ยงเบนต่างจากค่าเฉลี่ย (ζ) สมการ คือ

$$\eta = \mu + \zeta \text{ หรือ}$$

$$\eta = \mu I + \zeta$$

เมื่อ I คือ เมทริกซ์เอกลักษณ์

หากเขียนในรูปของเมทริกซ์ของ intercept และ slope รายบุคคลเทียบกับกลุ่ม เมื่อ $\mu\pi_0$ และ $\mu\pi_1$ เป็นค่าเฉลี่ยของ intercept และ slope ตามลำดับ จะได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu\eta_1 \\ \mu\eta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_1 - \mu\eta_1 \\ \eta_2 - \mu\eta_2 \end{bmatrix}$$

การใช้วิธีวิทยาการสมการโครงสร้างวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน และเมื่อทดสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูล จะทำให้ได้ค่าประมาณพารามิเตอร์ของตวแปรแฝง คือ ค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน ความแปรปรวนร่วมระหว่าง intercept และ slope

3.2.2 พัฒนาการชนิดตัวแปรพหุของโมเดลโค้งพัฒนาการฯ (Multivariate LGC)

การวัดพัฒนาการของตัวแปรมากกว่า 1 ตัวแปร Meredith & Tisak (1990) และ Willet และ Sanyer (1995) ได้ขยายกรอบโมเดลที่เป็นองค์ประกอบร่วม กับค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่สังเกตได้และองค์ประกอบที่ไม่เป็น 0 โดยนิยามเวคเตอร์คอลัมน์ของ y ประกอบด้วยคะแนนที่วัดทุกครั้งและทุกตัวแปร โดยจัดเรียงการวัดทุกครั้งของแต่ละตัวแปร ส่วน loading Λ ประกอบด้วยเมทริกซ์ย่อย Λ_k ที่แทน basis function ของแต่ละตัวแปรที่ต้องการวัด ส่วนคอลัมน์ที่เหลือซึ่งมิใช่ตัวแปรที่ต้องการ จะกำหนดเป็นเมทริกซ์ศูนย์

ตัวอย่างการวัด 2 คุณลักษณะที่ทำการวัด 3 ครั้ง คุณลักษณะแรก (คือ L) มีแบบแผนพัฒนาการเส้นตรง คุณลักษณะที่สอง (คือ Q) แบบแผนพัฒนาการไม่ใช่เส้นตรง ทำเป็นเมทริกซ์เชิงพัฒนาการ ดังนี้

$$\begin{bmatrix} Y_{1L} \\ Y_{2L} \\ Y_{3L} \\ Y_{1Q} \\ Y_{2Q} \\ Y_{3Q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & t_1 \\ 1 & t_2 \\ 1 & t_3 \end{bmatrix} & 0 \\ 0 & \begin{bmatrix} 1 & t_1 & t_1^2 \\ 1 & t_1 & t_2^2 \\ 1 & t_2 & t_3^2 \end{bmatrix} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_{1L} \\ \eta_{2L} \\ \\ \eta_{1Q} \\ \eta_{2Q} \\ \eta_{3Q} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{1L} \\ e_{2L} \\ e_{3L} \\ e_{1Q} \\ e_{2Q} \\ e_{3Q} \end{bmatrix}$$

โครงสร้างความแปรปรวนร่วมที่ขยายเป็น multivariate LGC ประกอบด้วยความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรการวัดทุกครั้ง เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างองค์ประกอบคือ ψ ซึ่งเป็นความผันแปรของตัวแปรแฝง ที่ทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่าง intercept และ slope ของตัวแปรต่างๆ ส่วน Θ เป็นเมทริกซ์ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัด ประกอบด้วยบล็อกเล็กๆที่เป็น residaul ของแต่ละตัวแปร ที่แสดงถึงความแปรปรวนของ residaul ระหว่างครั้งที่วัด

สำหรับการวิจัยครั้งนี้โมเดลโค้งพัฒนาการฯชนิดตัวแปรเดี่ยว ที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EQS ที่ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบสมการโครงสร้าง (SEM) ที่ประกอบด้วยสมการการวัดและสมการโครงสร้าง เช่นเดียวกับโปรแกรม LISREL แต่โปรแกรมคำสั่งของ EQS จะอยู่ในรูปของ**สมการ**ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (ขณะที่ LISREL เป็นคำสั่งระบุชื่อเมทริกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร) สำหรับสมการการวัดในโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงชนิดตัวแปรเดี่ยว เป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงกับตัวแปรสังเกตได้จากการวัดจำนวน 5 ครั้ง สมการการวัดใน EQS คือ

$$\begin{aligned} V1 &= F1 + 0F2 + E1 \\ V2 &= F1 + 1F2 + E2 \\ V3 &= F1 + \beta_1{*}F2 + E3 \\ V4 &= F1 + \beta_2{*}F2 + E4 \\ V5 &= F1 + \beta_3{*}F2 + E5 \end{aligned}$$

เมื่อ V1 - V5 คือ ตัวแปรสังเกตได้ซึ่งเป็นคะแนนจากการวัดครั้งที่ 1-5 ส่วน F1 และ F2 คือ ตัวแปรแฝงที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลง ในที่นี้คือ คะแนนเริ่มต้นและอัตราพัฒนาการ ตามลำดับ E1- E5 คือ คะแนนความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งที่ 1-5 สำหรับ β_1-β_3 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของอัตราพัฒนาการที่มีต่อคะแนนการวัดครั้งที่ 3-5 เป็น

พารามิเตอร์ที่ต้องการประมาณค่า (free parameters) จึงใส่เครื่องหมาย * สำหรับการวัดครั้งแรกเป็นการวัดเริ่มต้นผู้เรียนยังไม่เกิดพัฒนาการ จึงกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยเท่ากับ 0 การวัดครั้งที่ 2 สำหรับแบบแผนพัฒนาการเชิงเส้นตรง สัมประสิทธิ์ถดถอยเป็นค่าเชิงสัมพัทธ์กำหนดค่าเป็น free parameter คือเท่ากับ 1 ส่วนการวัดครั้งที่ 3 - 5 กำหนดค่าประมาณตั้งต้นของ β_1-β_3 เป็น 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

กรณีที่โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงมีแบบแผนพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง ตัวแปรแฝงในสมการการวัดจะมี F3 เพิ่มขึ้นมา ซึ่งก็คือ อัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง (quadratic slope) ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง (β_4-β_6) เป็น free parameter ที่ต้องการประมาณค่า สำหรับแบบแผนพัฒนาการเชิงเส้นโค้งจะกำหนดค่าประมาณตั้งต้นเป็น 4, 9 และ 16 ตามลำดับ สมการการวัดใน EQS คือ

$$
\begin{aligned}
V1 &= F1 + 0F2 + 0F3 + E1 \\
V2 &= F1 \quad 1F2 + 1F3 + E2 \\
V3 &= F1 + \beta_1{*}F2 + \beta_4{*}F3 + E3 \\
V4 &= F1 + \beta_2{*}F2 + \beta_5{*}F3 + E4 \\
V5 &= F1 + \beta_3{*}F2 + \beta_6{*}F3 + E5
\end{aligned}
$$

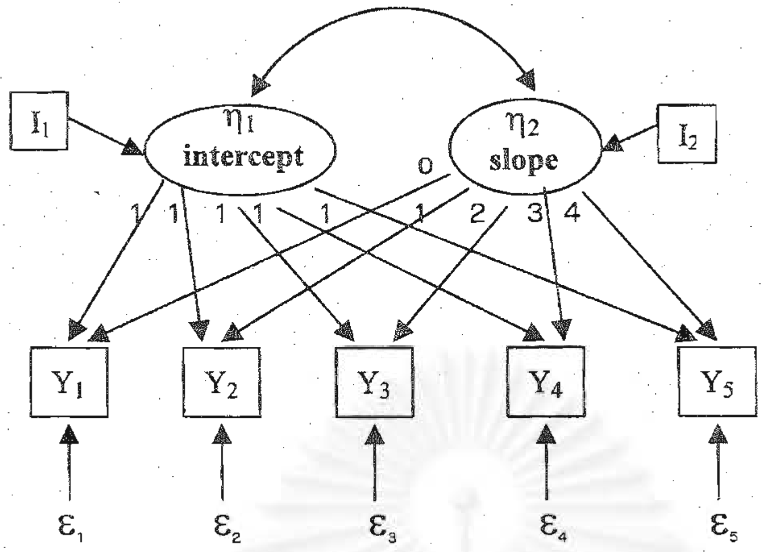
โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงนี้ เป็นโมเดลสมการโครงสร้างที่มีค่าเฉลี่ย (SEM with structured mean) เพราะโมเดลนี้ต้องการค่าเฉลี่ยของคะแนนเริ่มต้นและค่าเฉลี่ยของอัตราพัฒนาการในการอธิบายการเปลี่ยนแปลง เป็นค่าที่ประมาณได้จากสมการโครงสร้าง ซึ่งเป็นค่าอิทธิพลของตัวแปร V999 (ตัวแปรอิสระสมมติ ซึ่งก็คือตัวคงที่ 1) ที่มีต่อ F1 และ F2 สำหรับ D1 และ D2 คือ คะแนนเบี่ยงเบนของรายคนจากคะแนนเฉลี่ยหรือคะแนนเศษเหลือ สมการโครงสร้างของโมเดลโค้งพัฒนาการฯ เป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงด้วยกัน คือ

$$
\begin{aligned}
F1 &= {*}\,V999 + D1 \\
F2 &= {*}\,V999 + D2
\end{aligned}
$$

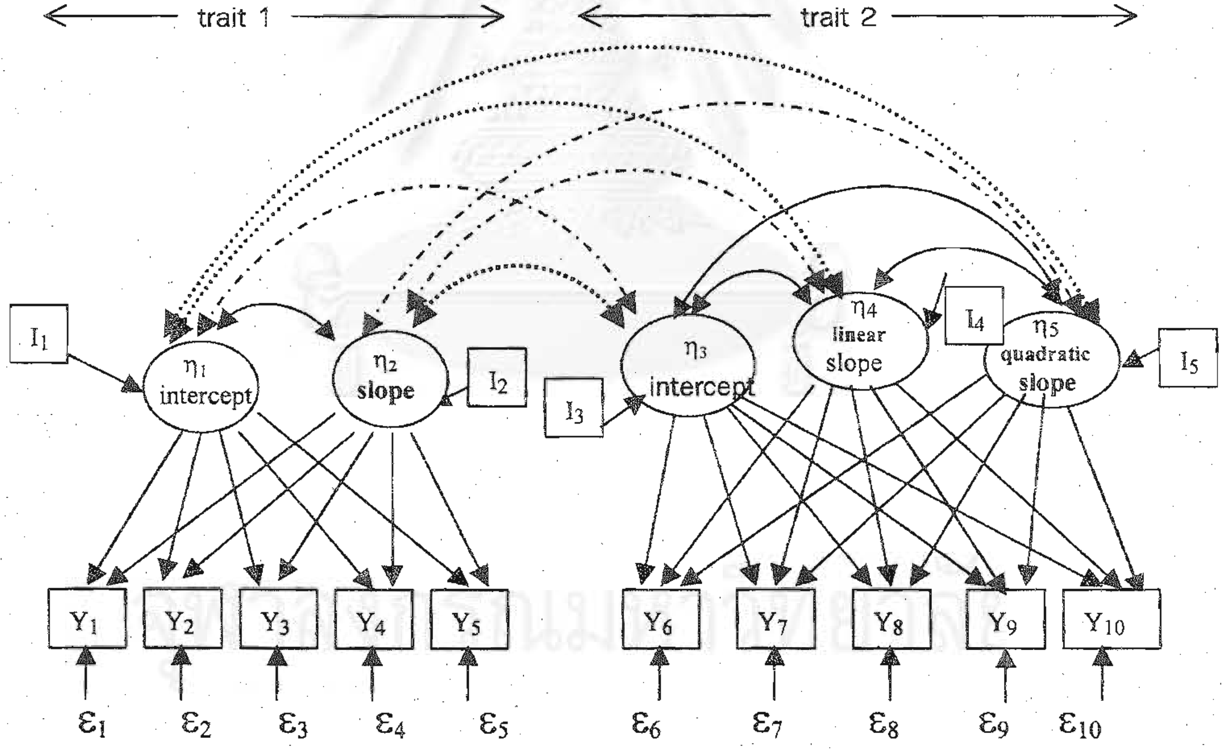
ความผันแปรของคะแนนเริ่มต้นและความผันแปรของอัตราพัฒนาการ ได้จาก var(D_1) และ var(D_2) ตามลำดับ และความสัมพันธ์ของตัวแปรแฝงทั้งสองได้จาก cov(D_1,D_2) กรณีที่โมเดลโค้งพัฒนาการ ฯ มีแบบแผนพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง ส่วนของสมการโครงสร้างจะมีสมการของ F3 เพิ่มขึ้นมาคือ

$$
F3 = {*}\,V999 + D3
$$

สำหรับโมเดลโค้งพัฒนาการฯ ชนิดตัวแปรพหุในโปรแกรม EQS ที่เป็นการประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงของ 2 คุณลักษณะ คือ การหาความแปรผันร่วมรายคู่ระหว่าง D1, D2, D3, D4 และD5 ถ้า D1 และ D2 มาจากคุณลักษณะที่ 1 ที่มีแบบแผนพัฒนาการเชิงเส้นตรง ส่วน D3, D4 และ D5 มาจากคุณลักษณะที่ 2 ที่มีแบบแผนพัฒนาการไม่ใช่เชิงเส้นตรงหรือเป็นแบบเส้นโค้ง



ภาพที่ 5 โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว (Univariate Latent Growth Curve Models) ที่มีแบบแผนเชิงเส้นตรงของ 1 คุณลักษณะจากการวัด 5 ครั้ง ในช่วงเวลาต่างกัน



ภาพที่ 6 โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรพหุ (Multivariate Latent Growth Curve Models) จากการวัด 2 คุณลักษณะ 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน คุณลักษณะแรกมีแบบแผนการเปลี่ยนแปลงแบบ linear และคุณลักษณะที่ 2 มีแบบแผนการเปลี่ยนแปลงแบบ nonlinear

3.3 โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ (Quasi Simplex Models : QSM)

โมเดลนี้มีพื้นฐานมาจากโมเดล simplex ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลระยะยาวที่มีการส่งถ่ายตัวแปรจากการวัดครั้งหนึ่งไปยังครั้งถัดไป (occasion-to-occasion transmission) เช่น การวัดครั้งที่ 2 ขึ้นกับการวัดครั้งที่ 1 และการวัดครั้งที่ 3 ขึ้นกับการวัดครั้งที่ 2 เป็นเช่นนี้ต่อเนื่องกันไป แบบแผนลักษณะนี้สามารถอธิบายทางสถิติโดยใช้กระบวนการ first-order autoregression แต่นำเอาความคลาดเคลื่อนในการวัดของตัวแปรสังเกตได้มารวมไว้ในโมเดลและนำไปสู่ระดับตัวแปรแฝง โมเดลนี้เรียกว่าโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ (Quasi Simplex Models) Joreskog (1970) ได้ประยุกต์รูปแบบ QSM ในกรอบการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (SEM) เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนจริงของกลุ่มตัวอย่างในการวัดหลายครั้ง

3.3.1 พัฒนาการชนิดตัวแปรเดี่ยวในโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ (univariate QSM)

ในการวัดพัฒนาการของตัวแปรเดี่ยวหรือ 1 คุณลักษณะ คะแนนการวัด ณ เวลา i คือ y_i เกี่ยวข้องกับตัวแปรแฝงหรือคะแนนจริง (η_i) และความคลาดเคลื่อนในการวัด (ε_i) โดยที่ Λ เป็นเมทริกซ์ของน้ำหนักอิทธิพลแต่ละครั้งการวัด (loading) ดังสมการ

$$y_i = \Lambda\eta_i + \varepsilon_i$$

กรณีที่เป็น QSM ที่การวัดมีตัวชี้ตัวเดียว จะได้ค่า $\Lambda = 1$ โครงสร้าง simplex ของตัวแปรแฝงหรือคะแนนจริงในเวลาถัดมา (η_{i+1}) คือ

$$\eta_{i+1} = \beta_{i+1,i}\ \eta_i + \zeta_{i+1}$$

เมื่อ $\beta_{i+1,i}$ เป็นสัมประสิทธิ์ถดถอยของ η_{i+1} บน η_i

ζ_{i+1} เป็น ส่วนที่เหลือของสมการ ณ เวลาเริ่มต้นที่วัดครั้งแรกจะได้ว่า $\eta_1 = \zeta_1$

QSM ต่างจาก LGC ไม่เฉพาะแต่เพียงฟังก์ชันของคะแนนจริงหรือตัวแปรแฝง (η) เท่านั้น แต่ความเบี่ยงเบนหรือความคลาดเคลื่อนของตัวแปรแฝง (ζ) ก็ต่างกันด้วย ซึ่งในโครงสร้างนี้จะไม่สัมพันธ์กับการวัดครั้งแรก อิทธิพลการวัดครั้งแรกจะลดลง แหล่งความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้นที่ต่างกันในแต่ละคนสามารถนำมารวมอยู่ในโมเดล ลักษณะสำคัญเช่นนี้ทำให้ simplex model เหมาะที่ใช้แทนความคาดหวังขององค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีผลต่อความผันแปรระหว่างบุคคล ณ เวลาต่างกัน และสามารถใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของ QSM มานำเสนอความหลากหลายของคะแนนดังกล่าวได้อย่างสะดวกง่าย คือ

$$var(y_i) = var(\eta_i) + var(\varepsilon_i)$$

$$var(\eta_{i+1}) = \beta^2_{i+1,i}\ var(\eta_i) + var(\zeta_{i+1})$$

$$cov(\eta_i, \eta_{i+1}) = \beta_{i+1,i}\ var(\eta_i)$$

3.3.2 พัฒนาการชนิดตัวแปรพหุของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ (mutivariate QSM)

โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่ศึกษากับการเปลี่ยนแปลงหลายคุณลักษณะในโมเดลเดียว ที่เรียกว่า multivariate QSM มีขั้นตอนแรกจากการวิเคราะห์แยกแต่ละตัวแปร ดังกล่าวมาแล้วใน univariate QSM ขั้นต่อมาเป็นการนำตัวแปรต่าง ๆ ดังกล่าวมาวิเคราะห์ร่วมกันในรูปแบบความสัมพันธ์แบบตัวนำ-ตัวตาม (lead-lag) โดยระบุอิทธิพลของตัวแปรแฝงตัวหนึ่งในเวลาเริ่มแรก (lead) ส่งไปยังตัวแปรแฝงอื่น ๆ ในเวลาถัดมา (lag) ซึ่งเป็นการพิจารณาความสัมพันธ์เชิงสาเหตุ ความสัมพันธ์แบบ lead-lag แทนด้วยสัมประสิทธิ์ถดถอย β ดังนั้น multivariate QSM เป็นการเพิ่มสมการโครงสร้างความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างตัวแปรแฝงภายใน จาก univariate QSM

ตัวอย่างแผนภูมิ multivariate QSM สมมุติว่า η_1, η_2, η_3 , η_4 และ η_5 เป็นตัวแปรแฝงหรือคะแนนจริงจากการวัด 5 ครั้งของคุณลักษณะแรก และ $\eta_6, \eta_7, \eta_8, \eta_9$ และ η_{10} เป็นตัวแปรแฝงจากการวัด 5 ครั้งของคุณลักษณะที่สอง จะได้สมการโครงสร้างดังนี้

$$\eta_7 = \beta_{71}\eta_1 + \zeta_7$$
$$\eta_8 = \beta_{82}\eta_2 + \zeta_8$$
$$\eta_9 = \beta_{93}\eta_3 + \zeta_9$$
$$\eta_{10} = \beta_{104}\eta_4 + \zeta_{10}$$

3.4 โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ใหม่ในการวิจัยครั้งนี้

แนวคิด

โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์เดิมในภาพที่ 5 และ 6 เป็นโมเดลที่ Joreskog (1970, 1979) ประยุกต์ใช้โมเดลสมการโครงสร้างวิเคราะห์ในระดับตัวแปรแฝง ซึ่งตัวแปรแฝงในโมเดลนี้ คือคะแนนจริงของการวัดแต่ละครั้ง คะแนนการเปลี่ยนแปลงจึงเป็นการพิจารณาการเพิ่มหรือลดของคะแนนจริงระหว่างครั้งการวัดที่ติดกัน ซึ่งมีหลายค่าและเป็นค่าที่เป็นอิสระจากการวัดแต่ละครั้ง ทำให้ไม่สามารถหาอัตราพัฒนาการตลอดช่วงเวลาการวัดได้ ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีแนวคิดว่า คะแนนจริงของการวัดแต่ละครั้ง ได้รับอิทธิพลจากคะแนนแฝงพัฒนาการ 2 ส่วน คือ คะแนนเริ่มต้นที่แท้จริง (latent intercept) และอัตราพัฒนาการที่แท้จริงตลอดช่วงเวลาการวัด (latent growth) จะได้จากค่าเฉลี่ยของคะแนนพัฒนาการจริงของทุกครั้งการวัด สำหรับคะแนนเริ่มต้นที่แท้จริง เท่ากับคะแนนจริงจากการวัดครั้งแรก (η_1) ทั้งคะแนนเริ่มต้นที่แท้จริงและพัฒนาการที่แท้จริงเป็นองค์ประกอบร่วมของคะแนนจริงแต่ละครั้ง ผู้วิจัยจึงพัฒนาเป็นโมเดลใหม่ โมเดลใหม่นี้คือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ (Quasi-simplex with latent growth models) ดังภาพที่ 9 และปรับขยายจากโมเดลชนิด คุณลักษณะเดียวมาเป็นหลายคุณลักษณะ เพื่อใช้ศึกษาความสัมพันธ์ของพัฒนาการข้ามคุณลักษณะ จะได้เป็นโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ใหม่ ชนิดตัวแปรพหุของดังภาพที่ 10

3.3.2 พัฒนาการชนิดตัวแปรพหุของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ (mutivariate QSM)

โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่ศึกษากับการเปลี่ยนแปลงหลายคุณลักษณะในโมเดลเดียว ที่เรียกว่า multivariate QSM มีขั้นตอนแรกจากการวิเคราะห์แยกแต่ละตัวแปร ดังกล่าวมาแล้วใน univariate QSM ขั้นต่อมาเป็นการนำตัวแปรต่าง ๆ ดังกล่าวมาวิเคราะห์ร่วมกันในรูปแบบความสัมพันธ์แบบตัวนำ-ตัวตาม (lead-lag) โดยระบุอิทธิพลของตัวแปรแฝงตัวหนึ่งในเวลาเริ่มแรก (lead) ส่งไปยังตัวแปรแฝงอื่น ๆ ในเวลาถัดมา (lag) ซึ่งเป็นการพิจารณาความสัมพันธ์เชิงสาเหตุ ความสัมพันธ์แบบ lead-lag แทนด้วยสัมประสิทธิ์ถดถอย β ดังนั้น multivariate QSM เป็นการเพิ่มสมการโครงสร้างความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างตัวแปรแฝงภายใน จาก univariate QSM

ตัวอย่างแผนภูมิ multivariate QSM สมมุติว่า η_1, η_2, η_3 , η_4 และ η_5 เป็นตัวแปรแฝงหรือคะแนนจริงจากการวัด 5 ครั้งของคุณลักษณะแรก และ $\eta_6, \eta_7, \eta_8, \eta_9$ และ η_{10} เป็นตัวแปรแฝงจากการวัด 5 ครั้งของคุณลักษณะที่สอง จะได้สมการโครงสร้างดังนี้

$$\eta_7 = \beta_{71}\eta_1 + \zeta_7$$
$$\eta_8 = \beta_{82}\eta_2 + \zeta_8$$
$$\eta_9 = \beta_{93}\eta_3 + \zeta_9$$
$$\eta_{10} = \beta_{104}\eta_4 + \zeta_{10}$$

3.4 โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ใหม่ในการวิจัยครั้งนี้

แนวคิด

โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์เดิมในภาพที่ 5 และ 6 เป็นโมเดลที่ Joreskog (1970, 1979) ประยุกต์ใช้โมเดลสมการโครงสร้างวิเคราะห์ในระดับตัวแปรแฝง ซึ่งตัวแปรแฝงในโมเดลนี้ คือคะแนนจริงของการวัดแต่ละครั้ง คะแนนการเปลี่ยนแปลงจึงเป็นการพิจารณาการเพิ่มหรือลดของคะแนนจริงระหว่างครั้งการวัดที่ติดกัน ซึ่งมีหลายค่าและเป็นค่าที่เป็นอิสระจากการวัดแต่ละครั้ง ทำให้ไม่สามารถหาอัตราพัฒนาการตลอดช่วงเวลาการวัดได้ ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีแนวคิดว่า คะแนนจริงของการวัดแต่ละครั้ง ได้รับอิทธิพลจากคะแนนแฝงพัฒนาการ 2 ส่วน คือ คะแนนเริ่มต้นที่แท้จริง (latent intercept) และอัตราพัฒนาการที่แท้จริงตลอดช่วงเวลาการวัด (latent growth) จะได้จากค่าเฉลี่ยของคะแนนพัฒนาการจริงของทุกครั้งการวัด สำหรับคะแนนเริ่มต้นที่แท้จริง เท่ากับคะแนนจริงจากการวัดครั้งแรก (η_1) ทั้งคะแนนเริ่มต้นที่แท้จริงและพัฒนาการที่แท้จริงเป็นองค์ประกอบร่วมของคะแนนจริงแต่ละครั้ง ผู้วิจัยจึงพัฒนาเป็นโมเดลใหม่ โมเดลใหม่นี้คือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ (Quasi-simplex with latent growth models) ดังภาพที่ 9 และปรับขยายจากโมเดลชนิด คุณลักษณะเดียวมาเป็นหลายคุณลักษณะ เพื่อใช้ศึกษาความสัมพันธ์ของพัฒนาการข้ามคุณลักษณะ จะได้เป็นโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ใหม่ ชนิดตัวแปรพหุของดังภาพที่ 10

โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ในงานวิจัยนี้ ได้แนวคิดจากข้อเสนอแนะของ รศ.ดร. นงลักษณ์ วิรัชชัย ในการสัมนาการวัดและประเมินผลการศึกษาระดับปริญญาเอก ในเดือนสิงหาคม 2541 ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กระบวนวิธีของการวัดและการวิเคราะห์

โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยวหรือวัด 1 คุณลักษณะ ค่าประมาณ intercept และ growth ได้จากการวิเคราะห์วิธีการสมการโครงสร้าง (SEM) ทั้งสมการการวัดและสมการโครงสร้าง ส่วนที่เป็นสมการการวัดใช้การวิเคราะห์แบบโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน ส่วนที่เป็นสมการโครงสร้างวิเคราะห์แบบโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐานและเพิ่มสมการที่เป็นตัวแปรแฝงพัฒนาการ สำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรพหุ หรือวัด 2 คุณลักษณะขึ้นไปของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ใหม่ ได้จากการวิเคราะห์ส่วนที่เป็นสมการโครงสร้างในโปรแกรม EQS

สำหรับโปรแกรมคำสั่งการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ใหม่ ชนิดตัวแปรเดี่ยวนี้ ส่วนที่เป็นสมการการวัดมีการวิเคราะห์เช่นเดียวกับโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน กล่าวคือ คะแนนการวัดในแต่ละครั้งจำนวน 5 ครั้ง ประกอบด้วย คะแนนจริงและความคลาดเคลื่อนในการวัด คือ

$$V1 = \beta_1 F1 + E1 \quad (1)$$
$$V2 = \beta_2 F2 + E2 \quad (2)$$
$$V3 = \beta_3 F3 + E3 \quad (3)$$
$$V4 = \beta_4 F4 + E4 \quad (4)$$
$$V5 = \beta_5 F5 + E5 \quad (5)$$

เมื่อ V1 - V5 คือ คะแนนการวัดครั้งที่ 1-5 ซึ่งเป็นตัวแปรสังเกตได้ F1- F5 คือ คะแนนจริงของการวัดแต่ละครั้งที่เป็นตัวแปรแฝง ส่วน E1- E5 คือ คะแนนความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งที่ 1-5 สำหรับ β_1-β_5 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของคะแนนจริงที่มีต่อคะแนนการวัดครั้งที่ 1-5 ในการวิจัยนี้เครื่องมือมีตัวชี้บ่งเดียวจึงกำหนดค่า β_1-β_5 เป็น 1

ส่วนที่เป็นสมการโครงสร้างของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน คือคะแนนจริงในการวัดครั้งหนึ่ง ๆ (F_{i+1}) จะได้รับอิทธิพลหรือสัมประสิทธิ์ถดถอย ($\beta_{i,i+1}$) จากคะแนนจริงของครั้งก่อนหน้าที่ติดกันนั้น (F_i) นั่นคือ

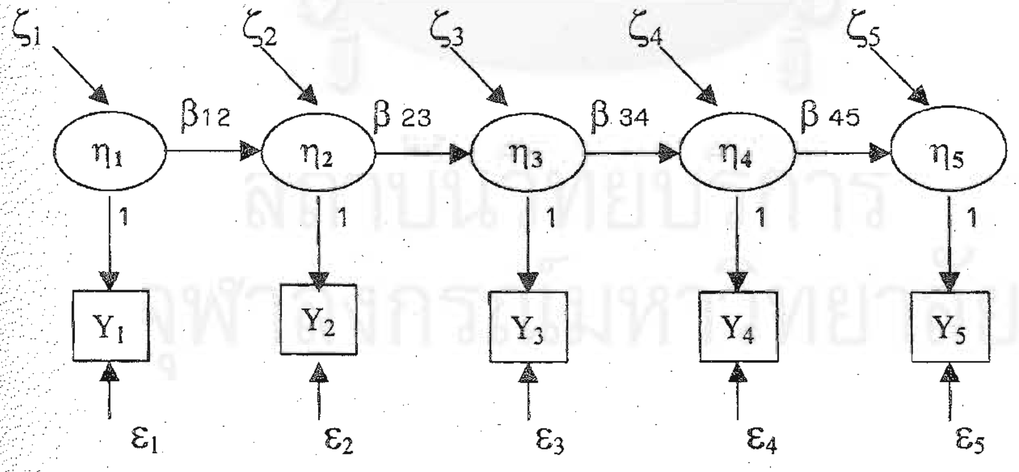
เมื่อ
$$F1 = D1 \quad (6)$$
$$F2 = \beta_{12} * F1 + D2 \quad (7)$$
$$F3 = \beta_{23} * F2 + D3 \quad (8)$$
$$F4 = \beta_{34} * F3 + D4 \quad (9)$$
$$F5 = \beta_{45} * F4 + D5 \quad (10)$$

ในส่วนสมการโครงสร้างของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ แตกต่างจากโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน คือ เพิ่มตัวแปรแฝงพัฒนาการที่ส่งอิทธิพลต่อคะแนนจริง คือ คะแนนเริ่มต้น (latent intercept: F6) และอัตราพัฒนาการ (slope หรือ latent growth: F7) และกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของการวัดที่มีแบบแผนพัฒนาการเชิงเส้นตรง ครั้งที่ 1-5 เป็นแบบเดียวกับโมเดลโค้งพัฒนาการฯ คือ สำหรับค่าอิทธิพลที่มีคะแนนจริงครั้งแรกและครั้งที่สอง จะกำหนดเป็น 0 และ 1 ส่วนค่าอิทธิพลที่มีต่อคะแนนจริงครั้งที่ 3-5 จะให้มีการประมาณค่า โดยกำหนดค่าเริ่มต้นเป็น 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ทำให้อธิบายการเปลี่ยนแปลงระยะยาวในคะแนนการวัดทั้ง 5 ครั้งได้มากขึ้นกว่า โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน ดังนั้นสมการโครงสร้างของโมเดลใหม่ จึงแตกต่างสมการโครงสร้างของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน คือ

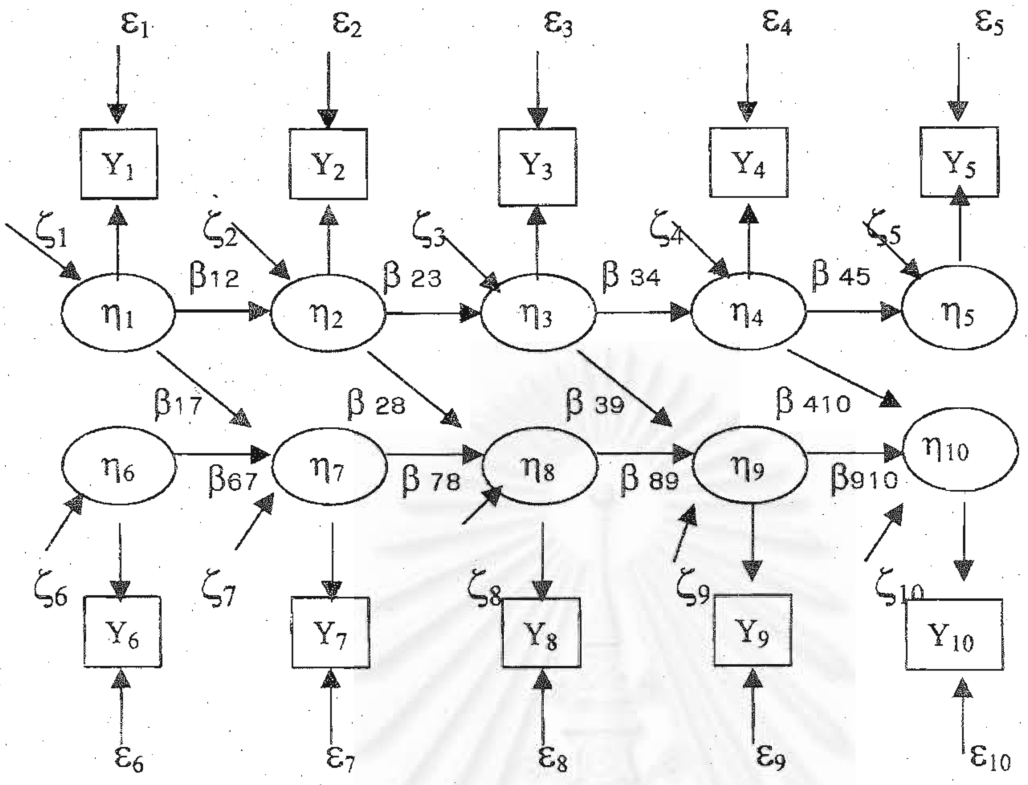
$$F1 = F6 + D1 \quad (6)$$
$$F2 = \beta_{12}*F1 + F6 + 1F7 + D2 \quad (7)$$
$$F3 = \beta_{23}*F2 + F6 + 2*F7 + D3 \quad (8)$$
$$F4 = \beta_{34}*F3 + F6 + 3*F7 + D4 \quad (9)$$
$$F5 = \beta_{45}*F4 + F6 + 4*F7 + D5 \quad (10)$$

สำหรับค่าเฉลี่ยของคะแนนเริ่มต้นและค่าเฉลี่ยของอัตราพัฒนาการในการอธิบายการเปลี่ยนแปลง เป็นค่าที่ประมาณได้จากสมการโครงสร้าง ซึ่งเป็นค่าอิทธิพลของตัวแปร V999 (ตัวแปรอิสระสมมติ ซึ่งก็คือตัวคงที่ 1) ที่มีต่อ F6 และ F7 สำหรับ D6 และ D7 คือ คะแนนเบี่ยงเบนของรายคนจากคะแนนเฉลี่ยหรือคะแนนเศษเหลือ

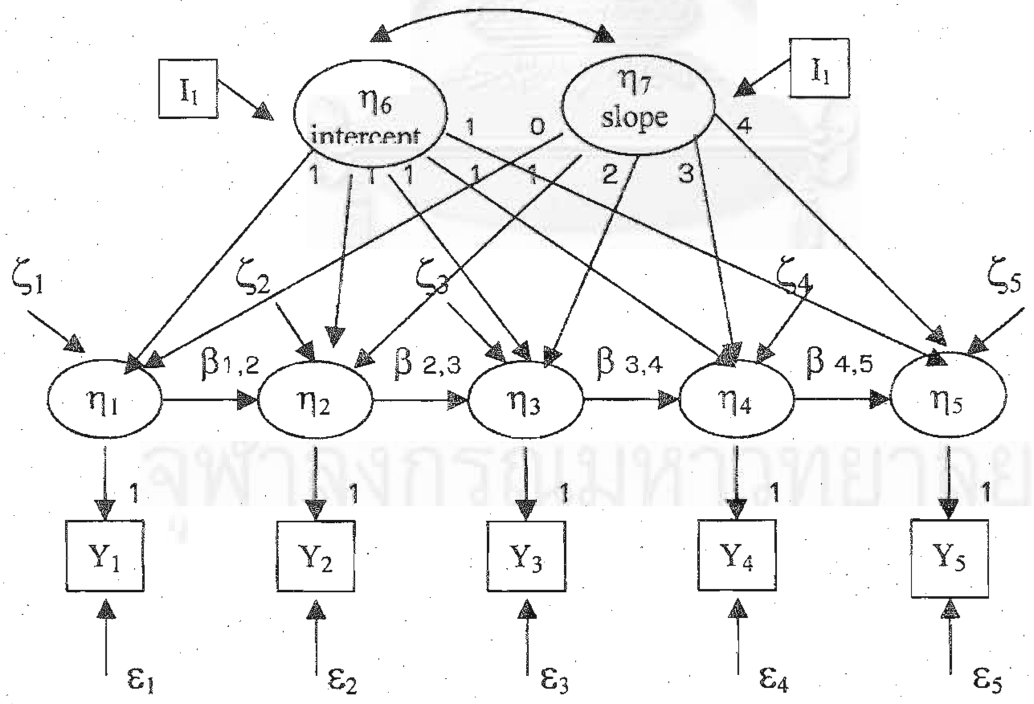
$$F6 = * V999 + D6 \quad (11)$$
$$F7 = * V999 + D7 \quad (12)$$



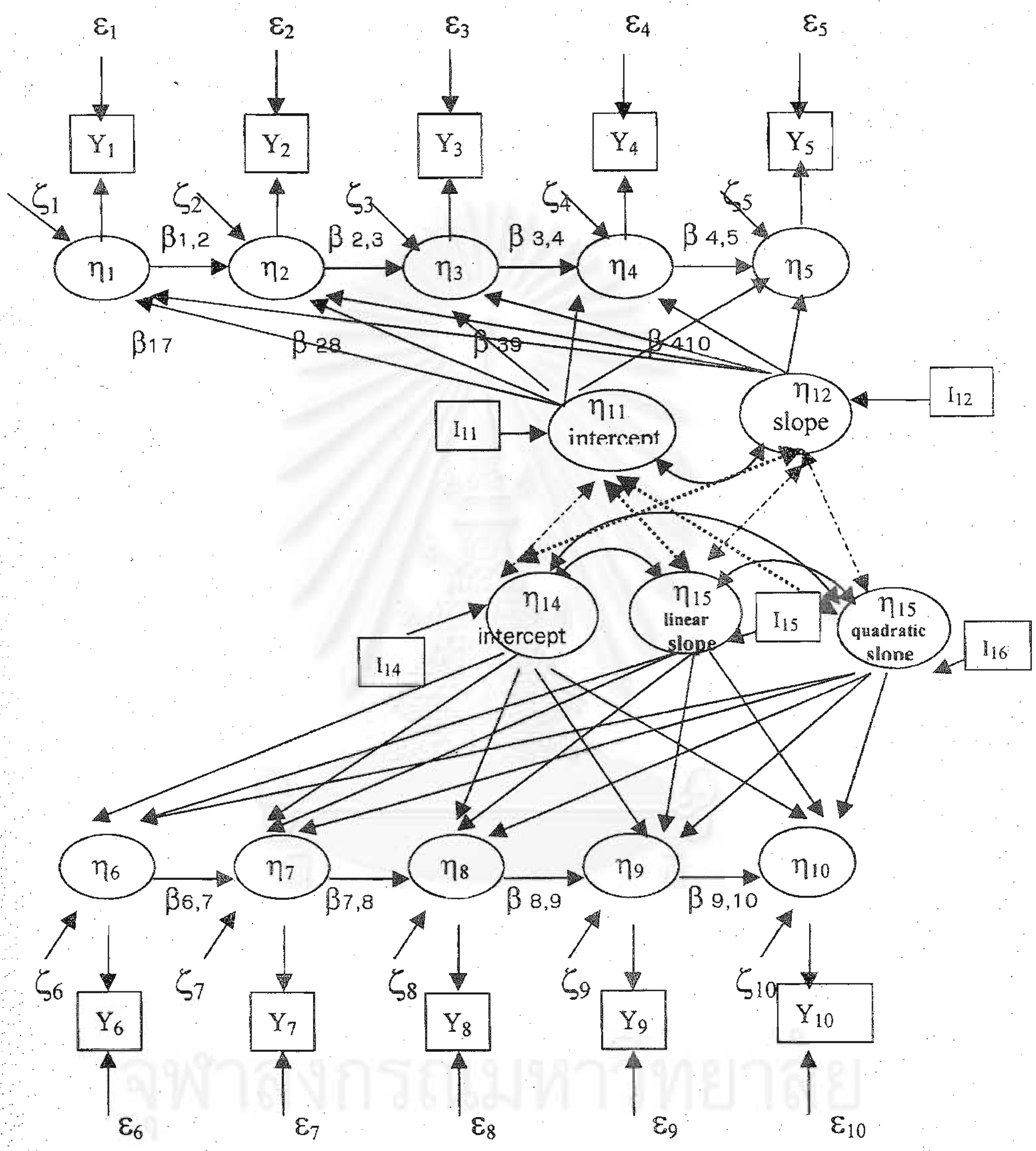
ภาพที่ 7 โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน ชนิดตัวแปรเดี่ยว (Univariate Quasi-Simplex Models) จากการวัด 1 คุณลักษณะ 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน



ภาพที่ 8 โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน ชนิดตัวแปรพหุ (Multivariate Quasi-Simplex Models) จากการวัด 2 คุณลักษณะ 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน



ภาพที่ 9 โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว (Univariate Quasi-Simplex Models with latent growth) ที่มีแบบแผนเชิงเส้นตรงจากการวัด 1 คุณลักษณะ 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน



ภาพที่ 10 โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรพหุ (Multivariate Quasi-Simplex Models with latent growth) จากการวัด 2 คุณลักษณะ 5 ครั้ง คุณลักษณะแรกมีแบบแผนการเปลี่ยนแปลงแบบ linear และคุณลักษณะที่ 2 มีแบบแผนการเปลี่ยนแปลง แบบ nonlinear

ตอนที่ 4 แนวคิด ทฤษฎีเกี่ยวกับคุณลักษณะที่วัด

วิชาคณิตศาสตร์มีลักษณะเกี่ยวข้องกับจำนวน ปริมาณ ตัวเลข ตลอดจนการแก้ปัญหาที่ต้องใช้การคำนวณ เพื่อหาจำนวนหรือปริมาณของสิ่งต่าง ๆ หลักสูตรมัธยมศึกษาตอนต้นฉบับปัจจุบัน ได้กำหนดจุดมุ่งหมายให้ผู้เรียนเกิดคุณลักษณะที่พึงประสงค์ในวิชาคณิตศาสตร์ ได้แก่ ความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชา การคิดคำนวณ ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา เจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์ เป็นต้น และในการทำวิจัยเกี่ยวกับความสามารถของผู้เรียนในวิชาคณิตศาสตร์ของหน่วยงานต่าง ๆ เช่น กรมวิชาการ สำนักงานคณะกรรมการการประถมศึกษาแห่งชาติ ที่ติดตามคุณภาพของนักเรียนมาเป็นช่วงระยะยาว พบว่า นักเรียนมีปัญหาบกพร่องในคุณลักษณะความสามารถการแก้โจทย์ปัญหามากที่สุด และการคิดคำนวณก็เป็นคุณลักษณะที่นักเรียนมีคุณภาพต่ำรอง ๆ ลงมา (สำนักงานคณะกรรมการการประถมศึกษาแห่งชาติ, 2532) ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะวัดการเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะความสามารถการแก้โจทย์ปัญหา และการคิดคำนวณ เนื่องจากคุณลักษณะทั้งสองเป็นคุณลักษณะที่เด็กไทยบกพร่องมากที่สุดในวิชาคณิตศาสตร์ และทั้งสองคุณลักษณะนี้มีความหมายและความเกี่ยวข้องกันรายละเอียดดังนี้

ความหมายของคุณลักษณะที่วัด

ทักษะการคิดคำนวณ เป็นความสามารถในการดำเนินการ (operate) บวก ลบ คูณ หาร ของจำนวนเพื่อให้ได้คำตอบที่เป็นปริมาณหรือตัวเลข สำหรับความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ เป็นความสามารถในการค้นหาคำตอบจากสภาพปัญหาที่ประกอบด้วย สถานการณ์ ถ้อยคำ หรือข้อความและตัวเลข โดยต้องการคำตอบเป็นปริมาณหรือตัวเลข

ความเกี่ยวข้องระหว่างความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหากับทักษะการคิดคำนวณ

โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์เป็นสภาพปัญหาที่ประกอบด้วย สถานการณ์ ถ้อยคำหรือข้อความ และตัวเลข โดยต้องการคำตอบเป็นปริมาณหรือตัวเลข ดังนั้น การแก้ปัญหาโจทย์คณิตศาสตร์จึงต้องดำเนินการให้เหมาะสมกับสภาพปัญหาเหล่านี้ ดังที่นักวิชาการหลายท่านได้เสนอแนะวิธีการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ และกระบวนการแก้ปัญหาโจทย์คณิตศาสตร์เป็นลำดับขั้นตอนใกล้เคียงกัน (Polya, 1957; Krulik and Weise, 1975; Suydam, 1980; Krukik, 1987 อ้างถึงใน สุพัตรา มาติวิสันต์, 2534 และ ขนิษฐา คำทอน, 2539) สรุปขั้นตอนสำคัญ 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การทำความเข้าใจปัญหา คือทำความเข้าใจคำ วลีหรือประโยคย่อยๆ สัญลักษณ์ต่าง ๆ ในปัญหา จะต้องบอกได้ว่าปัญหาถามอะไร สิ่งที่กำหนดให้มีอะไรบ้าง และเงื่อนไขที่เชื่อมโยงสิ่งที่กำหนดให้กับสิ่งที่ถามหรือไม่

2. การวางแผนแก้ปัญหา จะต้องพิจารณาว่าสิ่งที่กำหนดให้จะนำไปสู่ผลใดได้บ้าง และมีความรู้อะไรบ้างสัมพันธ์กับปัญหา

3. การดำเนินตามแผนที่วางไว้ในขั้นที่ 2 โดยใช้ทักษะการคำนวณ และวิธีการคำนวณที่เหมาะสมมาช่วยในการหาคำตอบ

4. การตรวจสอบวิธีการและคำตอบว่าถูกต้องหรือไม่ ในการตรวจสอบอาจทำให้เกิดความคิดที่จะดัดแปลงวิธีการแก้ปัญหาให้ง่าย สั้น และชัดเจนยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ศึกษา ความสำเร็จในการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ ได้แก่ งานวิจัยของ Hunney ในปี ค.ศ.1971 พบว่ามีปัจจัยสำคัญดังนี้ 1. ความสามารถในการเข้าใจคำพูด 2. ความเข้าใจแนวคิดของปัญหา 3. การตีความของปัญหาอย่างมีเหตุผล 4. การคิดคำนวณ งานวิจัยของ Adams, Ellis and Beeson ในปี ค.ศ.1977 กล่าวว่า การแก้ปัญหาโจทย์คณิตศาสตร์ ต้องอาศัยความสามารถ 3 ด้าน คือ 1. สติปัญญา ได้แก่ องค์ประกอบทางปริมาณ และองค์ประกอบทางด้านภาษา 2. การอ่าน โดยเฉพาะการอ่านแบบวิเคราะห์ 3. ทักษะพื้นฐานของการคำนวณ Zalewski ศึกษาปัจจัยที่ช่วยในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ในปี ค.ศ.1978 ได้ข้อค้นพบว่ามี 5 ประการ คือ 1. ความสามารถในเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์ 2. ความสามารถในการจัดกระทำ 3. ความเข้าใจในการอ่าน ศัพท์ การตีความจากกราฟและตาราง 4. ความคิดรวบยอดทางคณิตศาสตร์ 5. ทักษะในการคำนวณ นอกจากนี้ Dickson, Brown และ Gibson ศึกษาปัจจัยที่มีส่วนช่วยในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของเด็กในปี ค.ศ.1984 พบปัจจัยต่อไปนี้ ความสามารถในการอ่านและเข้าใจคำถาม การแปลงโจทย์ปัญหาให้เป็นประโยคทางคณิตศาสตร์ ทักษะกระบวนการคิดคำนวณ การเขียนคำตอบในรูปแบบที่ยอมรับกัน และแรงจูงใจของนักเรียน นอกจากนี้ West ยังชี้ให้เห็นถึงสาเหตุที่นักเรียนไม่สามารถทำข้อสอบที่เป็นโจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้ถูกต้องในปี ค.ศ.1977 ไว้ 3 ประการ คือ ไม่สามารถเข้าใจในข้อความที่เป็นโจทย์ปัญหา ไม่สามารถเปลี่ยนโจทย์ปัญหาเป็นประโยคสัญลักษณ์ และไม่สามารถคำนวณตามที่โจทย์ต้องการได้ (อ้างถึงใน ขนิษฐา คำทวน, 2539; สมบัติ โพธิ์ทอง, 2539; สุพัตรา ผาติวิสันต์, 2534)

นอกจากนี้สุพัตรา ผาติวิสันต์ (2534) กล่าวว่ายังมีงานวิจัยที่ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของการอ่าน การคิดคำนวณ และการแก้โจทย์ปัญหา คือ Balow (1964) ได้ทำการศึกษาถึงความสำคัญของความสามารถในการอ่านและความสามารถในการคิดคำนวณที่มีผลต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการควบคุมระดับสติปัญญากับนักเรียนจำนวน 468 คน ผลการวิจัยพบว่า ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์จะเพิ่มขึ้น ถ้าความสามารถในการอ่านและความสามารถในการคิดคำนวณเพิ่มขึ้น และ Tucker ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาความสัมพันธ์ของทักษะเบื้องต้น ที่ส่งผลต่อความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4ในปี ค.ศ.1977 โดยใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 80 คน ผลการวิจัยพบว่า ทักษะเบื้องต้นคือทักษะการสอน ทักษะการคำนวณ และทักษะการจัดรูปแบบของปัญหามีความสัมพันธ์กับความสามารถในการแก้ปัญหาสูงกว่าทักษะการอ่าน

จากงานวิจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นว่า ทักษะในการคิดคำนวณเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา เพราะเป็นกระบวนการที่นำไปสู่การหาคำตอบที่เป็นปริมาณ และทักษะการคิดคำนวณเป็นคุณลักษณะที่เด่นชัดของวิชาคณิตศาสตร์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าคุณลักษณะของการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ก็คือ การนำเอากระบวนการคิดคำนวณไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันนั่นเอง แต่เมื่อนำปัญหาเหล่านี้มาเขียนเป็นแบบฝึกหัดให้นักเรียนทำ โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์จึงมีทักษะอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การอ่าน การแปลความโจทย์ เป็นต้น

ตอนที่ 5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว

MacCallum และคณะ (1997) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของการตอบสนองทางจิตวิทยาเกี่ยวกับการขัดแย้งของคู่สมรสที่แต่งงานกันมานาน โดยใช้โมเดลพหุระดับ และโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงทั้งชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ กลุ่มตัวอย่างเป็นคู่แต่งงานจำนวน 31 คู่ ที่ทั้งคู่มีอายุระหว่าง 55 ถึง 75 ปี และอายุแต่งงานเฉลี่ยประมาณ 42 ปี กลุ่มตัวอย่างได้เข้ารับการทดสอบโดยทำกิจกรรมต่าง ๆ ในศูนย์วิจัยทางคลินิคของมหาวิทยาลัยโอไอโอ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ก่อนเริ่มทำกิจกรรมทุกคนจะได้รับการฉีดสารเฮพาริน เพื่อการวิเคราะห์ฮอร์โมนตลอดช่วงการทำกิจกรรม กิจกรรมประกอบด้วยการสัมภาษณ์ในตอนเช้า ต่อมาให้อภิปรายปัญหาที่ขัดแย้งกันมากที่สุดโดยนั่งเผชิญหน้ากัน การวิเคราะห์มี 5 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ก่อนการสัมภาษณ์ ครั้งที่ 2 เมื่อเริ่มอภิปราย ครั้งที่ 3 หลังจากเริ่มอภิปราย 15 นาที ครั้งที่ 4 หลังจากเริ่มอภิปราย 30 นาที และครั้งที่ 5 หลังจากเสร็จอภิปราย 15 นาที ผู้วิจัยคาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมน 3 ชนิด ในระหว่าง 5 ครั้ง ที่แสดงถึงแบบแผนการเปลี่ยนแปลง ที่สะท้อนถึงการตอบสนองทางจิตวิทยาของแต่ละคน

ผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ พบว่าโมเดลโค้งพัฒนาที่มีตัวแปรแฝง ปรากฏว่าได้ผลเช่นเดียวกับการใช้โมเดลพหุระดับ ในระดับตัวแปรเดี่ยวมีฮอร์โมน 1 ชนิดที่มีแนวโน้มค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง ส่วนอีก 2 ชนิดไม่สามารถบ่งชี้มีการเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้นตรง ส่วนการวิเคราะห์ตัวแปรพหุ พบว่า ค่าเริ่มต้นและอัตราการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนชนิดเดียวกันมีสหสัมพันธ์สูงแต่เป็นค่าติดลบ และพบว่าค่าเริ่มต้นของฮอร์โมนชนิดแรกมีสหสัมพันธ์กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนชนิดที่ 2

Willett and Sayer (1996) นำเสนอนวัตกรรมการศึกษาการเปลี่ยนแปลงข้ามโดเมน โดยใช้โมเดลโค้งพัฒนาการร่วมกับการวิเคราะห์โครงสร้างความแปรปรวนร่วม เพื่อมุ่งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการด้านการอ่านและคณิตศาสตร์ โดยใช้ข้อมูลการวัด 3 ครั้ง คือ ในช่วงอายุ 7,11 และ 16 ปี กับกลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่ม คือ กลุ่มเด็กสุขภาพปกติ 514 คน กลุ่มเด็กที่เป็นโรคหืดหอบ 437 คน และกลุ่มเด็กที่เป็นโรคร้าย 72 คน โดยเขาใช้ linear-log model แทนพัฒนาการรายบุคคล ค่าประมาณคะแนนเริ่มต้นกำหนด ณ ช่วงอายุ 7.5 ปี จากการวิเคราะห์เบื้องต้นได้ค่าน้ำหนักอิทธิพลของพัฒนาการที่มีต่อคะแนนการวัดครั้งที่ 1-3 เท่ากับ -0.693, 1.504 และ 2.251 ตามลำดับ เหมือนกันทั้งด้านการอ่านและคณิตศาสตร์ ผู้วิจัยเรียก

ค่าเฉลี่ยของตัวแปรแฝงพัฒนาการทั้ง 4 ค่าในสมการโครงสร้างว่า within-person หรือ signal และเรียกความคลาดเคลื่อนในการวัด 6 ค่าว่า noise กรอบการวิเคราะห์เปรียบเทียบ 3 โมเดล คือ โมเดลแรก กำหนดให้ค่าเฉลี่ย ความแปรปรวนของตัวแปรแฝงพัฒนาการ และการแจกแจงของความคลาดเคลื่อนในการวัดของเด็กสามกลุ่มไม่เท่ากัน โดยเฉพาะการแจกแจงความคลาดเคลื่อน เป็นอิสระจากกันและมีค่าความแปรปรวนเท่ากันในแต่ละโดเมน (homoscedastic) สำหรับโมเดลสอง กำหนดให้ความแปรปรวนของตัวแปรแฝงพัฒนาการ และการแจกแจงความคลาดเคลื่อนทั้ง 3 กลุ่มเท่ากัน แต่ค่าเฉลี่ยทั้ง 3 กลุ่มไม่เท่ากัน โดยเฉพาะการแจกแจงของความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระจากกัน และเป็น homoscedastic และสำหรับโมเดลสาม กำหนดให้ความแปรปรวนของตัวแปรแฝงพัฒนาการ และการแจกแจงความคลาดเคลื่อนของทั้ง 3 กลุ่มเท่ากัน และค่าเฉลี่ยทั้ง 3 กลุ่มไม่เท่ากันเหมือนกับโมเดลสอง แต่ต่างกันที่โมเดลนี้กำหนดการแจกแจงความคลาดเคลื่อนให้สัมพันธ์กัน (autocorrelated) และความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากัน (heteroscedastic) ผลการวิเคราะห์พบว่า แม้ว่าโมเดลทั้งสามไม่ความสอดคล้องกับข้อมูล แต่โมเดลที่ 3 มีความสอดคล้องดีกว่า 2 โมเดลแรก ชี้ให้เห็นข้อตกลงเกี่ยวกับความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนเท่ากัน (homoscedastic) น่าจะผ่อนคลายได้ในการวัดซ้ำกับกลุ่มเดิมหลายช่วงเวลา ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนอาจจะไม่เท่ากันหรืออาจจะมีความสัมพันธ์กัน ผู้วิจัยใช้ผลจากโมเดลที่สามมารายงานผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงข้ามโดเมน กล่าวคะแนนเริ่มต้นของการอ่านและคณิตศาสตร์เท่ากับ 0.880 สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราพัฒนาการของการอ่านและคณิตศาสตร์เท่ากับ 0.564 สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นของการอ่านกับอัตราพัฒนาการคณิตศาสตร์เท่ากับ 0.130 และสหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นคณิตศาสตร์กับอัตราพัฒนาการการอ่านเท่ากับ -0.186

Stoolmiller (1994) ใช้โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ศึกษาพัฒนาการและการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรม 3 ด้าน คือ การต่อต้านสังคม การคบเพื่อนเกเร และการเที่ยวเตร่ที่ไม่สมควร ระหว่างการเปลี่ยนช่วงจากวัยเด็กไปยังวัยรุ่นตอนต้นของกลุ่มตัวอย่าง 206 คน จากครอบครัวที่มีความเสี่ยงของพฤติกรรมดังกล่าวในอัตราสูง เนื่องจากอยู่ถิ่นที่มีอัตราอาชญากรรมเพิ่มสูง และครอบครัวอย่างน้อย 50% มีฐานะการเงินต่ำ หรือเป็นผู้ใช้แรงงาน มีการเก็บข้อมูลติดตามเด็กในระดับชั้น 4,6,7 และ 8 รวม 4 ครั้ง ผลการวิจัยชนิดตัวแปรเดี่ยวพบว่า สถานภาพเริ่มต้น ณ ระดับชั้นเกรด 4 และอัตราการเปลี่ยนแปลงจากเกรด 4 ถึงเกรด 8 ในทั้ง 3 พฤติกรรมมีความแตกต่างระหว่างบุคคล พฤติกรรมการคบเพื่อน และการเที่ยวเตร่ แสดงแนวโน้มเฉลี่ยค่าเป็นบวก โค้งพัฒนาการเชิงเส้นตรงเพียงพอที่จะบรรยายการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมการคบเพื่อน และการต่อต้านสังคม ส่วนการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมการเที่ยวเตร่ พบว่าเป็นเส้นตรงไปถึงชั้นเกรด 7 และมีการเบี่ยงเบนจากเกรด 7 ถึงเกรด 8 ผลการวิจัยชนิดตัวแปรพหุพบว่าสถานภาพเริ่มต้นพฤติกรรมทั้ง 3 มีความสัมพันธ์กันสูง อัตราการเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 พฤติกรรมมีความสัมพันธ์กันสูงเช่นกัน สรุปได้ว่าพฤติกรรมทั้งสามเชื่อมโยงอย่างใกล้ชิดจากวัยเด็กมาสู่วัยรุ่น

Burchinal และคณะ (1994) ใช้โปรแกรม HLM ประมาณค่าและเปรียบเทียบพัฒนาการของเด็กเล็ก 4 กลุ่ม จากการวิจัยเชิงทดลองที่ให้เด็กปกติเรียนในกลุ่มเพื่อนอายุเดียวกัน และกลุ่มเพื่อนอายุต่างกัน (เกินกว่า 2 ปี) กับเด็กพิการที่เรียนกับกลุ่มเพื่อนทั้ง 2 ประเภท กลุ่มตัวอย่างเด็กปกติจำนวน 56 คน และเด็กพิการ 28 คน โดยเด็กจะได้รับการทดสอบจำนวน 4-8 ครั้ง ระหว่างปี ค.ศ.1986-1989 ผลการวิจัยพบว่า แบบแผนพัฒนาการรายบุคคลระหว่างเด็ก (โมเดลภายในบุคคล) และอัตราการเปลี่ยนแปลงมีความแตกต่างกัน โดยพิจารณาจากการมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของพารามิเตอร์ทั้ง intercept และ slope เมื่อเปรียบเทียบแบบแผนพัฒนาการกลุ่มทั้ง 4 กลุ่ม จากโค้งพัฒนาการเฉลี่ยพบว่าโค้งพัฒนาการ polynomial บรรยายพัฒนาการแต่ละกลุ่มได้ดีที่สุด เมื่อศึกษาพัฒนาการของเด็กปกติเปรียบเทียบกับเด็กพิการในทั้ง 2 กลุ่มอายุเพื่อน พบว่ามีแบบแผนความสัมพันธ์ระหว่างอายุจริงและอายุพัฒนาการเป็นเชิงเส้นตรง โดยที่เด็กพิการมีอัตราพัฒนาการต่ำกว่าปกติ และพบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสถานภาพพิการกับการทดลอง นั่นคือ กลุ่มอายุเพื่อนส่งผลกระทบเหมือนกันทั้งในเด็กปกติและเด็กพิการ

Piccinnin (1994) ใช้โมเดลโค้งพัฒนาการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภายในบุคคล และความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงระหว่างบุคคล เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสามารถด้านความรู้กับอายุที่เปลี่ยนไป และตัวทำนายการเปลี่ยนแปลง โดยเก็บข้อมูลด้วยการสังเกตเชิงทดลองและการวัดทางจิตวิทยากับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 89 คน อายุ 50-95 ปี ที่ทดสอบทุกๆ ระยะ 3 ปีหรือมากกว่า พบว่า อายุสามารถทำนายการถดถอยในบางเนื้อหาด้านภาษา สุขภาพมีผลกับการปรับปรุงด้านคำศัพท์ดีขึ้น ประวัติครอบครัวที่เป็น AD มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงในเรื่องความถี่ของคำ

Sayer (1992) ประยุกต์ใช้วิธีการโค้งพัฒนาการฯศึกษาในการวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางวิชาการของเด็กที่เป็นโรคหอบหืด เปรียบเทียบกับกลุ่มเด็กปกติ การวิจัยมุ่งตอบคำถาม 2 ข้อ คือ สุขภาพมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงผลสัมฤทธิ์ทางคณิตศาสตร์และการอ่านของเด็กอายุ 7 ถึง 16 ปีหรือไม่ และข้อที่ 2 สุขภาพส่งผลต่อองค์ประกอบที่จะทำให้เกิดพัฒนาการทางวิชาการ เช่น สติปัญญาและบุคลิกภาพการปรับตัวที่โรงเรียนหรือไม่ เขาเริ่มด้วยการศึกษาภาคตัวขวาง พบว่า เด็กที่ป่วยเป็นโรคหืดมีผลสัมฤทธิ์ต่ำกว่าเด็กปกติทั่วไป การศึกษาครั้งนี้ได้จากการวัดด้วยแบบสอบถามมาตรฐานด้านสติปัญญาทั่วไป และให้ผู้ปกครองทำแบบจัดลำดับคุณภาพที่สอบถามบุคลิกภาพด้านความสามารถในด้านการปรับตัวความสามารถด้านสังคม ความเพียรพยายามและการควบคุมอารมณ์ ผลการศึกษาพบว่า เด็กที่เป็นโรคหืดหรือลมบ้าหมูแต่เพียงอย่างเดียวมิได้เป็นภาวะการเสี่ยงทางการศึกษา สภาพความเจ็บป่วยไม่ส่งผลต่อความก้าวหน้าของเด็ก ในทางตรงข้ามเมื่อควบคุมตัวแปรเพศ สติปัญญา และเศรษฐานะแล้ว เด็กที่เป็นโรคหืดมีความก้าวหน้าเร็วกว่าเด็กอื่นๆ โค้งพัฒนาการในภาพรวมของเด็กเจ็บป่วยเรื้อรังเหมือนกับเด็กทั่วไปในด้านคณิตศาสตร์และการอ่าน ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสถานะด้านสุขภาพกับตัวแปรทั้งสติปัญญาและการปรับตัว แสดงให้เห็นว่าตัวแปรที่กำหนดขึ้นมาศึกษามีภาวะการเสี่ยงต่อความล้มเหลวเช่นเดียวกับเด็กทั่วไป และคุณสมบัติ บุคลิกภาพมีบทบาทสำคัญมากที่ทำให้ก้าวหน้ามากกว่าสติปัญญา

Shim (1995) ใช้โปรแกรม HLM ในการศึกษาระยะยาวที่จะตรวจสอบอิทธิพลเสมอภาคทางการศึกษาที่มีต่อผลสัมฤทธิ์และการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เขาให้นิยามปฏิบัติการของตัวแปรการเรียนรู้ คือ การวัดพัฒนาการอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาการวิจัยที่ต้องเก็บข้อมูลอย่างน้อย 3 ครั้ง ตัวแปรความเสมอภาคคือ เชื้อชาติ เศรษฐานะและเพศ กลุ่มตัวอย่างเป็นกลุ่มเด็กในโครงการ The Longitudinal Study of American Youth (LSAY) จำนวน 1,385 คน จากการวัด 5 ครั้ง ประเด็นความเสมอภาคมุ่งที่ผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนระดับชั้นเกรด 9 และอัตราพัฒนาการเป็นการเรียนรู้ระหว่างช่วงเกรด 7 ถึงเกรด 11 ได้ทำการตรวจสอบการส่งผลการใช้หลักสูตรต่างกันในเกรด 9 และตัวแปรด้านจิตใจ 5 ด้าน ผลการวิจัยชี้ว่า ความไม่เสมอภาคระหว่างเพศ สถานภาพชนกลุ่มน้อย และเศรษฐานะเกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์มากกว่าการเรียนรู้ เพราะตัวแปรความเสมอภาคและปฏิสัมพันธ์ไม่สามารถอธิบายความแตกต่างของการเรียนรู้ระหว่างบุคคลได้มากนัก และยังพบการด้อยคุณภาพระหว่างนักเรียนในชั้นเรียนคณิตศาสตร์ที่ต่างกัน สำหรับแบบแผนพัฒนาการจากชุดข้อมูลระยะยาวที่เก็บตลอด 4 ปี ในส่วนค่าเฉลี่ยผลการอ่านของทั้งหมดเพิ่มขึ้นคล้ายกับแบบแผนพัฒนาการที่ได้จากชุดข้อมูลภาคตัดขวาง 4 ชุด แม้ว่าแนวโน้มพัฒนาการในชุดข้อมูลระยะยาวจะเป็นแบบเชิงเส้นตรง แต่แนวโน้มเหล่านี้เป็นโมเดลตัวแทนที่ด้อยสำหรับพัฒนาการรายบุคคล ขณะที่ผลการวิเคราะห์ cluster ด้านการอ่าน พบว่า มีกลุ่มย่อย 2 กลุ่มแตกต่างจากกลุ่มอื่น

Chou, Bentler and Pentz (1998) เปรียบเทียบวิธีการทางสถิติ 2 วิธีในการศึกษาโค้งพัฒนาการ คือ โมเดลพหุระดับและการวิเคราะห์โค้งตัวแปรแฝง โดยที่การวิเคราะห์โค้งตัวแปรแฝงศึกษาใน 2 โมเดล โมเดล LCA ที่กำหนดน้ำหนักของพัฒนาการเป็นค่าคงที่ (fixed factor loading) กับโมเดล Meredith and Tisak (M&T)ที่ประมาณค่าน้ำหนักของพัฒนาการ (free factor loading) จึงเป็นการเปรียบเทียบ 3 โมเดล โดยเก็บข้อมูลระยะยาวการใช้บุหรี่ในกลุ่มวัยรุ่นจำนวน 2,779 คนจาก 50 โรงเรียน เป็นโรงเรียนในโครงการป้องกันการใช้สารเสพติด 27 โรง และโรงเรียนกลุ่มควบคุม 23 โรง โดยใช้โรงเรียนเป็นหน่วยการวิจัย การติดตามผลครั้งที่ 2 ห่างครั้งแรก 6 เดือน ส่วนการติดตามครั้งที่ 3-5 ห่างจากครั้งก่อนๆ 1 ปี ดังนั้นน้ำหนักของพัฒนาการการติดตามผล 5 ครั้งในโมเดล LCA จึงกำหนดเป็น 0,1,3,5 และ 7 ตามลำดับขณะที่น้ำหนักของพัฒนาการของการติดตามผล 5 ครั้งในโมเดล M&T ประมาณค่าจากการวิเคราะห์ คือ 0, 1, 3.12, 5.72 และ 8.11 ตามลำดับ และโมเดลทั้งสองกำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัด 5 ครั้งของโมเดลนั้นๆเท่ากัน ผลการวิจัยพบว่า ค่าประมาณพารามิเตอร์ของคะแนนเริ่มต้น และอัตราพัฒนาการของโมเดลพหุระดับ โมเดล LCA เท่ากัน แต่ค่าประมาณของโมเดล M&T ก็มีค่าใกล้เคียงกับโมเดลทั้งสอง แต่ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลระหว่าง โมเดล LCA และโมเดล M&T แล้ว พบว่า โมเดล M&T มีความคลาดเคลื่อนของโมเดลน้อยกว่า คณะผู้วิจัยเสนอแนะให้มีการประมาณค่าน้ำหนักของคะแนนเริ่มต้นเป็นอิสระ เพิ่มเติมจากโมเดล M&T ที่มีการประมาณค่าค่าน้ำหนักของพัฒนาการเป็นอิสระ

Willett and Sayer (1994) ให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมในการศึกษาพัฒนาการ และเปรียบเทียบโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง 3 โมเดลในการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว โมเดลแรกกำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากัน โมเดลสองประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดอย่างเป็นอิสระ และโมเดลสามประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดอย่างเป็นอิสระและให้สัมพันธ์กันในการศึกษาพฤติกรรมที่เบี่ยงเบนของวัยรุ่น อายุ 11-15 ปี โดยใช้ข้อมูลการติดตามผล 5 ครั้ง จำนวน 168 คน พบว่า โมเดลสามและโมเดลสองมีประสิทธิภาพของโมเดลดีที่สุดและรองลงมา

สำหรับงานวิจัยที่ศึกษาการวัดเปลี่ยนแปลงระยะยาวในแนวใหม่ในประเทศไทย ได้แก่ งานวิจัยของ ประสิทธิ์ ไชยกาล (2539) ใช้โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว 3 แบบ คือ โมเดลพื้นฐาน โมเดลที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว และโมเดลที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เก็บข้อมูลผลสัมฤทธิ์วิชาคณิตศาสตร์ 3 ครั้ง และวัดตัวแปรด้านความถนัดทางคณิตศาสตร์ 1 ครั้ง ผลการวิจัยพบว่า โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว มีประสิทธิภาพสูงที่สุด รองลงไปคือ โมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว และ โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว ตามลำดับ

นอกจากนั้น ในปีเดียวกัน เอื้อมพร หลินเจริญ (2539) ได้พัฒนาโมเดลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน และทดสอบความไม่แปรเปลี่ยนระหว่างเวลา ความไม่แปรเปลี่ยนระหว่างกลุ่มของโมเดลที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น โมเดลประกอบด้วยตัวแปรสังเกตได้ 14 ตัวแปร และตัวแปรแฝง 4 ตัวแปร ได้แก่ ลักษณะนักเรียน สภาพแวดล้อมทางครอบครัว คุณลักษณะทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียน และคุณลักษณะทางวิทยาศาสตร์หลังเรียน กลุ่มตัวอย่างคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 สังกัดกรมสามัญศึกษาในกรุงเทพมหานคร และจังหวัดกำแพงเพชรจำนวนทั้งสิ้น 450 คน จากการวัด 2 ครั้ง ผลการวิจัยสรุปว่า โมเดลศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงผลการทดสอบความไม่แปรเปลี่ยนระหว่างเวลาแสดงให้เห็นว่า การวัดการเปลี่ยนแปลงทั้ง 2 ครั้งเป็นการวัดตัวแปรแฝงเดียวกัน ส่วนผลการทดสอบความไม่แปรเปลี่ยนระหว่างกลุ่ม พบว่าโมเดลยังไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนการเปลี่ยนแปลงระหว่างกลุ่ม ด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว และการทดสอบภายหลัง

วีระศักดิ์ คำล้าน (2540) ใช้โมเดลเชิงเส้นพหุระดับโปรแกรม HLM เพื่อสร้างโมเดลโค้งพัฒนาการของการเปลี่ยนแปลง และเพื่อการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในระยะยาวของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคำศัพท์ภาษาอังกฤษของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 603 คน ผลการวิจัยที่สำคัญพบว่า โมเดลโค้งพัฒนาการการเปลี่ยนแปลงมีแบบแผนเส้นโค้งยอดเดียว (quadratic) และกระบวนการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม HLM สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์สถานภาพเริ่มต้น อัตราพัฒนาการ และอัตราเร่งได้อย่างครบถ้วน นักเรียนมีอัตราพัฒนาการ

ในการเรียนรู้คำศัพท์เฉลี่ย .38 คำต่อ 2 สัปดาห์ และมีอัตราเร่ง -0.02 ความเที่ยงในการประมาณค่าสถานภาพเริ่มต้น อัตราพัฒนาการ และอัตราเร่งเท่ากับ 0.99, 0.58 และ 0.43 ตามลำดับ สถานภาพเริ่มต้นมีความสัมพันธ์ทางบวกกับอัตราพัฒนาการและอัตราเร่ง และตัวแปรเชาวน์ปัญญากับแรงจูงใจส่งอิทธิพลต่อสถานภาพเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ ตัวแปรเจตคติและตัวแปรดัมมี่เพศหญิงส่งอิทธิพลต่ออัตราเร่งอย่างมีนัยสำคัญ

จะเห็นได้ว่างานวิจัยที่กล่าวมา ส่วนใหญ่ใช้การวัดการเปลี่ยนแปลงแนวใหม่ที่มีการเก็บข้อมูลมากกว่า 2 ครั้ง และวิเคราะห์ด้วยวิธีการสมการโครงสร้างที่นำเอาความคลาดเคลื่อนในการวัดมาร่วมวิเคราะห์ ได้แก่ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และวิเคราะห์ด้วยโมเดลพหุระดับ ที่มีรูปแบบของสมการใกล้เคียงกัน นอกจากนั้นมีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง 2 โมเดลนี้ แต่เป็นการศึกษาชนิดตัวแปรเดี่ยว และการเปรียบเทียบระหว่างโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงกับโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน ยังไม่มีการศึกษาที่เปรียบเทียบโมเดลทั้งสาม ทั้งชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาเปรียบเทียบโมเดลทั้งสามนี้ ซึ่งเป็นโมเดลที่นิยมใช้มาก อนึ่งในงานวิจัยที่เปรียบเทียบโมเดลอื่นๆกับโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ มักจะมุ่งเน้นอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรแฝงที่เป็นคะแนนจริงเท่านั้น เนื่องจากโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์เป็นโมเดลที่ไม่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ (คะแนนเริ่มต้น และอัตราพัฒนาการ) ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงมุ่งพัฒนาโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ใหม่ที่มีตัวแปรพัฒนาการ และใช้การวิเคราะห์สมการโครงสร้างแบบ moment matrix เช่นเดียวกับโมเดลโค้งพัฒนาการฯ ซึ่งก็จะสามารถเปรียบเทียบค่าประมาณที่เป็นค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของตัวแปรแฝงพัฒนาการของทั้งสามโมเดลได้ จะเป็นประโยชน์ในการอธิบายผลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของคุณลักษณะทางคณิตศาสตร์ที่ศึกษาได้ชัดเจน

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยความสัมพันธ์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว 3 โมเดลชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ ที่วัดพัฒนาการคุณลักษณะในวิชาคณิตศาสตร์ จากการวัดนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน ดังมีรายละเอียดวิธีดำเนินการ ดังนี้

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าแนวคิด กระบวนวิธีการ (approaches) และโมเดลการวัดและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาว จากบทความ งานวิจัย ตลอดจนเอกสารตำราต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในสาขาทางการศึกษาตลอดจนนอกสาขาการศึกษา และออกแบบแผนระเบียบวิธีการวิจัย ได้แก่ กำหนดประชากรเป้าหมาย เครื่องมือวิจัย วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล ตัวแปรในการวิจัย การวิเคราะห์ข้อมูล การนำเสนอผล เป็นต้น

2. สร้างและพัฒนาเครื่องมือวิจัย ตรวจสอบความเป็นคู่ขนานของแบบสอบ ปรับเทียบคะแนนระหว่างแบบสอบ

3. เก็บรวบรวมข้อมูลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาววิชาคณิตศาสตร์ กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 469 คน ด้วยการวัดซ้ำ 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน ห่างกันครั้งละ 3 สัปดาห์ ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2542

4. จัดเตรียมข้อมูลและโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล คือ ศึกษากระบวนการของโปรแกรม HLM 4.01 ที่ใช้วิเคราะห์โมเดลพหุระดับ ศึกษากระบวนการและเขียนโปรแกรมคำสั่งของโปรแกรม EQS 5.7B ที่ใช้ในการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ฯ ทดลองใช้กับข้อมูลและปรับโปรแกรมจนกว่าจะครบถ้วนสมบูรณ์

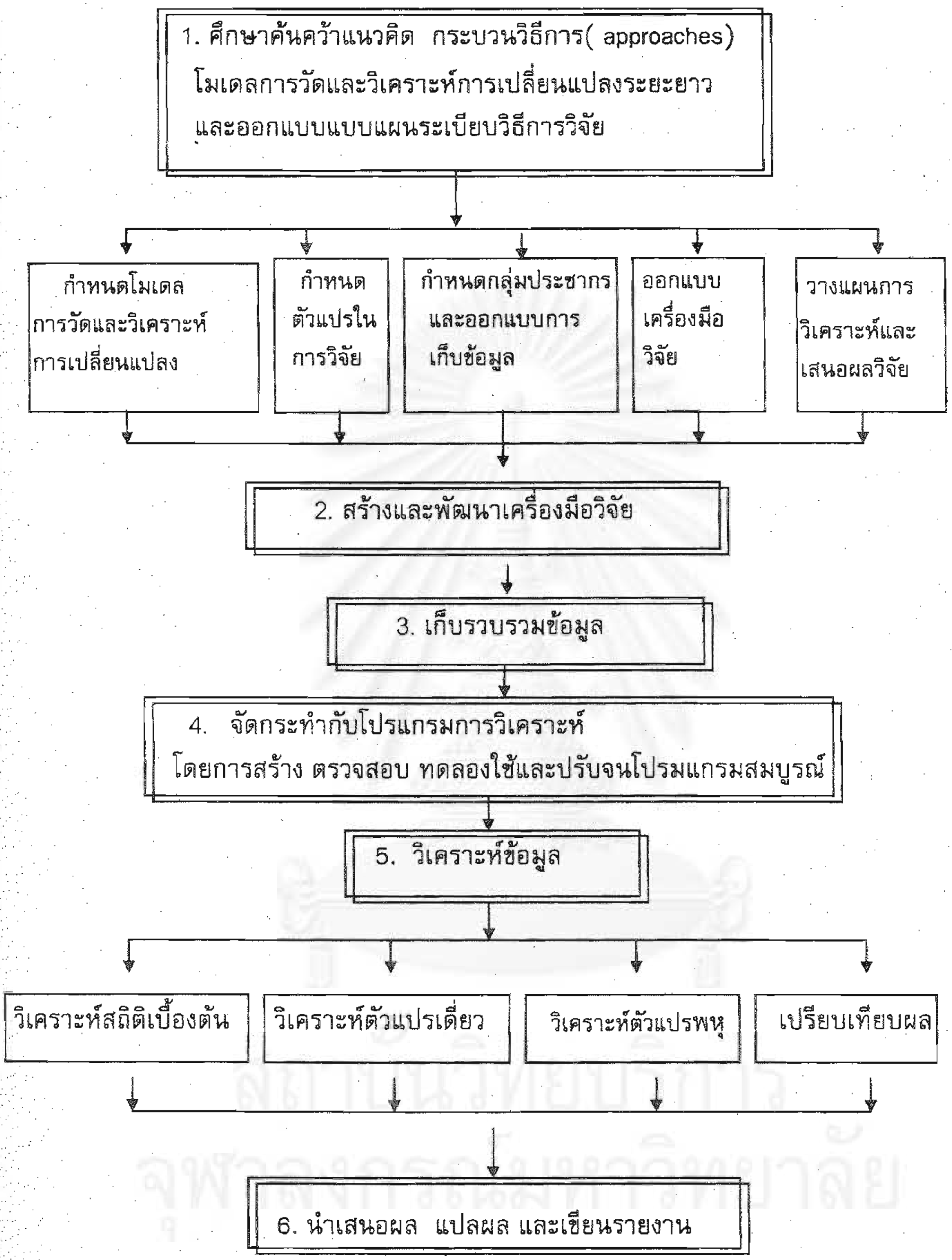
5. ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล มีลำดับขั้นสำคัญดังนี้

5.1 วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น และวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคะแนนการวัดทั้ง 5 ครั้ง เพื่อนำไปใช้กับโปรแกรม EQS 5.7B ในการวิเคราะห์ทั้ง 3 โมเดลได้

5.2 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรเดี่ยว (univariate change) ของแต่ละโมเดล ทดสอบประสิทธิภาพของโมเดล ปรับโมเดล และประมาณค่าพารามิเตอร์

5.3 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรพหุ (multivariate change) ของแต่ละโมเดล โดยนำผลจาก 5.2 ของแต่ละคุณลักษณะ มาหาสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงพัฒนาการของทั้ง 2 คุณลักษณะ ทดสอบประสิทธิภาพของโมเดล ปรับโมเดล ประมาณค่าพารามิเตอร์

6. นำเสนอผลการวิจัย แปลผล และเขียนรายงานการวิจัย



ภาพที่ 11 ลำดับขั้นของวิธีการวิจัยการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยว และตัวแปรพหุ

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการกับกลุ่มประชากร คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษา จำนวน 15 โรงเรียน ในสังกัดสำนักงานการประถมศึกษาจังหวัดสมุทรสงคราม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2542 จำนวนนักเรียน 469 คน

ตัวแปรในการวิจัย

ตัวแปรอิสระ คือ โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว 3 โมเดล ได้แก่ โมเดลพหุระดับ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ที่ศึกษาจาก 2 คุณลักษณะทางคณิตศาสตร์ คือการคิดคำนวณ และการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์

ตัวแปรตาม คือ ค่าประสิทธิภาพของโมเดล ได้แก่ สัมประสิทธิ์การกำหนด ค่าอัตราไค-สแควส์ ดัชนีวัดระดับความสอดคล้อง คือ ดัชนี GFI ค่าดัชนี CFI ดัชนีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ดัชนีรากกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ แบบสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่วัด 2 คุณลักษณะในวิชาคณิตศาสตร์ คือ การคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา ขั้นตอนของการสร้างและพัฒนาแบบสอบ ได้ดำเนินการดังนี้

1. กำหนดตารางวิเคราะห์ข้อสอบ ให้น้ำหนักจำนวนข้อตามความสำคัญของเนื้อหา ปริมาณเนื้อหาและจำนวนชั่วโมงที่ทำการสอน

2. ศึกษาข้อสอบคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาที่ 2 จากหลายแหล่ง เช่น จากข้อสอบโรงเรียนต่างๆ จากแบบฝึกหัด และจากแบบสอบของครูที่ทำผลงานวิชาการวิชาคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาที่ 2 นำมาเป็นแนวทางการสร้างลักษณะเฉพาะข้อสอบ

3. สร้างลักษณะเฉพาะข้อสอบ (Item specification) เพื่อกำหนดโครงสร้างของข้อสอบรายข้อ คือ กำหนดกรอบลักษณะคำถาม ที่มาของคำตอบลวงแต่ละตัวเลือก ทำการตรวจสอบความเหมาะสมของลักษณะเฉพาะข้อสอบ โดยอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนและทดสอบ จำนวน 5 คน นำข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญมาปรับลักษณะเฉพาะของข้อสอบให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

4. สร้างข้อสอบไปเป็นตามโครงสร้างของลักษณะเฉพาะข้อสอบ เป็นข้อสอบคู่ขนาน 5 ชุด นำข้อสอบให้ผู้เชี่ยวชาญและผู้สอนตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา ความเหมาะสมด้านภาษา และนำมาปรับปรุงข้อสอบ

5. ทดลองข้อสอบครั้งที่ 1 กับกลุ่มตัวอย่างนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 5 ฉบับๆ ละ 100 คน แล้วนำคำตอบมาวิเคราะห์ค่าสถิติของข้อสอบและแบบสอบด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อสอบของกรมวิชาการ คัดเลือกข้อสอบที่มีค่าความยากระหว่าง 0.20 ถึง 0.80 และค่าอำนาจจำแนก ตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป รายละเอียดของคุณภาพรายข้ออยู่ในภาคผนวก ง

6. สุ่มข้อสอบในแบบสอบคู่ขนานในแต่ละเซลของตารางวิเคราะห์ข้อสอบ มาจัดฉบับเป็นแบบสอบคู่ขนาน 5 ชุด ตามตารางวิเคราะห์ข้อสอบจำนวน 55 ข้อ เป็นข้อสอบที่วัดคุณลักษณะการคิดคำนวณ 30 ข้อ การแก้โจทย์ปัญหา 25 ข้อ

7. นำแบบสอบคู่ขนาน 5 ฉบับนำไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่างฉบับละ 100 คน สอบแบบสอบทุกฉบับกับนักเรียนห้องเดียวกัน โดยให้มีจำนวนนักเรียนใกล้เคียงกันในแต่ละฉบับ

8. วิเคราะห์หาค่าสถิติแบบสอบและตรวจสอบความเป็นคู่ขนานของแบบสอบ สำหรับแบบสอบฉบับที่ไม่เป็นคู่ขนานในด้านสถิติกับแบบสอบฉบับอื่นๆ จะนำมาปรับเทียบคะแนนตามแนวนอน (Horizontal test equating) เพื่อทำให้แบบสอบฉบับนั้นเป็นคู่ขนานแบบเท่าเทียม (Tau equivalent) กับแบบสอบฉบับอื่นๆ

สำหรับผลการวิเคราะห์แบบสอบคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 5 ฉบับ จากการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 500 คน นำเสนอในตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติแบบสอบคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ฉบับทดลอง จำนวน 5 ฉบับ จากการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 500 คน

ค่าสถิติ	แบบสอบ ฉบับที่ 1	แบบสอบ ฉบับที่ 2	แบบสอบ ฉบับที่ 3	แบบสอบ ฉบับที่ 4	แบบสอบ ฉบับที่ 5
ค่าเฉลี่ย	29.210	30.690	29.700	27.980	31.210
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	7.342	7.621	7.191	7.061	6.962
ความแปรปรวน	53.905	58.079	51.710	49.858	48.469
ความยากเฉลี่ย	0.531	0.558	0.540	0.498	0.605
ความยากมาตรฐาน	12.661	12.353	12.575	13.292	12.035
อำนาจจำแนกPoint-Biserial เฉลี่ย	0.273	0.298	0.266	0.264	0.364
ความเที่ยงของแบบสอบ KR 20	0.776	0.815	0.759	0.764	0.760
ความคลาดเคลื่อน KR 20	3.473	3.279	3.529	3.435	3.429

ผลการวิเคราะห์พบว่า ข้อสอบ 5 ฉบับจากการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างฉบับละ 100 คน มีค่าเฉลี่ยของแบบสอบฉบับที่ 1-5 ระหว่าง 27.98-31.21 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าระหว่าง 6.692-7.621 ค่าความแปรปรวนอยู่ระหว่าง 48.47-58.08 โดยที่แบบสอบฉบับที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของแบบสอบสูงที่สุด รองลงมาคือ คะแนนเฉลี่ยจากแบบสอบฉบับที่ 2, 3, 1 และ 4 ตามลำดับ ค่าความยากเฉลี่ยทั้งฉบับของแบบสอบฉบับที่ 1-5 มีค่าใกล้เคียงกันระหว่าง 0.498-0.605 ค่าอำนาจจำแนกแบบ Point-Biserial เฉลี่ยทั้งฉบับ มีค่าระหว่าง 0.264-0.364 ค่าความเที่ยงของแบบสอบ KR-20 มีค่าระหว่าง 0.760-0.815

สำหรับการทดสอบความเป็นคู่ขนานของแบบสอบคณิตศาสตร์ 5 ฉบับ ที่ใช้ทดลองกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เป็นการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบสอบคณิตศาสตร์ทั้ง 5 ฉบับ ผลที่ได้นำเสนอในตารางที่ 5-7 ดังนี้

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบความเท่ากันระหว่างความแปรปรวนของคะแนนแบบสอบคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ฉบับทดลอง จำนวน 5 ฉบับ

Source of Variation	SUM OF SQUARES	DF	MEAN SQUARES	F- RATIO	P-VALUE
BETWEEN GROUPS	36.993	4	9.248	0.472	0.756
WITHIN GROUPS	9693.504	495	19.583		
TOTAL	9730.496	499			

จากการตรวจสอบความแปรปรวนของคะแนนแบบสอบคณิตศาสตร์ทั้ง 5 ฉบับ ใช้การทดสอบ Levene ' s test of equality of population variance โดยการนำคะแนนความแตกต่างระหว่างคะแนนการวัดรายคนกับคะแนนเฉลี่ยของแต่ละฉบับมาทดสอบด้วยสถิติทดสอบ F ในตารางที่ 5 ปรากฏผลดังนี้ ค่าความน่าจะเป็นของสถิติ F ที่ได้มีค่ามากกว่า .05 (F=0.472, P= 0.756) จึงยังคงสมมุติฐานศูนย์คือ ความแปรปรวนของคะแนนแบบสอบคณิตศาสตร์ 5 ฉบับไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบความเท่ากันระหว่างคะแนนเฉลี่ยของคะแนนแบบสอบคณิตศาสตร์ฉบับทดลอง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 5 ฉบับ

Source of Variation	SUM OF SQUARES	DF	MEAN SQUARES	F- RATIO	P-VALUE
BETWEEN GROUPS	644.19	4	161.047	3.073	0.016
WITHIN GROUPS	25939.53	495	52.403		
TOTAL	26583.72	499			

จากการตรวจสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบสอบคณิตศาสตร์ 5 ฉบับด้วยการทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวในตารางที่ 6 ปรากฏผลดังนี้ ค่าความน่าจะเป็นของสถิติ F ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 0.05 (F=3.073, P= 0.016) จึงปฏิเสธสมมุติฐานศูนย์ แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบสอบคณิตศาสตร์ 5 ฉบับแตกต่างกัน นั่นคือ อย่างน้อยที่สุดค่าเฉลี่ยของแบบสอบ 1 ฉบับต่างจากค่าเฉลี่ยของแบบสอบฉบับอื่นๆ จึงต้องเปรียบเทียบของค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบสอบคณิตศาสตร์ 5 ฉบับเป็นรายคู่ ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Post-hoc Comparison) ด้วยวิธีการของ Scheffe

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของแบบสอบวิชาคณิตศาสตร์ 5 ฉบับ ฉบับทดลอง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เป็นรายคู่ ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Post-hoc) ด้วยวิธีการของ Scheffe

ผลการเปรียบเทียบ	แบบสอบ ฉบับที่ 1	แบบสอบ ฉบับที่ 2	แบบสอบ ฉบับที่ 3	แบบสอบ ฉบับที่ 4	แบบสอบ ฉบับที่ 5
แบบสอบฉบับที่ 1		(-4.6, 1.7) ไม่แตกต่าง	(-3.6,2.7) ไม่แตกต่าง	(-1.9 4.4) ไม่แตกต่าง	(-5.1, 1.2) ไม่แตกต่าง
แบบสอบฉบับที่ 2			(-2.2 ,4.2) ไม่แตกต่าง	(0.4, 5.9) **แตกต่าง**	(-3.7, 2.6) ไม่แตกต่าง
แบบสอบฉบับที่ 3				(-1.4, 4.9) ไม่แตกต่าง	(-4.9, 1.4) ไม่แตกต่าง
แบบสอบฉบับที่ 4					(-6.4, -0.06) **แตกต่าง**

การเปรียบเทียบของค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบสอบคณิตศาสตร์ 5 ฉบับเป็นรายคู่ ภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Post-hoc Comparison) ด้วยวิธีการของ Scheffe ในตารางที่ 7ผลการตรวจสอบความเท่ากันของคะแนนเฉลี่ยจำนวน 10 คู่ ปรากฏว่า มีเพียง 2 คู่ที่แตกต่างกันทางสถิติ คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบสอบฉบับที่ 4 กับ 2 และ ฉบับที่ 4 กับ 5 ซึ่งแบบสอบฉบับที่ 5 และ 2 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดและรองลงมา ขณะที่ค่าเฉลี่ยของแบบสอบฉบับที่ 4 มีค่าต่ำสุด สำหรับผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของแบบสอบฉบับที่ 1, 2, 3 และ 5 พบว่าไม่แตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กระบวนการและผลการปรับเทียบคะแนน

แบบสอบวิชาคณิตศาสตร์ทุกฉบับในการวิจัยนี้ สร้างขึ้นตามลักษณะเฉพาะข้อสอบที่กำหนดขึ้นล่วงหน้า จึงมีโครงสร้างของข้อสอบภายในแต่ละฉบับเป็นคู่ขนานกัน และทำการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนและการวัดผลจำนวน 5 ท่าน เมื่อพิจารณาข้อตกลงเบื้องต้นของแบบสอบคู่ขนานทางทฤษฎี ที่นอกเหนือจากความเป็นคู่ขนานกันในด้านโครงสร้างแล้ว ยังเกี่ยวข้องกับลักษณะของคะแนน 2 ประการ คือ คะแนนจริงเฉลี่ยของทุกฉบับเท่ากัน และความแปรปรวนของคะแนนความคลาดเคลื่อนของทุกฉบับเท่ากันด้วย หรือในเชิงการประยุกต์ใช้คือ คะแนนเฉลี่ยของทุกฉบับไม่ต่างกัน และความแปรปรวนของทุกฉบับไม่ต่างกัน สำหรับความเป็นคู่ขนานของแบบสอบในเชิงประจักษ์ มีการตรวจสอบทางสถิติได้นำเสนอในตารางที่ 5-7 ผลปรากฏว่า แบบสอบฉบับที่ 1, 2, 3 และ 5 จึงมีความเป็นคู่ขนานกัน (parallel form) ทั้งในลักษณะโครงสร้างที่สร้างตามลักษณะเฉพาะของข้อสอบและคู่ขนานกันในเชิงสถิติเพราะมีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนเท่ากัน แต่ฉบับที่ 4 มีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกับฉบับอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงดำเนินการปรับเทียบคะแนนแบบสอบฉบับที่ 4 ให้มีความเป็นคู่ขนานแบบเท่าเทียม (Tau equivalent) กับแบบสอบฉบับที่ 1, 2, 3 และ 5 มีขั้นตอน ดังนี้

1. หาค่าเฉลี่ยรวมของแบบสอบฉบับที่ 1, 2, 3 และ 5 (หรือฉบับ 1235) ที่มีความเป็นคู่ขนานกัน ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยรวมของแบบสอบฉบับที่ 1235 เท่ากับ 30.20

2. ทดสอบความเท่ากันระหว่างค่าเฉลี่ยรวมของแบบสอบฉบับที่ 1235 กับค่าเฉลี่ยแบบสอบฉบับที่ 4 ด้วยการทดสอบ t-test นำเสนอในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบความเท่ากันระหว่างคะแนนเฉลี่ยของแบบสอบคณิตศาสตร์ฉบับทดลอง ฉบับที่ 4 เมื่อปรับเทียบคะแนนแล้ว กับ คะแนนเฉลี่ยรวมของแบบสอบฉบับที่ 1,2,3 และ 5 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

แบบสอบ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	t	d.f.	P-VALUE
ฉบับที่ 4	27.98	7.06	2.431	498	0.006
ฉบับรวม 1235	30.20	7.30			

ผลการทดสอบความเท่ากันระหว่างค่าเฉลี่ยรวมของแบบสอบฉบับที่ 1235 (เท่ากับ 30.20) กับค่าเฉลี่ยแบบสอบฉบับที่ 4 (เท่ากับ 27.98) ในตารางที่ 8 ปรากฏผลว่า ค่าความน่าจะเป็นสำหรับสถิติ t มีค่าน้อยกว่า .05 (t=2.741, P= 0.006) จึงปฏิเสธสมมติฐานที่ว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบสอบคณิตศาสตร์ 2 ฉบับไม่แตกต่างกัน นั่นคือ ค่าเฉลี่ยแบบสอบฉบับที่ 4 กับ ค่าเฉลี่ยรวมของแบบสอบฉบับที่ 1, 2, 3 และ 5 มีค่าต่างกัน

3. ปรับเทียบคะแนนรายบุคคลของแบบสอบฉบับที่ 4 ใหม่ โดยใช้วิธีการแปลงเป็นคะแนนมาตรฐานระหว่างแบบสอบ สำหรับวิธีการปรับเทียบคะแนนที่จะทำให้แบบสอบฉบับที่ 4 เป็นคู่ขนานแบบเท่าเทียม (Tau equivalent) กับแบบสอบฉบับที่ 1, 2, 3 และ 5 ใช้วิธีปรับเทียบคะแนนยึดหลักการแปลงเป็นคะแนนมาตรฐานระหว่างแบบสอบ (Throndike, 1976 อ้างอิงจาก Kolen and Bennen, 1995 และ ศิริชัย กาญจนวาสี, 2541) ดังนี้

$$y_i = \bar{y} + (x_i - \bar{x})\, S_y / S_x \qquad 3.1$$

เมื่อ x_i คือ คะแนนรายบุคคล จากการทำแบบสอบฉบับที่ 4 เดิม

y_i คือ คะแนนรายบุคคล จากการทำแบบสอบฉบับ 4 ใหม่

$\bar{x}$ คือ คะแนนเฉลี่ยของแบบสอบฉบับที่ 4 เดิม

$\bar{y}$ คือ คะแนนเฉลี่ยของแบบสอบฉบับที่ 4 ใหม่
ในที่นี้ใช้คะแนนเฉลี่ยรวมของแบบสอบฉบับที่ 1, 2, 3 และ 5 คือ 30.22

S_x คือ ส่วนเบี่ยงเบนของคะแนนแบบสอบฉบับที่ 4 เดิม

S_y คือ ส่วนเบี่ยงเบนของคะแนนแบบสอบฉบับที่ 4 ใหม่
ในที่นี้ใช้ค่าความแปรปรวนของแบบสอบฉบับที่ 1, 2, 3 และ 5

เนื่องจากแบบสอบฉบับที่ 4เดิมและแบบสอบฉบับที่ 1, 2, 3 และ 5 ไม่แตกต่างกัน ดังนั้น S_x และ S_y เท่ากันทางสถิติ ดังที่ทดสอบไว้ในตารางที่ 6 อัตราส่วนของ S_y / S_x จึงมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อแทนค่าในสมการ 3.1 ทำให้ได้สมการ 3.2

$$y_i = x_i + (\bar{y} - \bar{x}) \qquad 3.2$$

ส่วนต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแบบสอบฉบับที่ 4 เดิม และค่าเฉลี่ยของฉบับที่ 4 ใหม่ คือ $(\bar{y} - \bar{x})$ เท่ากับ 2.22 เมื่อแทนค่าในสมการ 3.2 ทำให้ได้สมการ 3.3

$$y_i = x_i + 2.22 \qquad 3.3$$

4. ปรับคะแนนเฉลี่ยของแบบสอบฉบับที่ 4 ใหม่ ให้เท่ากับค่าเฉลี่ยรวมของแบบสอบฉบับที่ 1235 (จาก 27.98 เป็น 30.20) ด้วยการนำคะแนนส่วนต่างคือ 2.22 มาบวกเพิ่มจากคะแนนฉบับที่ 4 เดิมของแต่ละคน ตามสมการที่ 3.3

5. ทดสอบความเท่ากันระหว่างค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบสอบ 5 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1, 2, 3 และ 5 กับแบบสอบฉบับที่ 4 ที่ปรับใหม่ ด้วยการทดสอบ ANOVA พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ผลนำเสนอในตารางที่ 9 ดังนั้นแบบสอบทั้ง 5 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1, 2, 3, 5 และฉบับที่ 4 ใหม่ จึงมีความเป็นแบบสอบคู่ขนานกัน

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบความเท่ากันระหว่างคะแนนเฉลี่ยแบบสอบคณิตศาสตร์ ฉบับทดลอง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 5 ฉบับ เมื่อปรับเทียบคะแนนฉบับที่ 4 แล้ว

Source of Variation	SUM OF SQUARES	DF	MEAN SQUARES	F- RATIO	P-VALUE
BETWEEN GROUPS	249.03	4	62.257	1.188	0.315
WITHIN GROUPS	25939.53	495	52.403		
TOTAL	26188.56	499			

ผลการตรวจสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบสอบคณิตศาสตร์ 5 ฉบับ ด้วยการทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ปรากฏว่า ค่าความน่าจะเป็นของสถิติ F ที่ได้มีค่ามากกว่า .05 (F=1.188, P= 0.315) จึงยอมรับสมมุติฐานศูนย์ ว่า ค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบสอบคณิตศาสตร์ 5 ฉบับไม่แตกต่างกัน นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของแบบสอบฉบับที่ 4 ที่ปรับเทียบคะแนนแล้ว เป็นคะแนนแบบสอบฉบับที่ 4 ใหม่ มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของแบบสอบฉบับอื่นๆ

นั่นคือ การปรับเทียบคะแนนจากฉบับที่ 4 ให้เป็นคะแนนใหม่ เพื่อให้เท่าเทียมกับคะแนนฉบับที่ 1, 2, 3 และ 5 จึงเท่ากับคะแนนเดิมฉบับที่ 4 ของแต่ละคนบวกด้วยคะแนนส่วนต่างคือ 2.22 จะได้คะแนนปรับเทียบของฉบับที่ 4 ใหม่ ตามตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สถิติเบื้องต้นของคะแนนจากแบบสอบคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เมื่อทำการทำการปรับเทียบคะแนนแบบสอบฉบับที่ 4 แล้ว

ค่าสถิติ	แบบสอบ ฉบับที่ 1	แบบสอบ ฉบับที่ 2	แบบสอบ ฉบับที่ 3	แบบสอบ ฉบับที่ 4ใหม่	แบบสอบ ฉบับที่ 5
ค่าเฉลี่ย	29.210	30.690	29.700	30.200	31.210
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	7.342	7.621	7.191	7.061	6.962
ความแปรปรวน	53.905	58.079	51.710	49.858	48.469

ภายหลังการปรับเทียบคะแนนเพื่อให้แบบสอบ 5 ฉบับมีความเป็นคู่ขนานกัน จึงแสดงความสถิติพื้นฐานของแบบสอบ จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของฉบับที่ 4 เปลี่ยนไปเพียงฉบับเดียว สำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและความแปรปรวนของแต่ละฉบับยังคงเดิม

การเก็บรวบรวมข้อมูล

กำหนดการเก็บข้อมูล 5 ครั้ง ห่างกันครั้งละ 3 สัปดาห์ คือ

ครั้งที่ 1 สัปดาห์ที่ 3 เดือนมิถุนายน 2542
ครั้งที่ 2 สัปดาห์ที่ 2 เดือนกรกฎาคม 2542
ครั้งที่ 3 สัปดาห์ที่ 1 เดือนสิงหาคม 2542
ครั้งที่ 4 สัปดาห์ที่ 4 เดือนสิงหาคม 2542
ครั้งที่ 5 สัปดาห์ที่ 3 เดือนกันยายน 2542

การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์สถิติเบื้องต้น เพื่อตรวจสอบลักษณะของข้อมูลโดยทั่วไป เช่น ค่าเฉลี่ย การกระจาย ความโด่ง ความเบ้ ของคะแนนการวัดทั้ง 5 ครั้ง

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วม และสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้ในช่วงเวลาต่างกัน และตรวจสอบแบบแผนการเปลี่ยนแปลงของแต่ละคุณลักษณะว่าเป็นแบบเส้นตรงหรือไม่ใช่แบบเส้นตรง

ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรเดี่ยว (univariate change) แต่ละโมเดล มีดังนี้

โมเดลพหุระดับชนิดตัวแปรเดี่ยว (univariate MLM) เนื่องจากโมเดลนี้ประยุกต์จากโมเดลสัมประสิทธิ์เชิงสุ่ม จึงวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม HKLM 4.11 for Window 95 ผลการวิเคราะห์ที่สำคัญ คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนเริ่มต้นและอัตราพัฒนาการ ได้จากอิทธิพลกำหนด (fixed effects) ความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้นและอัตราพัฒนาการได้จากอิทธิพลสุ่ม (random effects) ตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นและอัตราพัฒนาการ

โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงชนิดตัวแปรเดี่ยว (univariate LGC) เนื่องจากโมเดลนี้เป็นการประยุกต์จากโมเดลสมการโครงสร้างที่รวมค่าเฉลี่ยเชิงโครงสร้าง (structured equation model with structured means) จึงวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EQS 5.7B แบบ moment matrix ตัวแปรแฝงในโมเดลนี้ คือ คะแนนเริ่มต้นและอัตราพัฒนาการ โมเดลนี้ประกอบด้วยโมเดลย่อย 2 โมเดล คือ สมการการวัดและสมการโครงสร้าง ผลการวิเคราะห์ที่สำคัญ คือ ค่าอิทธิพลของอัตราพัฒนาการที่มีต่อคะแนนการวัดครั้งที่ 1-5 เป็นค่าประมาณที่จะได้จากสมการการวัด สำหรับค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้น ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการ ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นและอัตราพัฒนาการ เป็นค่าประมาณที่จะได้จากสมการโครงสร้าง

โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ชนิดตัวแปรเดี่ยว (univariate QSM) มี 2 รูปแบบ คือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน (Basic quasi-simplex model) กับ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ (Quasi-simplex with latent growth models) โมเดลที่สองเสนอโดยผู้วิจัย ทั้ง 2 โมเดลนี้วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EQS 5.7B

สำหรับโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน เป็นการประยุกต์จากโมเดลสมการโครงสร้างทั่วไปที่มีกระบวนการวิเคราะห์ด้วย covariance matrix ซึ่งไม่ได้กำหนดภาวะบังคับ (contrained) ของค่าเฉลี่ยตัวแปรแฝงและตัวแปรการวัด แต่เป็นโมเดลที่มิได้รวมค่าเฉลี่ยเชิงโครงสร้างมาไว้ในโมเดล ตัวแปรแฝงของโมเดล คือ คะแนนจริงของการวัดครั้งที่ 1-5 ผลการวิเคราะห์ที่สำคัญ คือ ค่าอิทธิพลของคะแนนจริงแต่ละครั้งที่มีผลต่อคะแนนการวัดในครั้งนั้น จะได้จากสมการการวัด สำหรับสมการโครงสร้างจะได้ ค่าอิทธิพลของคะแนนจริงจากครั้งหนึ่งที่มีผลต่อคะแนนจริงในครั้งถัดไป และความแปรปรวนของคะแนนจริง

โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ จัดเป็นโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่รวมค่าเฉลี่ยเชิงโครงสร้าง (Quasi-simplex with structured means) มีกระบวนการวิเคราะห์ด้วย moment matrix ตัวแปรแฝง คือคะแนนเริ่มต้น อัตราพัฒนาการ และคะแนนจริงของการวัดครั้งที่ 1-5 ผลการวิเคราะห์ที่สำคัญ คือ ค่าอิทธิพลของคะแนนจริงแต่ละครั้งที่มีผลต่อคะแนนการวัดในครั้งนั้น จะได้จากสมการการวัด สำหรับสมการโครงสร้างจะได้ ค่าน้ำหนักอิทธิพลของคะแนนจริงจากครั้งหนึ่งที่มีผลต่อคะแนนจริงในครั้งถัดไป และความแปรปรวนของคะแนนจริง ผลการวิเคราะห์ที่จะได้เพิ่มเติมจากโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน คือ ค่าอิทธิพลของอัตราพัฒนาการที่มีต่อคะแนนจริงจากการวัดครั้งที่ 1-5 ซึ่งเป็นผลจากการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ขั้นที่สอง (second order quasi-simplex model)

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตัวแปรพหุ (multivariate change) ผลการวิเคราะห์ที่สำคัญของทุกโมเดล คือ ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นของ 2 คุณลักษณะ ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอัตราพัฒนาการของ 2 คุณลักษณะ ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการของ 2 คุณลักษณะ สำหรับวิธีการวิเคราะห์แต่ละโมเดล มีดังนี้

โมเดลพหุระดับชนิดตัวแปรพหุ วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EQS 5.7B เนื่องจากโปรแกรม HLM 4.11วิเคราะห์ตัวแปรตามได้ครั้งละ 1 ตัวแปรตาม (1 คุณลักษณะ) ไม่สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ 2 ตัวแปรตามพร้อมกันได้ จึงนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากโปรแกรม HLM 4.11 มาสร้างโมเดลโมเดลพหุระดับชนิดตัวแปรพหุ และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EQS 5.7B โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงชนิดตัวแปรพหุ วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EQS 5.7B โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการชนิดตัวแปรพหุ วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EQS 5.7B

ตอนที่ 5 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโมเดลโค้งพัฒฑาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ได้แก่ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดล การเปรียบเทียบค่าประมาณพารามิเตอร์ และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงพัฒนาการ เป็นต้น

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดล

งานวิจัยนี้วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมหลัก 2 โปรแกรมคือ EQS 5.7B และ HLM 4.01 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดล จะพิจารณาเรียงลำดับความสำคัญ ดังนี้

1) ดัชนีรากกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือ (Root mean squared residaul ; RMR) เป็นดัชนีที่ใช้พิจารณาเป็นอันดับแรกเพราะ เป็นค่าที่มีปรากฏทั้งในโปรแกรม EQS 5.7B และ HLM 4.11 ใช้บอกขนาดของความคลาดเคลื่อนในการวัด ความผันแปรของตัวแปรตามที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ โมเดลที่มีค่าต่ำเข้าใกล้ 0 แสดงว่า โมเดลมีประสิทธิภาพ เพราะตัวแปรอิสระมีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามได้สูงมาก

2) ดัชนีที่บอกถึงความคลาดเคลื่อนของโมเดลนอกเหนือจาก RMR ในการเปรียบเทียบกับโมเดลที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EQS 5.7B แล้ว ดัชนี RMSEA (root-mean-squared of error approximation) เป็นดัชนีที่นิยมใช้มาก เพราะบอกถึงขนาดของความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ค่า RMSEA ต่ำเข้าใกล้ 0 แสดงว่า โมเดลมีประสิทธิภาพในการประมาณค่า สำหรับโมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลดี (close fit) คือมีค่าต่ำกว่า 0.05 (Browne and Cudeck, 1993; Hu and Bentler, 1999) ส่วนค่าที่มากกว่า 0.10 แสดงว่าโมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลต่ำ (poor fit) (Cheevatanarak and Schumacker,1999)

3) ค่าสถิติไค-สแควร์ (chi-square ; χ^2) เป็นดัชนีที่ใช้พิจารณาเป็นลำดับที่สอง เพราะ เป็นสถิติที่ใช้ทดสอบสมมุติฐานทางสถิติของโมเดลในภาพรวมทั้งหมด เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม EQS 5.7B ถ้าค่าไค-สแควร์มีค่าที่เข้าใกล้ 0 หรือโมเดลไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ค่าความน่าจะเป็นสำหรับไค-สแควร์ (p-value) มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าโมเดลสอดคล้องกับข้อมูลที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างโมเดลในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าอัตราไค-สแควส์ ซึ่งได้จากอัตราระหว่างไค-สแควส์กับองศาอิสระ ถ้าค่าไค-สแควร์มีค่าที่เข้าใกล้ 0 หรือโมเดลไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าโมเดลสอดคล้องกับข้อมูล

4) ดัชนีวัดระดับความสอดคล้อง (Goodness-of-Fit index ; GFI) เป็นดัชนีที่บอกประสิทธิภาพของโมเดลในภาพรวมทั้งหมด ดัชนีนี้เป็นอัตราส่วนของผลต่างระหว่างฟังก์ชันความสอดคล้องก่อนปรับและหลังปรับโมเดล เมื่อข้อมูลวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EQS 5.7B การนำมาพิจารณาเป็นอันดับสุดท้าย เพราะค่าดัชนีมีความไวต่ำกว่า 3 ดัชนีแรก ช่วงกว้างของดัชนีอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ค่าที่เข้าใกล้ 1 แสดงว่า โมเดลมีประสิทธิภาพสอดคล้องกับข้อมูล สำหรับจุดตัดที่กำหนดว่าโมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูล คือ 0.95 (Shevlin and Miles, 1998 อ้างถึงใน Cribbie and Jamieson, 2000) นอกจากนี้ผู้วิจัยเพิ่มเติมค่าดัชนี CFI (Comparative fit index) อีก 1 ดัชนีเป็นดัชนีที่เหมาะกับการเปรียบเทียบโมเดลที่ประยุกต์ใช้กระบวนวิธีการสมการโครงสร้าง มีหลักเกณฑ์พิจารณาเช่นเดียวกับ ดัชนี GFI

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของความสามารถทางคณิตศาสตร์ 2 คุณลักษณะคือ การคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา จากการวัดนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 5 ครั้งห่างกัน 3 สัปดาห์ สำหรับโมเดลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาว 3 โมเดล คือ โมเดลพหุระดับ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ การนำเสนอข้อมูลแบ่งเป็น 5 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐาน ความสามารถทางคณิตศาสตร์
- 1.1 ค่าสถิติเบื้องต้นของคุณลักษณะการคิดคำนวณ และคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา
- 1.2 การตรวจสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย ของความสามารถทางคณิตศาสตร์ จากการวัด 5 ครั้ง
- 1.3 การตรวจสอบแบบแผนการเปลี่ยนแปลงระยะยาว
- 1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนการวัดการคิดคำนวณ และการแก้โจทย์ปัญหา ในช่วงเวลาต่างๆ

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ สำหรับการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ความสามารถทางคณิตศาสตร์
- 2.1 ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ
- 2.2 ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา
- 2.3 ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างการคิดคำนวณ กับการแก้โจทย์ปัญหา

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง สำหรับการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ความสามารถทางคณิตศาสตร์
- 3.1 ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ
- 3.2 ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา
- 3.3 ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างการคิดคำนวณ กับการแก้โจทย์ปัญหา

ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ สำหรับการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ความสามารถทางคณิตศาสตร์

4.1 ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ

4.2 ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา

4.3 ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างการคิดคำนวณ กับการแก้โจทย์ปัญหา

ตอนที่ 5 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงโมเดลพหุระดับ และ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ

5.1 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงโมเดลพหุระดับ และ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ

5.2 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงโมเดลพหุระดับ และ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา

5.3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงโมเดลพหุระดับ และ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างการคิดคำนวณ กับการแก้โจทย์ปัญหา

สัญลักษณ์ที่ใช้เสนอผลการวิจัย

GCL-EQ คือ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณที่กำหนดค่าเฉพาะของน้ำหนักองค์ประกอบพัฒนาการในการวัด 5 ครั้ง (fixed parameters) และกำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัด 5 ครั้งเท่ากัน (homogeneity)

GCL-1 คือ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณที่ประมาณค่าน้ำหนักองค์ประกอบพัฒนาการในการวัด 5 ครั้ง (free parameters) และความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งไม่เท่ากัน (heterogeneity)

GCL-401 คือ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณที่ประมาณค่าน้ำหนักองค์ประกอบพัฒนาการในการวัด 5 ครั้ง (free parameters) และความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งไม่เท่ากันและสัมพันธ์กัน 4 คู่ (heterogeneity and autocorrelated error)

SLG-EQ คือ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา ที่กำหนดค่าเฉพาะของน้ำหนักองค์ประกอบพัฒนาการในการวัด 5 ครั้ง (fixed parameters) และกำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัด 5 ครั้งเท่ากัน (homogeneity)

SLG-1 คือ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา ที่ประมาณค่าน้ำหนักองค์ประกอบพัฒนาการในการวัด 5 ครั้ง (free parameters) และความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งไม่เท่ากัน (heterogeneity)

GCLSL-EQ คือ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างคุณลักษณะการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา ที่ได้จากการวิเคราะห์โมเดล GCL-EQ ร่วมกับโมเดล SLG-EQ

GCLSL-41 คือ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา ที่ได้จากการวิเคราะห์โมเดล GCL-401 ร่วมกับโมเดล SLG-1

QSM-CL คือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ

QCL-EQ คือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ ที่กำหนดค่าเฉพาะของน้ำหนักองค์ประกอบพัฒนาการในการวัด 5 ครั้ง และกำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัด 5 ครั้งเท่ากัน

QCL-M1 คือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ ที่ประมาณค่าน้ำหนักองค์ประกอบพัฒนาการในการวัด 5 ครั้ง และความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งไม่เท่ากัน

QSM-SL คือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐานชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา

SLQ-EQ คือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว การแก้โจทย์ปัญหา ที่กำหนดค่าเฉพาะของน้ำหนักองค์ประกอบพัฒนาการในการวัด 5 ครั้ง และกำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัด 5 ครั้ง เท่ากัน

SLQ-M3 คือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา ที่ประมาณค่าน้ำหนักองค์ประกอบพัฒนาการในการวัด 5 คร

QCLSL-EQ คือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างคุณลักษณะการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา ได้จากการวิเคราะห์โมเดล QCL-EQ ร่วมกับโมเดล SLQ-EQ

QCLSL-13 คือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างคุณลักษณะการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา ที่ได้จากการวิเคราะห์โมเดล QCL-M1 ร่วมกับโมเดล SLQ-M3

ตัวแปรสังเกตได้

CAL1, CAL2, CAL3 ,CAL4, CAL5 คือ คะแนนการคิดคำนวณ
จากการวัดครั้งที่ 1,2,3,4 และ 5

SOL1, SOL2, SOL3, SOL4, SOL5 คือ คะแนนการแก้โจทย์ปัญหา
จากการวัดครั้งที่ 1,2,3,4 และ 5

ตัวแปรแฝง

INTC คือ คะแนนเริ่มต้น การคิดคำนวณ

SLPC คือ อัตราพัฒนาการหรืออัตราการเปลี่ยนแปลง การคิดคำนวณ

INTS คือ คะแนนเริ่มต้น การแก้โจทย์ปัญหา

SLP-LI คือ อัตราพัฒนาการ(อัตราการเปลี่ยนแปลง)เชิงเส้นตรงการแก้โจทย์ปัญหา

SLP-QD คือ อัตราพัฒนาการ(อัตราการเปลี่ยนแปลง)เชิงเส้นโค้ง การแก้โจทย์ปัญหา

ดัชนีชี้ความตรงของโมเดล วัดระดับความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลในงานวิจัยนี้ คือ

R^2 คือ สัมประสิทธิ์การพยากรณ์

χ^2 คือ ค่าสถิติไค-สแควส์ df คือ ชั้นแห่งความเป็นอิสระ

χ^2/df คือ ค่าอัตราสถิติไค-สแควส์

P คือ ค่าความน่าจะเป็นสำหรับสถิติไค-สแควส์ หรือระดับนัยสำคัญทางสถิติ

GFI คือ ค่าดัชนีวัดความกลมกลืนของโมเดล (Goodness of fit index)

CFI คือ ค่าดัชนีวัดความกลมกลืนเชิงเปรียบเทียบ (Comparative fit index)

RMR คือ รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองส่วนที่เหลือของโมเดล (Root mean squared residual)

RMSEA คือ ความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของโมเดล
(Root mean squared error of approximation)

ค่าประมาณพารามิเตอร์

$\beta_{11}, \beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{14}, \beta_{15}$ คือ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง
(linear change) ในการวัดครั้งที่ 1- 5

$\beta_{21}, \beta_{22}, \beta_{23}, \beta_{24}, \beta_{25}$ คือ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง
(quadratic change) ในการวัดครั้งที่ 1-5

$\Delta\beta_2$, $\Delta\beta_3$, $\Delta\beta_4$, $\Delta\beta_5$ คือ ค่าพัฒนาการเชิงถดถอย (regression slope)ระหว่างคะแนนจริง
ครั้งที่ติดกัน คือ ครั้งที่ 1-2 ; ครั้งที่ 2-3 ;ครั้งที่ 3-4
และครั้งที่ 4- 5 ตามลำดับ ในโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์

Mean(INTC) คือ คะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยของการคิดคำนวณ
Mean(SLPC) คือ อัตราพัฒนาการเฉลี่ยของการคิดคำนวณ
Mean(INTS) คือ คะแนนเริ่มต้น เฉลี่ยของการแก้โจทย์ปัญหา
Mean(SLP-LI) คือ อัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงเฉลี่ยของ การแก้โจทย์ปัญหา
Mean(SLP-QD) คือ อัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งเฉลี่ยของ การแก้โจทย์ปัญหา
VAR(INTC) คือ ความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้น การคิดคำนวณ
VAR(INTS) คือ ความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้น การแก้โจทย์ปัญหา
VAR (SLPC) คือ ความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการ การคิดคำนวณ
VAR(SLP-LI) คือ ความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงการแก้โจทย์ปัญหา
VAR(SLP-QD) คือ ความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งการแก้โจทย์ปัญหา
COR(INTC,SLPC) คือ สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นการคิดคำนวณ กับอัตราพัฒนาการ การคิดคำนวณ
COR(INTC,INTS) คือ สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นการคิดคำนวณ กับคะแนนเริ่มต้นการแก้โจทย์ปัญหา
COR(INTC, SLP-LI) คือ สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นการคิดคำนวณ กับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงการแก้โจทย์ปัญหา
COR(INTC, SLP-QD) คือ สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นการคิดคำนวณ กับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง การแก้โจทย์ปัญหา
COR(SLPC,INTS) คือ สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราพัฒนาการ การคิดคำนวณ กับคะแนนเริ่มต้นการแก้โจทย์ปัญหา
COR(SLPC,SLP-LI) คือ สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราพัฒนาการ การคิดคำนวณ กับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง การแก้โจทย์ปัญหา
COR(SLPC,SLP-QD) คือ สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราพัฒนาการ การคิดคำนวณ กับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง การแก้โจทย์ปัญหา
COR(INTS, SLP-LI) คือ สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นการแก้โจทย์ปัญหา กับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง การแก้โจทย์ปัญหา
COR(INTS, SLP-QD) คือ สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นการแก้โจทย์ปัญหา กับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง การแก้โจทย์ปัญหา
COR(SLP-LI, SLP-QD) คือ สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง กับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง การแก้โจทย์ปัญหา

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของความสามารถทางคณิตศาสตร์

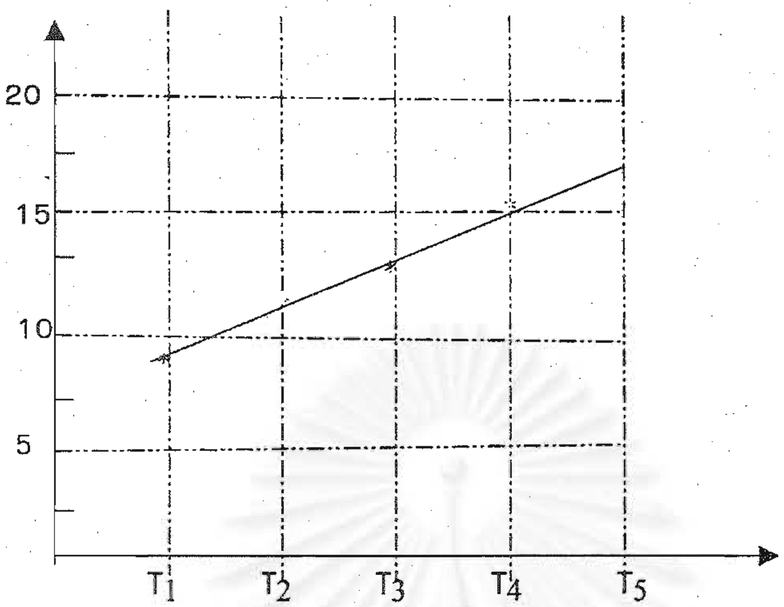
1.1 ค่าสถิติเบื้องต้นคุณลักษณะการคิดคำนวณ และการแก้โจทย์ปัญหา

ตารางที่ 11 ค่าสถิติเบื้องต้นที่ได้จากการวัดคุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน

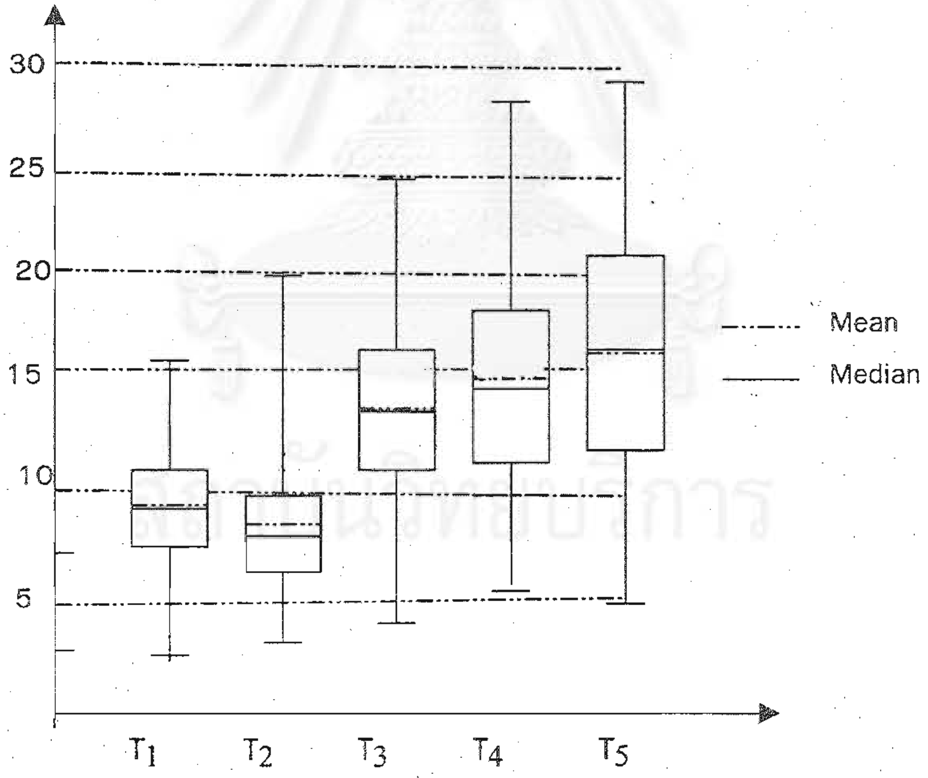
ค่าสถิติ	การคิดคำนวณ				
	CAL1	CAL2	CAL3	CAL4	CAL5
ค่าเฉลี่ย	9.403	10.991	12.915	15.493	17.536
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.244	3.855	4.583	5.601	5.714
สัมประสิทธิ์การกระจาย	34.50	35.02	35.48	36.86	32.58
คะแนนสูงสุด	20	23	25	31.22	31
คะแนนต่ำสุด	2	3	3	4.22	4
คะแนนมัธยฐาน	9.000	10.000	13.000	14.22	18.000
ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน*	0.15	0.18	0.22	0.27	0.27
ความโด่ง	0.459	-.035	-0.228	0.202	-0.657
ความเบ้	0.634	0.571	0.454	0.752	0.021
จำนวนผู้เข้าสอบ	464	459	460	445	449
ร้อยละของผู้เข้าสอบ	98.9	97.9	98.1	94.9	95.7
ค่าความเที่ยง	0.724	0.729	0.743	0.762	0.785

*ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของคะแนนเฉลี่ยในช่วงความเชื่อมั่นระดับ 95%

เมื่อพิจารณาค่าสถิติความสามารถทางคณิตศาสตร์ พบว่า คะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะการคิดคำนวณทางคณิตศาตร์ จากการวัดครั้งที่ 1-5 เพิ่มขึ้นตามลำดับ คือ 9.403, 10.991, 12.915, 15.493 และ 17.536 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการวัดครั้งที่ 1-5 ก็มีค่าเพิ่มตามลำดับเช่นกัน คือ 3.244, 3.855, 4.583, 5.601 และ 5.714 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายในการวัดครั้งที่ 1-5 ประมาณร้อยละ 34, 35, 35, 37 และ 33 ตามลำดับ สำหรับความคลาดเคลื่อนของคะแนนเฉลี่ยช่วงความเชื่อมั่นระดับ 95% ในการสอบครั้งที่ 1-5 เพิ่มขึ้นตามลำดับ คือ เท่ากับ 0.15, 0.18, 0.22, 0.27 และ 0.27 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการแจกแจงของคะแนนการวัดทั้ง 5 ครั้ง ค่าความโด่งเท่ากับ 0.459,-0.035, -0.228, 0.202 และ -0.657 ตามลำดับ และค่าความเบ้ เท่ากับ 0.634, 0.571, 0.454, 0.752 และ 0.021 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับ 0 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มคะแนนการวัดแต่ละครั้งมีการแจกแจงใกล้เคียงกับโค้งปกติ



ภาพที่ 12 แนวโน้มคะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัดจำนวน 5 ครั้ง ในช่วงเวลาที่ต่างกัน



ภาพที่ 13 ช่วงคะแนนคุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ระหว่างเปอร์เซนไทล์ที่ 25 ถึงเปอร์เซนไทล์ที่ 75 จากการวัด 5 ครั้ง ในช่วงเวลาที่ต่างกัน

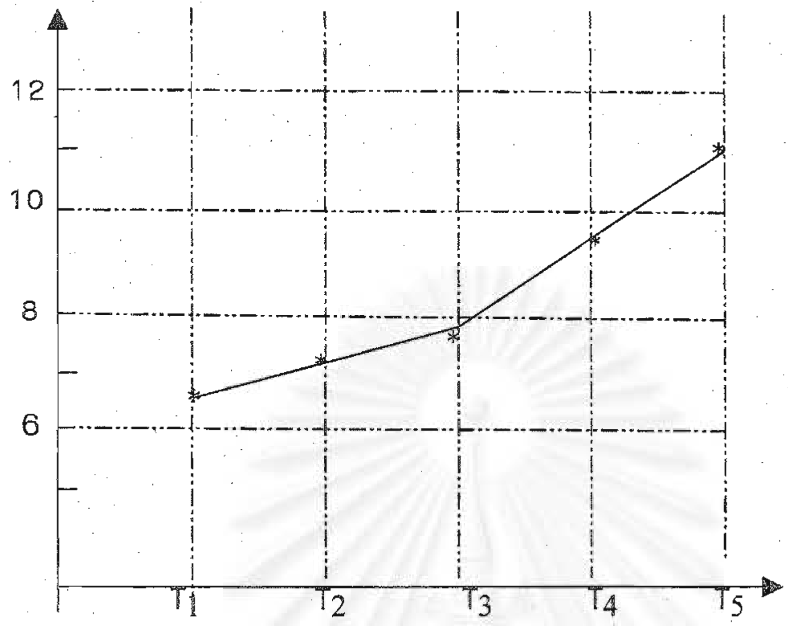
ตารางที่ 12 ค่าสถิติเบื้องต้นที่ได้จากการวัดคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง ในช่วงเวลาต่างกัน

ค่าสถิติ	การแก้โจทย์ปัญหา				
	SOL1	SOL2	SOL3	SOL4	SOL5
ค่าเฉลี่ย	6.886	7.425	7.830	9.637	10.982
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.714	2.709	2.803	3.535	3.814
สัมประสิทธิ์การกระจาย	39.41	36.48	35.80	36.63	34.72
คะแนนสูงสุด	15	18	16	19	22
คะแนนต่ำสุด	0	2	1	2	4
คะแนนมัธยฐาน	7.000	7.000	8.000	9.500	10.000
ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน*	0.13	0.13	0.13	0.17	0.18
ความโด่ง	0.138	0.627	-0.135	-0.620	-0.492
ความเบ้	0.105	0.707	0.446	0.209	0.439
จำนวนผู้เข้าสอบ	464	459	460	445	449
ร้อยละของผู้เข้าสอบ	98.9	97.9	98.1	94.9	95.7
ค่าความเที่ยง	0.688	0.681	0.716	0.739	0.753

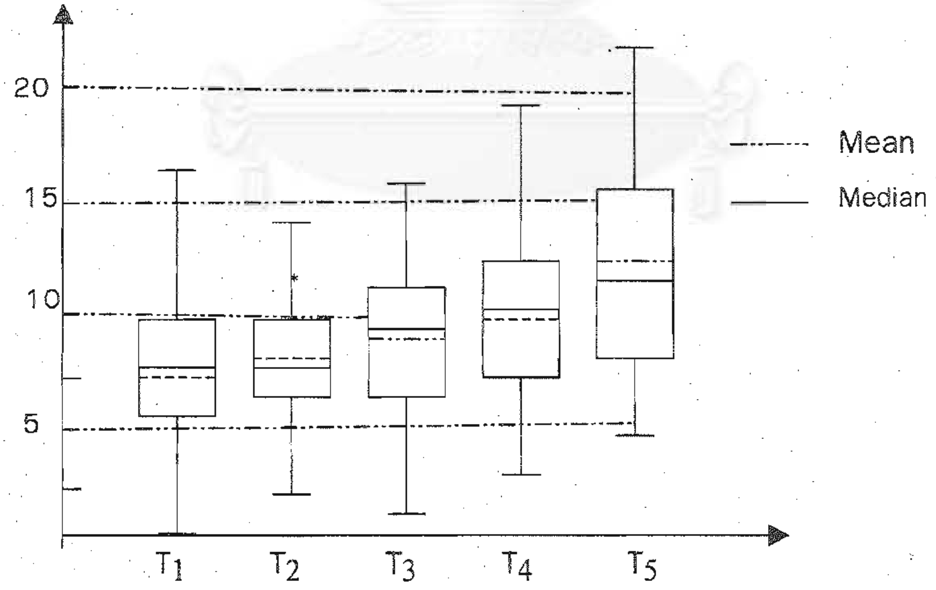
*ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของคะแนนเฉลี่ยในช่วงความเชื่อมั่นระดับ 95%

ค่าสถิติเบื้องต้นของการแก้โจทย์ปัญหา พบว่า คะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาจากการวัดครั้งที่ 1-5 เพิ่มขึ้นตามลำดับ คือ 6.886, 7.425, 7.830, 9.637 และ 10.982 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการวัดครั้งที่ 1-5 ก็มีค่าเพิ่มตามลำดับเช่นกัน คือ 2.714, 2.709, 2.803, 3.535 และ 3.814 ตามค่าสัมประสิทธิ์การกระจายในการวัดครั้งที่ 1-5 ประมาณร้อยละ 39, 36, 36, 37 และ 35 ตามลำดับ สำหรับความคลาดเคลื่อนของคะแนนเฉลี่ยช่วงความเชื่อมั่นระดับ 95% ในการสอบครั้งที่หนึ่งถึงครั้งที่ 5 มีค่าใกล้เคียงกัน คือเท่ากับ 0.13, 0.13, 0.13, 0.17 และ 0.18 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการแจกแจงของคะแนนการวัดทั้ง 5 ครั้งพบว่าค่าความโด่งเท่ากับ 0.138, 0.627, -0.135, -0.620 และ -0.492 ตามลำดับ และค่าความเบ้ เท่ากับ 0.105, 0.707, 0.446, 0.209 และ 0.439 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับ 0 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มคะแนนการวัดแต่ละครั้งมีการแจกแจงใกล้เคียงกับโค้งปกติ

สำหรับจำนวนผู้เข้าสอบครั้งที่1 ถึง ครั้งที่ 5 เท่ากับ 98.9, 97.9, 98.1, 94.9 และ 95.7 ตามลำดับ จะเห็นว่าในการสอบ 3 ครั้งแรกมีจำนวนใกล้เคียงกัน เข้าสอบประมาณร้อยละ 98-99 ส่วนครั้งที่ 4 และ 5 เข้าสอบลดลงประมาณร้อยละ 95-96 ค่าความเที่ยงของแบบสอบจากการวัดคุณลักษณะการคิดคำนวณครั้งที่ 1-5 มีค่าระหว่าง 0.72- 0.78 ส่วนค่าความเที่ยงของแบบสอบจากการวัดคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาครั้งที่ 1-5 มีค่าระหว่าง 0.68- 0.75



ภาพที่ 14 แนวโน้มคะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะวัดการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัดจำนวน 5 ครั้ง ในช่วงเวลาที่ต่างกัน



ภาพที่ 15 ช่วงคะแนนคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ระหว่างเปอร์เซนไทล์ที่ 25 ถึงเปอร์เซนไทล์ที่ 75 จากการวัด 5 ครั้ง ในช่วงเวลาที่ต่างกัน

1.2 การตรวจสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความสามารถทางคณิตศาสตร์

ผู้วิจัยตรวจสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะการคิดคำนวณ จากการวัดครั้งที่ 1-5 ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (Repeated ANOVA) เพื่อตรวจสอบว่าการเปลี่ยนแปลงของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ตามจำนวนครั้งของการวัด โดยกำหนดเวลาเป็นตัวแปรอิสระ ผลการวิเคราะห์นำเสนอในตารางที่ 13-14

ตารางที่ 13 ผลการทดสอบความแตกต่างคะแนนเฉลี่ยของการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน

Source of Variation	Sum of Square	df	Mean Square	F	Noncent parameter	Observed power
factor	17184.101	4	4296.025	392.606**	1570.543	1.00
Error	17243.810	1576	10.942			

ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยคุณลักษณะการคิดคำนวณจากการวัด 5 ครั้ง พบว่าค่าสถิติทดสอบเอฟ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (F=392.606) แสดงให้เห็นว่า ช่วงเวลาในการวัดมีผลทำให้คะแนนการวัดการคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์แต่ละครั้งแตกต่างกัน

ตารางที่ 14 ผลการทดสอบความแตกต่างคะแนนเฉลี่ยของการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน

Source of Variation	Sum of Square	df	Mean Square	F	Noncent parameter	Observed power
factor	4762.365	4	1181.591	169.509**	678.038	1.00
Error	11487.635	1648	6.971			

สำหรับทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ จากการวัด 5 ครั้ง พบว่า ค่าสถิติทดสอบเอฟ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 เช่นกัน (F=169.509) แสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาในการวัดมีผลทำให้คะแนนการวัดการแก้โจทย์ปัญหาแต่ละครั้งแตกต่างกัน

1.3 การตรวจสอบแบบแผนการเปลี่ยนแปลงระยะยาว

การตรวจสอบแบบแผนการเปลี่ยนแปลงระยะยาวด้านการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา หลักการสำคัญคือ การเลือกลำดับโพลิโนเมียลที่ต่ำที่สุดที่จะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ(เวลา) และตัวแปรตาม (คะแนนการวัด) ได้ดีที่สุด จากภาพช่วงคะแนนการวัดและแนวโน้มค่าเฉลี่ยของการวัดคุณลักษณะการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหาจากการวัดทั้ง 5 ครั้ง จะเห็นว่าแบบแผนการเปลี่ยนแปลงระยะยาวน่าจะเป็นไปได้ใน 2 แบบแผน คือ แบบแผนเส้นตรง (linear pattern) หรือแบบแผนไม่ใช่เส้นตรง (quadratic or nonlinear pattern)

การทดสอบแบบแผนการเปลี่ยนแปลงระยะยาวแต่ละคุณลักษณะทางคณิตศาสตร์มี 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกทดสอบว่าการวิเคราะห์ถดถอยโพลิโนเมียลลำดับสองมีความเหมาะสมหรือไม่ หากพบว่าผลการวิเคราะห์มีนัยสำคัญทางสถิติแสดงว่าโพลิโนเมียลลำดับสองเหมาะสม นั่นคือคุณลักษณะนั้นมีแบบแผนไม่ใช่เส้นตรง แต่หากพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าโพลิโนเมียลลำดับสองไม่เหมาะสม ขั้นตอนที่สองจะทดสอบนัยสำคัญของการวิเคราะห์ถดถอยโพลิโนเมียลลำดับหนึ่ง หากผลการวิเคราะห์มีนัยสำคัญทางสถิติ คุณลักษณะนั้นมีแบบแผนเป็นเส้นตรง การทดสอบสมมติฐานแต่ละแบบแผน ใช้การทดสอบ F ต่อเนื่องและ t ต่อเนื่อง นอกจากนั้นความเหมาะสมของลำดับโพลิโนเมียลพิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด **(R-square)** และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า หากพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดของสมการโพลิโนเมียลกำลังสองและกำลังหนึ่งไม่แตกต่างกัน ก็จะเลือกรูปแบบโพลิโนเมียลกำลังหนึ่งซึ่งมีลำดับที่ต่ำกว่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์แบบแผนการเปลี่ยนแปลงระยะยาว การคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน

15.1 ผลการวิเคราะห์แบบแผนการถดถอยเชิงเส้นโค้ง (nonlinear regression)

	Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig
Regression	19309.40	2	9654.70	439.730**	0.00
Residual	50037.64	2279	21.95		
R-square = 0.28	**standard error of estimate = 4.69**				
variables	Coefficients		STD. error	t	Sig
Intercept	8.003		0.47		0.00
Time	1.243		0.36	3.477**	0.00
Time**2	0.134		0.06	2.294*	0.02

15.2 ผลการวิเคราะห์แบบแผนการถดถอยเชิงเส้นตรง (linear regression)

	Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig
Regression	19193.88	1	19193.88	872.57**	0.00
Residual	50153.16	2280	21.99		
R-square = 0.28	**standard error of estimate = 4.69**				
variables	Coefficients		STD. error	t	Sig
Intercept	7.067				
Time	2.048		0.069	29.539**	0.00

ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EQS พบว่า คุณลักษณะการคิดคำนวณ ค่าสถิติ F ของการวิเคราะห์ถดถอยทั้งแบบแผนไม่ใช่เส้นตรง (F=439.73) และแบบแผนเส้นตรง (F=872.57) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 สำหรับค่าสถิติ t ที่ทดสอบค่าน้ำหนักตัวพยากรณ์กำลังหนึ่ง พบว่าทั้ง 2 แบบแผนมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (t=3.47 และ t=29.54 ตามลำดับ) ส่วนค่าน้ำหนักตัวพยากรณ์กำลังสองแบบแผนไม่ใช่เส้นตรง ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (t=2.294) คุณลักษณะการคิดคำนวณจึงมีแบบแผนการเปลี่ยนแปลงระยะยาวแบบเส้นตรง เนื่องจากสัมประสิทธิ์การพยากรณ์เท่ากัน คือ 0.28 และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานการประมาณค่าเท่ากัน คือ 4.69 ซึ่งจะกำหนดลำดับสูงสุดในสมการโพลีโนเมียลเป็นกำลังหนึ่งในการวิเคราะห์โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวต่อไป

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์แบบแผนการเปลี่ยนแปลงระยะยาว การแก้โจทย์ปัญหาวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน

16.1 การวิเคราะห์แบบแผนการถดถอยเชิงเส้นโค้ง (nonlinear regression)

	Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig
Regression	5494.251	2	2747.125	270.175**	0.00
Residual	23101.595	2272	10.168		
R-square = 0.19 standard error = 3.19					

variables	Coefficients	STD. error	t	Sig
Intercept	7.057	0.319		
Time	-0.360	0.243	-1.478	0.14
Time**2	0.237	0.040	5.952**	0.00

16.2 ผลการวิเคราะห์แบบแผนการถดถอยเชิงเส้นตรง (linear regression)

	Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig
Regression	5134.017	1	5134.017	497.387**	0.00
Residual	23461.829	2273	10.322		
R-square = 0.18 standard error = 3.21					

variables	Coefficients	STD. error	t	Sig
Intercept	5.403	0.157		
Time	1.062	0.048	22.302**	0.00

สำหรับคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา ค่าสถิติ F ของการวิเคราะห์ถดถอยทั้งแบบแผนเส้นตรง (F=497.38) และแบบแผนไม่ใช่เส้นตรง (F=270.17) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 สำหรับค่าสถิติ t ที่ทดสอบค่าน้ำหนักตัวพยากรณ์กำลังหนึ่งแบบแผนเส้นตรง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (t=22.302) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแบบแผนไม่ใช่เส้นตรงที่ระดับ .01 (t=-1.478) และค่าน้ำหนักตัวพยากรณ์กำลังสองแบบแผนไม่ใช่เส้นตรง กลับพบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (t=5.952) ค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์แบบแผนไม่ใช่เส้นตรงสูงกว่าแบบแผนเส้นตรงคือเท่ากับ 0.19 และ 0.18 ตามลำดับ รวมถึงความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบแผนไม่ใช่เส้นตรงก็ต่ำกว่าแบบแผนเส้นตรงด้วย คือ เท่ากับ 0.21 และ 0.19 ตามลำดับ ดังนั้นการแก้โจทย์ปัญหาจึงมีแบบแผนการเปลี่ยนแปลงระยะยาวแบบไม่ใช่เส้นตรง ซึ่งจะกำหนดลำดับสูงสุดในสมการโพลีโนเมียลเป็น 2 ในการวิเคราะห์โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวต่อไป

1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความสามารถทางคณิตศาสตร์ จากการวัด 5 ครั้ง

ตารางที่ 17 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณลักษณะการคิดคำนวณ และการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน

r	CAL1	CAL2	CAL3	CAL4	CAL5	SOL1	SOL2	SOL3	SOL4	SOL5
CAL1	1.00									
CAL2	.455**	1.00								
CAL3	.393**	.680**	1.00							
CAL4	.209**	.523**	.690**	1.00						
CAL5	.274**	.454**	.626**	.786**	1.00					
SOL1	.208**	.130**	.113*	.133**	.098	1.00				
SOL2	.287**	.201**	.240**	.144**	.144**	.390**	1.00			
SOL3	.199**	.101*	.164**	.161**	.153**	.160**	.393**	1.00		
SOL4	.278**	.463**	.549**	.613**	.547**	.204**	.294**	.314**	1.00	
SOL5	.302**	.461**	.487**	.516**	.562**	.191**	.317**	.250**	.599**	1.00

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนที่ได้จากการวัดคุณลักษณะการคิดคำนวณในช่วงเวลาต่างๆ 5 ครั้ง ด้วยโปรแกรม EQS พบว่า ความสัมพันธ์รายคู่ของคะแนนการวัดทั้ง 5 ครั้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ทุกคู่ คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์รายคู่ตั้งแต่ 0.209-0.786 โดยที่สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์รายคู่ที่มีค่าค่อนข้างสูงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างการวัดครั้งที่ 2 ,3, 4 ถึงครั้งที่ 5 (0.454 - 0.786) โดยเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างการวัดครั้งที่ 4 และ 5 มีค่าสูงสุด ส่วนความสัมพันธ์รายคู่ระหว่างการวัดครั้งที่ 1 กับครั้งอื่นๆ มีค่าตั้งแต่ 0.209-0.455 สำหรับคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาที่วัดในช่วงเวลาต่างๆ 5 ครั้ง พบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 คือ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง 0.160- 0.599 แทบทั้งหมดมีค่าต่ำกว่า 0.4 ยกเว้นความสัมพันธ์ระหว่างครั้งที่ 4 กับครั้งที่ 5 ที่มีค่า 0.599 เพียงคู่เดียวเท่านั้น

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ข้ามคุณลักษณะทางคณิตศาสตร์ที่วัด 5 ครั้ง ระหว่างการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา จำนวน 25 คู่ พบว่า มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .01 จำนวน 21 คู่ คือมีค่าความสัมพันธ์ตั้งแต่ 0.133 - 0.613 เป็นที่น่าสังเกตว่าความสัมพันธ์รายคู่ระหว่างการแก้โจทย์ปัญหา ครั้งที่ 4 และ 5 กับการคิดคำนวณครั้งที่ 3 ถึง 5 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกว่า 0.487 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .05 มีจำนวน 2 คู่ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างการแก้โจทย์ปัญหาครั้งที่ 1 กับการคิดคำนวณครั้งที่ 5 ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติคือมีค่า 0.098

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ ในการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว

โมเดลนี้มีการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวเป็น 2 ระดับคือ ระดับแรกเป็นโมเดลการวัดซ้ำการเปลี่ยนแปลงภายในบุคคลแต่ละบุคคลจากการวัด 5 ครั้ง เมื่อเวลาเป็นตัวพยากรณ์ จะได้ค่าอิทธิพลของเวลาที่มีต่อคะแนนการวัดคือ อัตราพัฒนาการ และค่าอิทธิพลของตัวคงที่ที่มีต่อคะแนนการวัดคือ คะแนนเริ่มต้นหรือคะแนนเริ่มต้น สำหรับระดับที่ 2 เป็นโมเดลระหว่างบุคคลหรือการเปลี่ยนแปลงเป็นกลุ่ม

การวิเคราะห์โมเดลนี้ด้วยโปรแกรม HLM สามารถสร้างมาตรของตัวพยากรณ์ 3 แบบ คือ 1 โมเดลตัวแปรตามเป็นฟังก์ชันที่ไม่เกี่ยวข้องกับค่าเฉลี่ยของตัวพยากรณ์ (uncentered model) 2. โมเดลตัวแปรตามเป็นฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับค่าเฉลี่ยของตัวพยากรณ์ระดับที่ 2 (group centered model) และ 3. โมเดลที่ตัวแปรตามเป็นฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับค่าเฉลี่ยรวมของตัวพยากรณ์ (grand centered model) แต่ละโมเดลจะได้ค่า คะแนนเริ่มต้น ต่างกัน ในที่นี้จึงวิเคราะห์เปรียบเทียบทั้ง 3 โมเดล ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับเชิงเส้นตรงชนิดตัวแปรเดี่ยว การคิดคำนวณวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่2 จากการวัด 5 ครั้ง

parameter	Fixed effect Coefficient	standard error	t-ratio	Random Level 1 Reliabillity
1.uncentered model				
initial status B_{00}	7.429**	0.176	42.175	0.436
linear change B_{10}	1.810**	0.069	25.874	0.665
2.group centered model				
initial status B_{00}	12.819**	0.172	74.630	0.892
linear change B_{10} group centered	1.802**	0.069	25.937	0.667
3. grand centered model				
initial status B_{00}	12.825**	0.171	75.109	0.887
linear change B_{10}	1.810**	0.069	25.871	0.665

parameter	Random effect Coefficient	% variation	χ^2 (df=468)
1.uncentered model			
var(INTC) U_0	6.352**	42.16	828.91
var(SLPC) U_1	1.526**	10.13	1415.18
var(ERROR) E	7.819	47.71	
2. group centered model			
var(INTC) U_0	12.305**	58.53	4331.26
var(SLPC) U_1	1.536**	7.31	1416..82
var(ERROR) E	7.181	34.16	
3. grand centered model			
var(INTC) U_0	12.128**	58.19	4227.04
var(SLPC) U_1	1.526**	7.32	1415.09
var(ERROR) E	7.189	34.49	

var($R_{null\ model}$) = 19.176

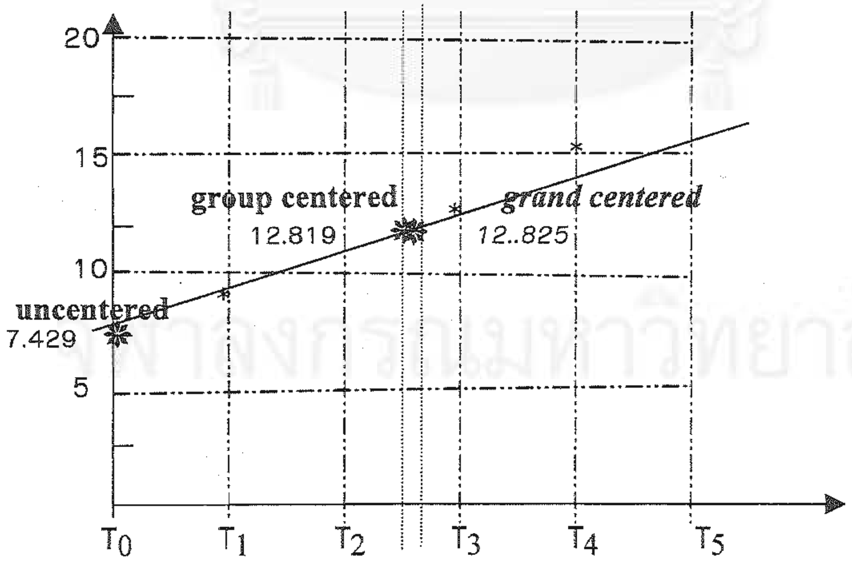
1. uncentered model cor(INTC, SLPC) = -0.419 R^2 = 0.625

2. group centered model cor(INTC, SLPC) = 0.749 R^2 = 0.625

3. grand centered model cor(INTC, SLPC) = 0.754 R^2 = 0.625

ผลการวิเคราะห์พบว่า ทั้งโมเดล uncentered โมเดล group centered และโมเดล grand centered มีประสิทธิภาพของโมเดลเท่ากัน คือสัมประสิทธิ์การพยากรณ์เท่ากับ 0.625 โมเดล uncentered ส่วนที่เป็นอิทธิพลคงที่พบว่า คะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยของคุณลักษณะการคิดคำนวณ เท่ากับ 7.430 อัตราพัฒนาการเฉลี่ยเท่ากับ 1.810 ส่วนที่เป็นอิทธิพลสุ่มพบว่า ความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้นเท่ากับ 6.352 คิดเป็นร้อยละ 42 ของความผันแปรทั้งหมด ความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการ เท่ากับ 1.526 คิดเป็นร้อยละ 10 ของความผันแปรทั้งหมด ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนการวัดคือ 7.819 ทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเท่ากับ -0.419

สำหรับโมเดลที่สอง group centered และโมเดลที่สาม grand centered พบว่า ทั้งส่วนที่เป็นอิทธิพลคงที่และอิทธิพลสุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน กล่าวคือ คะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยของคุณลักษณะการคิดคำนวณทั้ง 2 โมเดลเท่ากับ 12.819 และ 12. 825 ตามลำดับ อัตราพัฒนาการเฉลี่ยของ 2 โมเดลเท่ากับ 1.802 และ 1.810 ตามลำดับ ทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ค่าความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้นของ 2 โมเดลเท่ากับ 12.305 และ 12.128 ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 58 ของความผันแปรทั้งหมดเช่นกัน สำหรับค่าความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการของ 2 โมเดลนี้ มีค่าเท่ากับ 1.536 และ 1.526 ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 7 ของความผันแปรทั้งหมดเช่นกัน ค่าประมาณทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 สำหรับความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดของ 2 โมเดล คือ 7.181 และ 7.189 ตามลำดับ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการทั้ง 2 โมเดล เท่ากับ 0.749 และ 0.753 ตามลำดับ สำหรับความผันแปรของคะแนนเบี่ยงเบนของนักเรียนเมื่อยังมิได้กำหนดตัวแปรอิสระ (null model) เท่ากับ 19.176



ภาพที่ 16 การเปรียบเทียบประมาณค่าคะแนนเริ่มต้นของโมเดลพหุระดับ 3 โมเดล ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน

2.2 ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับชนิดตัวแปรเดี่ยว การแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่2 จากการวัด 5 ครั้ง

parameter	Fixed effect Coefficient	S.E.	t-ratio	Random Level 1 Reliabillity
1.uncentered model				
initial status B_{00}	7.096**	0.260	27.777	0.227
linear change B_{10}	-0.396*	0.195	-2.032	0.194
quadratic change B_{20}	0.243**	0.032	7.499	0.216
2.group centered model				
initial status B_{00}	8.560**	0.099	86.153	0.768
linear change B_{10}	-0.392*	0.195	-2.007	0.193
quadratic change B_{20}	0.242**	0.032	7.452	0.216
3. grand centered model				
initial status B_{00}	8.567**	0.099	86.378	0.750
linear change B_{10}	-0.396*	0.193	-2.033	0.192
quadratic change B_{20}	0.243**	0.032	7.499	0.215

parameter	Random effect Coefficient	%variation	χ^2	R^2 Of model
1.uncentered model				0.4888
var(INTS) U_0	7.296**	45.36	607.72	
var(SLP-LI) U_1	3.521**	21.89	584.59	
var(SLP-QD) U_2	0.109**	0.68	604.63	
var(ERROR) E	5.158	32.07		
2. group centered model				0.4842
var(INTS) U_0	3.550**	28.81	2033.74	
var(SLP-LI) U_1	3.502**	28.43	584.34	
var(SLP-QD) U_2	0.108**	0.88	604.39	
var(ERROR) E	5.160	41.88		
3. grand centered model				0.4841
var(INTS) U_0	3.518**	28.86	2011.45	
var(SLP-LI) U_1	3.486**	28.40	584.19	
var(SLP-QD) U_2	0.108**	0.88	604.30	
var(ERROR) E	5.162	42.06		

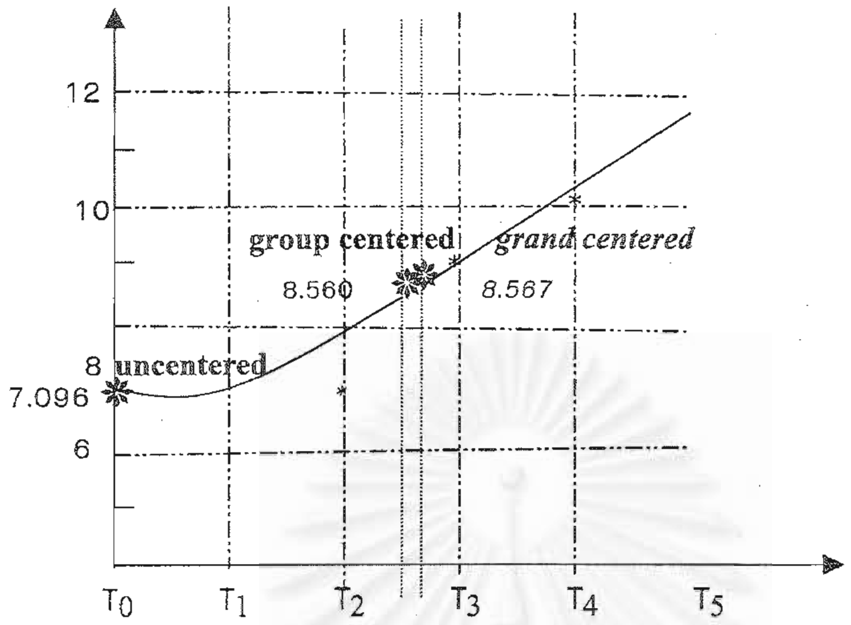
$var(R_{null\ model})$ =10.0046	Correlation INTS, SLP-LI	INTS, SLP-QD	SLP-LI ,SLP-QD
1. uncentered	-0.816	0.706	-0.922
2. group centered	0.040	0.183	-0.922
3. grand centered	0.043	0.184	-0.921

ผลการวิเคราะห์พบว่า ทั้งโมเดล uncentered โมเดล group centered และโมเดล grand centered มีประสิทธิภาพของโมเดลใกล้เคียงกัน คือมีค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์อยู่ช่วง0. 481-0.488 โดยที่โมเดล uncentered สูงสุด แต่มากกว่าอีก 2 โมเดลเพียงเล็กน้อย เล็กน้อย

โมเดลแรก uncentered ส่วนที่เป็นอิทธิพลคงที่ พบว่า คะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยของการแก้โจทย์ปัญหาเท่ากับ 7.096 อัตราพัฒนาการเฉลี่ยเชิงเส้นตรงเท่ากับ -0.396, อัตราพัฒนาการเฉลี่ยเชิงเส้นโค้งเท่ากับ 0.243 ทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ส่วนที่เป็นอิทธิพลสุ่ม พบว่า ค่าความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้นคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาเท่ากับ 7.296 คิดเป็นร้อยละ 45 ของความผันแปรทั้งหมด ค่าความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงเท่ากับ 3.521 อัตราพัฒนาการเฉลี่ยเชิงเส้นโค้งเท่ากับ 0.109 คิดเป็นร้อยละ 22 และ 0.7 ของความผันแปรทั้งหมดตามลำดับ ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดคือ 5.158 ทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเท่ากับ -0.419

โมเดลที่สอง group centered และโมเดลที่สาม grand centered พบว่า ทั้งส่วนที่เป็นอิทธิพลคงที่และอิทธิพลสุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน กล่าวคือ ส่วนอิทธิพลคงที่นั้น คะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยของคุณลักษณะการคิดคำนวณทั้ง 2 โมเดลเท่ากับ 8.560 และ 8.567 ตามลำดับ อัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงเฉลี่ยของ 2 โมเดลเท่ากับ , -0.392 และ -0.396 ตามลำดับ อัตราพัฒนาการเฉลี่ยเชิงเส้นโค้งของ 2 โมเดลเท่ากับ 0.242 และ 0.243 ตามลำดับ ทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ส่วนที่เป็นอิทธิพลสุ่ม พบว่า ค่าความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้นของ 2 โมเดลเท่ากับ 3.550 และ 3.518 ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 29 ของความผันแปรทั้งหมดเช่นกัน สำหรับค่าความผันแปรของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงของ 2 โมเดลเท่ากับ 3.503 และ 3.486 ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 28 ของความผันแปรทั้งหมด ส่วนความผันแปรของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งของ 2 โมเดลเท่ากันคือ 0.108 คิดเป็นร้อยละ 0.8-0.9 ของความผันแปรทั้งหมด สำหรับความแปรปรวนของคะแนนคลาดเคลื่อนการวัดของ 2 โมเดลเท่ากับ 5.160 และ 5.162 ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิทธิพล 3 คู่ ของโมเดล uncentered โมเดล group centered และโมเดล grand centered ได้ผลดังนี้ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงเท่ากับ -0.816, 0.040 และ 0.043 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง เท่ากับ 0.706, 0.183 และ 0.184 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง มีค่าใกล้เคียงกันมาก คือ -0.922 ,-0.922 และ -0.921 ตามลำดับ สำหรับค่าความผันแปรของคะแนนเบี่ยงเบนของนักเรียนเมื่อยังมิได้กำหนดตัวแปรอิสระ (null model)เท่ากับ 10.0046 ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ของทั้ง 3 โมเดล คือ 0.4888, 0.4842 และ 0.4841 ตามลำดับ



ภาพที่ 17 การเปรียบเทียบประมาณค่าคะแนนเริ่มต้นของโมเดลพหุระดับ 3 โมเดล ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน

2.3 ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างการคิดคำนวณ และ การแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ด้วยโปรแกรม EQS

พารามิเตอร์	Uncentered model		group centered model		grand centered model	
	CAL	SOL	CAL	SOL	CAL	SOL
β_{21}	0	0	0	0	0	0
β_{22}	1	1	1	1	1	1
β_{23}	2	2	2	2	2	2
β_{24}	3	3	3	3	3	3
β_{25}	4	4	4	4	4	4
β_{31}		0		0		0
β_{32}		1		1		1
β_{33}		4		4		4
β_{34}		9		9		9
β_{35}		16		16		16
COR(INTC,SLPC)	-0.419		-0.230		0.577	
COR(INTC,INTS)	0.149		0.309		0.852	
COR(INTC,SLP-LI)	0.107		0.061		-0.248	
COR(INTC,SLP-QD)	-0.045		0.114		0.490	
COR(SLPC,INTS)	-0.010		-0.246		0.483	
COR(SLPC,SLP-LI)	0.098		0.183		-0.262	
COR(SLPC,SLP-QD)	0.374		0.088		0.548	
COR(INTS,SLP-Li)	-0.816		-0.767		0.043	
COR(INTS,SLP-QD)	0.693		0.684		0.184	
COR(SLP-Li, SLP-QD)	-0.903		-0.900		-0.921	
CHI-SQUARE (df)	510.990 (56)		807.200 (56)		774.256 (56)	
CHI-SQUARE /df	9.125		14.414		13.826	
P	0.001		0.001		0.001	
CFI	0.7663		0.622		0.640	
GFI	0.874		0.792		0.789	
RMR	2.623		5.958		19.727	
RMSEA	0.135		0.173		0.166	

จากการนำผลวิเคราะห์โมเดลพหุระดับชนิดตัวแปรเดี่ยว ที่ได้จากโปรแกรม HLM ทั้งด้านการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา มาวิเคราะห์ชนิดตัวแปรพหุด้วยโปรแกรม EQS โดยคงค่าประมาณพารามิเตอร์เดิม (fixed parameter) ไว้ทั้งหมด แต่ไม่สามารถประมวลผลได้จึงต้องประมาณค่าบางพารามิเตอร์ใหม่ (free parameter) เท่าที่จำเป็น แต่จะกระทำเพียง 1-2 พารามิเตอร์ และพยายามปรับโมเดลให้สอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูล แต่พบว่าทั้ง 3 โมเดลยังมีค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลสูง จึงยังไม่สอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูล ผลการวิเคราะห์พบว่า โมเดลแรก **uncentered** มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าโมเดลอื่นๆ คือ อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 9.125 ($\chi^2_{56, 0.001}$ =510.990) ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ ดัชนี CFI และ GFI มีค่าเท่ากับ 0.766 และ 0.874 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของโมเดล (RMR) และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า (RMSEA) เท่ากับ 2.623 และ 0.135 ตามลำดับ สำหรับโมเดลที่สอง **group centered** มีอัตราไค-สแควส์ เท่ากับ 14.414 ($\chi^2_{56, 0.001}$ = 807.200) ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ ดัชนี CFI และ GFI มีค่าเท่ากับ 0.622 และ 0.792 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของโมเดล (RMR) และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า (RMSEA) เท่ากับ 5.958 และ 0.173 ตามลำดับ สำหรับโมเดลที่สาม **grand centered** มีอัตราไค-สแควส์ เท่ากับ 13.826 ($\chi^2_{56, 0.001}$ = 774.256) ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ ดัชนี CFI และ GFI มีค่าเท่ากับ 0.640 และ 0.789 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของโมเดล (RMR) และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า (RMSEA) เท่ากับ 19.727และ 0.166 ตามลำดับ ในที่นี้จึงใช้ผลจากโมเดล **uncentered** เป็นตัวแทนของผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับชนิดตัวแปรพหุ ได้ผลการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรพัฒนาการข้ามสมรรภาพที่สำคัญ จากความสัมพันธ์ทั้งหมด 10 คู่ ดังนี้

ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถเริ่มต้นกับความสามารถเริ่มต้นด้านการแก้โจทย์ปัญหา (INTC, INTS) เท่ากับ 0.149 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงด้านการคิดคำนวณกับอัตราการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงด้านการแก้โจทย์ปัญหา (SLPC ,SLP-LI) เท่ากับ 0.098 และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงด้านการคิดคำนวณกับอัตราการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นโค้งด้านการแก้โจทย์ปัญหา (SLPC,SLP-QD) เท่ากับ 0.374

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง

โมเดลนี้ประยุกต์จากวิธีวิทยาสมการโครงสร้างที่มีค่าเฉลี่ย (SEM with structred mean) หรือ moment matrix ค่าประมาณพารามิเตอร์ที่สำคัญจากสมการการวัด คือ ขนาดอิทธิพลของอัตราพัฒนาการที่ต่อคะแนนการวัดแต่ละครั้ง ค่าประมาณพารามิเตอร์ที่สำคัญจากสมการโครงสร้าง คือ ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้นและอัตราพัฒนาการสำหรับการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงชนิดตัวแปรเดี่ยว การคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์เป็นการวิเคราะห์ตามแบบแผนการเปลี่ยนแปลงระยะยาวเชิงเส้นตรง ส่วนการแก้โจทย์ปัญหา จะเป็นการวิเคราะห์ตามแบบแผนการเปลี่ยนแปลงระยะยาวเชิงเส้นโค้ง และจะใช้แบบแผนการเปลี่ยนแปลงทั้งสองในการวิเคราะห์ชนิดตัวแปรพหุด้วย

กระบวนการพัฒนาและปรับโมเดลนั้น จากผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยวคุณลักษณะการคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์ โมเดลแรกๆ ยังมีความคลาดเคลื่อนของโมเดลสูง โมเดลยังไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูล ผู้วิจัยจึงพัฒนาโมเดลโดยทดลองกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนในการวัด

สำหรับผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยวคุณลักษณะการคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์ นำเสนอในตารางที่ 21 และผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยวคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา นำเสนอในตารางที่ 22 สำหรับผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรพหุระหว่างคุณลักษณะการคิดคำนวณกับโจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ นำเสนอในตารางที่ 23 ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1 ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์

ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงชนิดตัวแปรเดี่ยว การคิดคำนวณวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน

parameter	1. GCL- EQ	2. GCL-1	3 . GCL-401
โมเดลการวัด			
β_{11}	0	0	0
β_{12}	1	1	1
β_{13}	2.183** (13.1)	2	2.225 ** (13.8)
β_{14}	3.693** (12.7)	3	3.744 ** (12.3)
β_{15}	4.823** (12.5)	4	5.226 ** (11.8)
VAR(E1)	7.001** (26.5)	5.764** (9.1)	4.539** (7.1)
VAR(E2)	7.001** (26.5)	6.342** (12.0)	8.177 ** (13.5)
VAR(E3)	7.001** (26.5)	7.312** (12.4)	9.121 ** (14.1)
VAR(E4)	7.001** (26.5)	7.965** (10.5)	11.046 **(11.9)
VAR(E5)	7.001** (26.5)	6.716** (6.5)	0.452 (0.3)
โมเดลโครงสร้าง			
Mean (INTC)	9.119** (61.6)	9.335** (58.8)	9.406 ** (63.0)
Mean (SLPC)	2.047** (29.6)	1.660 ** (10.9)	1.555 ** (10.2)
VAR(INTC)	6.037** (8.8)	6.485 ** (9.4)	6.106 ** (8.8)
VAR(SLPC)	1.539 ** (10.3)	1.044 ** (5.1)	1.028 ** (5.0)
CORR(INTC,SLPC)	-0.011	-0.024	-0.075
MODEL-FIT INDEX			
χ^2 (df)	149.043 (14)	124.714 (7)	3.006 (4)
χ^2 /df	10.646	17.816	0.7515
P	0.001	0.001	0.5568
CFI	0.886	0.901	1.000
GFI	0.897	0.902	0.998
RMR	2.372	2.192	0.433
RMSEA	0.144	0.190	0.0
	VAR(E_i,E_J) เท่า VAR(E_i,E_J) น	VAR(E_i,E_J)ไม่เท่ากัน และ ไม่มี COV (E_i,E_J)	VAR(E_i,E_J)ไม่เท่ากัน และ มี COV (E_i,E_J) 4 คู่

ตัวเลขในวงเล็บของโมเดลการวัดและโมเดลโครงสร้าง คือค่าสถิติการทดสอบ Z -TEST

ผลการวิเคราะห์โมเดล GCL-EQ เป็นโมเดลที่กำหนดค่าเฉพาะของน้ำหนักองค์ประกอบของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง (fixed parameters) เท่ากับ 0, 1, 2, 3 และ 4 และกำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งที่ 1-5 เท่ากัน (homogeneity) พบว่า ประสิทธิภาพในภาพรวมทั้งโมเดล คือ χ^2(14,n=469) =149.043, P=0.001 อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 10.646 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล คือ ดัชนี CFI และ GFI มีค่าเท่ากับ 0.886 และ 0.897 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเท่ากับ 2.372 และ 0.144 ตามลำดับ

สำหรับผลการวิเคราะห์ โมเดล GCL-1 เป็นโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ที่ประมาณค่าน้ำหนักองค์ประกอบพัฒนาการในการวัด 5 ครั้ง (free parameters) และความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งไม่เท่ากัน (heterogeneity) ผลการวิเคราะห์ในภาพรวมทั้งโมเดล พบว่าค่าไค-สแควส์ของโมเดล คือχ^2 (7,n=469)= 14.089, P=0.001 อัตราไค-สแควส์ (χ^2 /df) เท่ากับ 17.816 ค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI เท่ากับ 0.901 และ GFI เท่ากับ 0.902 ความคลาดเคลื่อนของโมเดลหรือค่าเศษเหลือ (residual) คือดัชนี RMR เท่ากับ 2.192 และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า (RMSEA) เท่ากับ 0.190 แสดงให้เห็นว่า โมเดลนี้ไม่สอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูล ความคลาดเคลื่อนของโมเดลยังมีค่าสูงมาก

เนื่องจากโมเดลโค้งพัฒนาการฯ ใช้กรอบการวิเคราะห์สมการโครงสร้าง จึงสะดวกที่จะพัฒนาโมเดลเพื่อค้นหาโมเดลโค้งพัฒนาการฯ ที่สอดคล้องกับข้อมูลมากที่สุด และมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด เช่น สามารถที่วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความคลาดเคลื่อนในการวัด จากการศึกษางานวิจัยของ Willett and Sayer (1994 และ 1998) ที่พบว่า โมเดลโค้งพัฒนาการฯที่ประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดอย่างเป็นอิสระและให้สัมพันธ์กัน(heterogeneity & autocorrelated) มีประสิทธิภาพกว่าโมเดลที่ประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดอย่างเป็นอิสระอย่างเดียว (heterogeneity) และมีประสิทธิภาพกว่าโมเดลที่กำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากัน (homogeneity) ผู้วิจัยจึงพัฒนาโมเดลโดยกำหนดให้ความคลาดเคลื่อนในการวัดมีความสัมพันธ์กันหลายรูปแบบ ตั้งแต่กำหนดให้มีความสัมพันธ์กันรายคู่จำนวนคู่สูงสุด คือจำนวน 10 คู่ จนถึงมีความสัมพันธ์กันเพียงคู่เดียว รายละเอียดการวิเคราะห์อยู่ในภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์โมเดลที่กำหนดความคลาดเคลื่อนในการวัดมีความสัมพันธ์กัน พบว่า โมเดล GCL-401 ที่กำหนดความคลาดเคลื่อนในการวัดมีความสัมพันธ์กันจำนวน 4 คู่ คือ ระหว่างครั้งที่ 1,4 2,3 2,4 และครั้งที่ 3,4 เป็นโมเดลที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดล คือ ดัชนี CFI และดัชนี GFI มีค่าสูงสุด คือเท่ากับ1.00 และ 0.998 ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลหรือค่าเศษเหลือ (residual) ต่ำสุดกว่าทุกโมเดลคือ 0.433 ความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 0.0 และความน่าจะเป็นของอัตราไค-สแควส์ของโมเดลนี้จะมีค่าสูงกว่าทุกโมเดล

ค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแปรแฝงในสมการการวัด พบว่า ค่าน้ำหนักองค์ประกอบของอัตราพัฒนาการในการวัดครั้งที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 เท่ากับ 0, 1, 2.225, 3.744 และ 5.226 ตามลำดับ ทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้ง 1-5 เท่ากับ 4.539, 8.177, 10.562, 11.046 และ 0.452 ตามลำดับ เกือบทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ยกเว้นครั้งที่ 5 สำหรับค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแปรแฝงในสมการโครงสร้าง พบว่า คะแนนเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.406 ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 6.106 อัตราพัฒนาการมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.555 ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 1.028 ทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเท่ากับ -0.075 ซึ่งไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

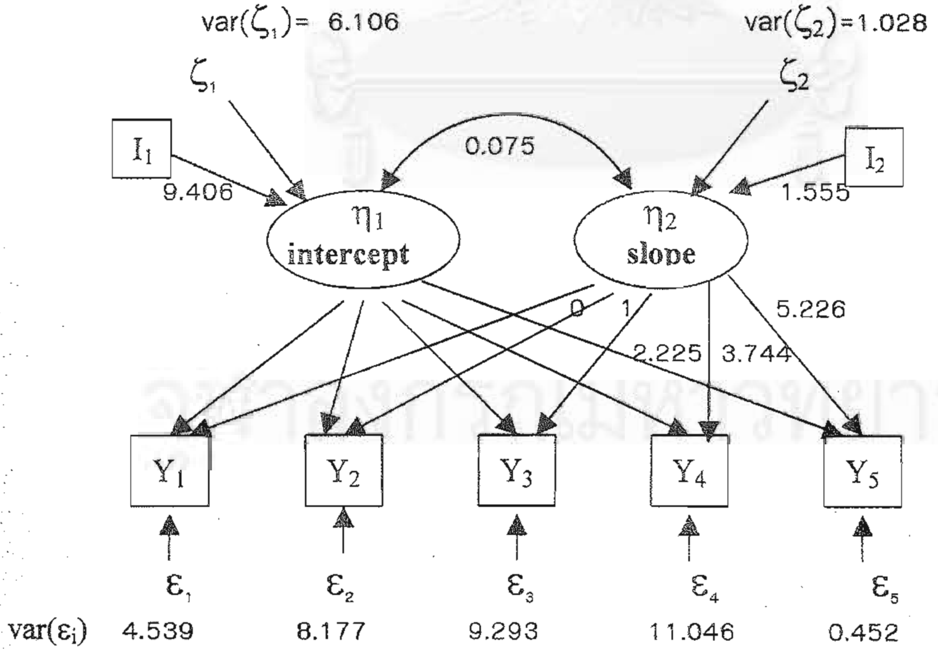
โมเดล GCL-401 เขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

สมการการวัด

$$y_1 = \eta_1 + 0\,\eta_2 + \varepsilon_1$$
$$y_2 = \eta_1 + 1\,\eta_2 + \varepsilon_2$$
$$y_3 = \eta_1 + 2.225\,\eta_2 + \varepsilon_3$$
$$y_4 = \eta_1 + 3.744\,\eta_2 + \varepsilon_4$$
$$y_5 = \eta_1 + 5.226\,\eta_2 + \varepsilon_5$$

สมการโครงสร้าง

$$\eta_1 = 9.406\,I_1 + \zeta_1$$
$$\eta_2 = 1.555\,I_1 + \zeta_2$$



ภาพที่ 18 ผลการประมาณค่าโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ (โมเดล GCL-401) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน

3.2 ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว การแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง

parameter	1. SLG-EQ	2. SLG-1
โมเดลการวัด		
β_{11}	0	0
β_{12}	1	1
β_{13}	2	2.446 ** (7.7)
β_{14}	3	1.850** (6.2)
β_{15}	4	2.030** (4.5)
β_{21}	0	0
β_{22}	1	1
β_{23}	4	1.768** (5.6)
β_{24}	9	3.869** (8.1)
β_{25}	16	5.591** (7.2)
VAR(E1)	4.599 ** (22.5)	3.417** (8.0)
VAR(E2)	4.599** (22.5)	4.362** (12.4)
VAR(E3)	4.599** (22.5)	2.078** (1.7)
VAR(E4)	4.599** (22.5)	6.625** (11.6)
VAR(E5)	4.599** (22.5)	2.683** (2.7)
โมเดลโครงสร้าง		
Mean(INTS)	6.902** (55.4)	6.863** (55.3)
Mean(SLP-LI)	0.179 (1.4)	-0.190 (-1.0)
Mean(SLP-QD)	0.215** (6.9)	0.806 ** (5.3)
VAR(INTS)	3.181** (6.7)	4.000** (11.2)
VAR(SLP-LI)	1.933** (3.8)	1.961** (8.8)
VAR(SLP-QD)	0.125** (4.2)	0.653** (6.1)
COR(INTS,SLP-Li)	-0.435**	-0.433**
COR(INTS,SLP-QD)	0.311**	0.058
COR(SLP-Li,SLP-QD)	-0.840**	-0.654**
MODEL-FIT INDEX		
χ^2 (df)	82.298 (11)	2.058 (3)
χ^2 /df	7.482	0.686
P	0.001	0.5605
CFI	0.839	1.000
GFI	0.947	0.999
RMR	0.925	0.135
RMSEA	0.118	0.0

ตัวเลขในวงเล็บของโมเดลการวัดและโมเดลโครงสร้าง คือค่าสถิติการทดสอบ Z -TEST

การวิเคราะห์การแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ที่เป็นโมเดลโค้งพัฒนาการฯที่มีแบบแผนการเปลี่ยนแปลงระยะยาวไม่ใช่เส้นตรง (nonlinear pattern) ด้วยโปรแกรม EQS โมเดล SLG-EQ ที่กำหนดค่าเฉพาะของน้ำหนักองค์ประกอบพัฒนาการในการวัด 5 ครั้ง (fixed parameters) คือ กำหนดน้ำหนักองค์ประกอบของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงในการวัดครั้งที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 เท่ากับ 0, 1, 2, 3 และ 4 กำหนดน้ำหนักองค์ประกอบของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งในการวัดครั้งที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 เท่ากับ 0, 1, 4, 9 และ 16 และความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งที่ 1-5 เท่ากัน (homogeneity) สำหรับผลการวิเคราะห์ในภาพรวมทั้งโมเดล ได้ดังนี้ $\chi^2(11,n=469)= 82.298$, P=0.001 อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 7.482 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล คือ ดัชนี CFI และ GFI เท่ากับ 0.839 และ 0.947 ตามลำดับความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเท่ากับ 0.925 และ 0.118 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของคะแนนเริ่มต้น อัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง และอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งเท่ากับ 6.902, 0.179 และ 0.215 ความแปรปรวนของ 3 ตัวแปรแฝงเท่ากับ 3.181, 1.933 และ 0.125 ตามลำดับ ค่าความสัมพันธ์ 3 คู่ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง คะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง และอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งมีค่าเท่ากับ-0.433, 0.058 และ-0.654 ตามลำดับ ส่วนความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้ง 1-5 ที่กำหนดให้มีค่าเท่ากัน มีค่าเท่ากับ 4.599 ค่าประมาณพารามิเตอร์แทบทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติยกเว้นลำดับ ค่าเฉลี่ยของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงเพียงค่าเดียว

ผลการวิเคราะห์ในภาพรวมโมเดล SLG-1 ประมาณค่าน้ำหนักองค์ประกอบพัฒนาการในการวัด 5 ครั้ง (free parameters) และความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งไม่เท่ากัน (heterogeneity) พบว่า โมเดลมีสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูล คือ ค่าไค-สแควส์ของโมเดล $\chi^2(3,n=469)=2.058$, P=0.5605 อัตราไค-สแควส์ เท่ากับ 0.686 ค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และGFI เท่ากับ 1.000 และ 0.999 ความคลาดเคลื่อนของโมเดลหรือค่าเศษเหลือเท่ากับ 0.135 และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเท่ากับ 0.0 โมเดลนี้จึงเป็นโมเดลตัวแทนการเปลี่ยนแปลงระยะยาว

ค่าประมาณพารามิเตอร์ของโมเดล SLG-1 พบว่า ค่าน้ำหนักองค์ประกอบของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงในการวัดครั้งที่ 1-5 เท่ากับ 0, 1, 2.446, 1.850 และ 2.030 ตามลำดับ และค่าน้ำหนักองค์ประกอบของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งในการวัดครั้งที่ 1-5 เท่ากับ 0, 1, 1.768, 3.869 และ 5.591 ตามลำดับ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้ง 1-5 เท่ากับ 3.417, 4.362, 2.078, 6.625 และ 2.683 ตามลำดับ ทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ยกเว้นครั้งที่ 3 ค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแปรแฝงในสมการโครงสร้าง พบว่า ค่าเฉลี่ยของคะแนนเริ่มต้น อัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง และอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งเท่ากับ 6.863, -0.190 และ 0.806 ตามลำดับ ความแปรปรวนของ 3 ตัวแปรแฝงเท่ากับ 4.000, 1.961 และ 0.653 ตามลำดับ ทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 ยกเว้นค่าเฉลี่ยของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง

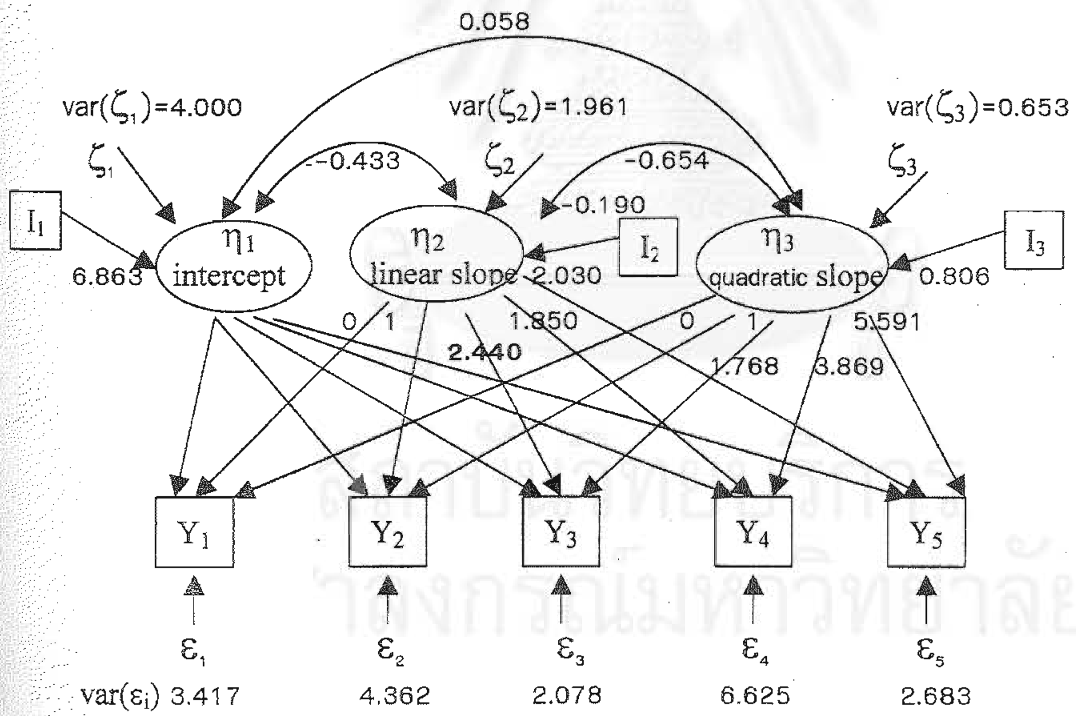
สำหรับค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรแฝง 3 คู่ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง คะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง และอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งเท่ากับ-0.433, 0.058 และ-0.654 ตามลำดับ ค่าประมาณพารามิเตอร์แทบทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติยกเว้นลำดับ ค่าเฉลี่ยของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงเพียงค่าเดียว สำหรับโมเดล SLG-1 เขียนเป็นสมการดังนี้

สมการการวัด

$$y_1 = \eta_1 + 0\eta_2 + 0\eta_3 + \varepsilon_1$$
$$y_2 = \eta_1 + 1\eta_2 + 1\eta_3 + \varepsilon_2$$
$$y_3 = \eta_1 + 2.446\eta_2 + 1.768\eta_3 + \varepsilon_3$$
$$y_4 = \eta_1 + 1.850\eta_2 + 3.869\eta_3 + \varepsilon_4$$
$$y_5 = \eta_1 + 2.030\eta_2 + 5.591\eta_3 + \varepsilon_5$$

สมการโครงสร้าง

$$\eta_1 = 6.863 I_1 + \zeta_1$$
$$\eta_2 = -0.190 I_2 + \zeta_2$$
$$\eta_3 = 0.806 I_3 + \zeta_3$$



ภาพที่ 19 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ (โมเดล SLG -1) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน

3.3 ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรพหุระหว่างคุณลักษณะการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา

ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรพหุระหว่างคุณลักษณะการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน

โมเดล	การแก้โจทย์ปัญหา	การคิดคำนวณ INTC	การคิดคำนวณ SLPC
โมเดล CLSL-G41 ได้จาก โมเดล GCL-401 และโมเดล SLG-1	INTS	0.410	0.046
	SLP-LI	-0.186	-0.126
	SLP-QD	0.391	0.521
	Model-Fit Index CHI-SQUARE (df.) = 98.035 (42) CHI-SQUARE /df = 2.334 P = 0.001 CFI = 0.972 GFI = 0.962 RMR = 0.870 RMSEA = 0.053		
โมเดล GCLSL- EQ ได้จาก โมเดล GCL-EQ และ โมเดล SLG- EQ	INTS	0.430	-0.077
	SLP-LI	-0.010	0.131
	SLP-QD	0.219	0.313
	Model-Fit Index CHI-SQUARE (df.) = 306.728 (54) CHI-SQUARE/df = 5.680 P=0.001 CFI = 0.873 GFI = 0.888 RMR = 1.688 RMSEA = 0.100		

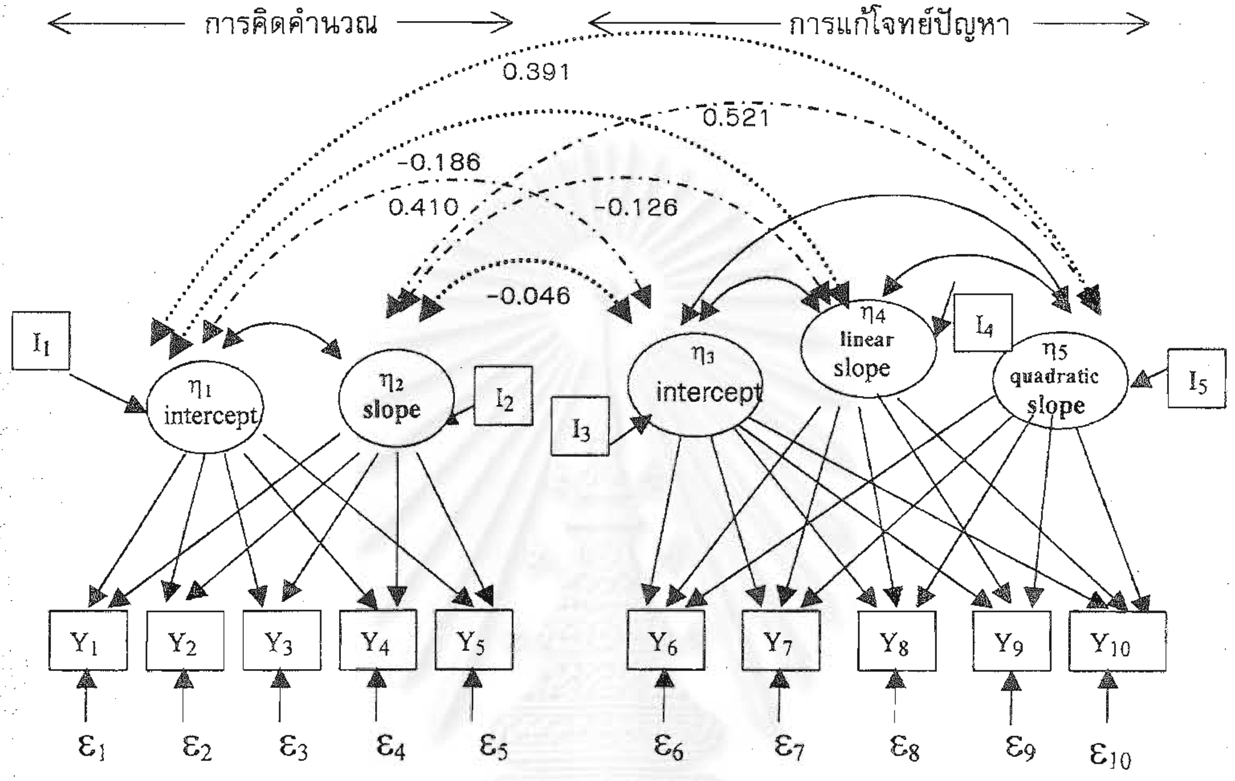
การวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงชนิดตัวแปรพหุ ได้จากการนำผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการฯชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์สอดคล้องกับข้อมูลสูงสุดคือ โมเดล GCL-401 มาวิเคราะห์ร่วมกับโมเดลโค้งพัฒนาการฯชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาคือ โมเดล GSL-1 ซึ่งเป็นโมเดลที่มีสอดคล้อง กับข้อมูล ได้เป็นโมเดลชนิดตัวแปรพหุคือ GCLSL-G41 นอกจากนี้ยังนำโมเดล GCL-EQ มาวิเคราะห์ร่วมกับโมเดล GSL-EQ ได้เป็นโมเดลชนิดตัวแปรพหุคือ CLSL-EQ

ผลจากการวิเคราะห์ตัวแปรพหุ พบว่า โมเดล GCLSL-41 ไม่สอดคล้องกับข้อมูล ประสิทธิ์ภาพของโมเดลในภาพรวม พบว่า χ^2 (42,n=469)=98.035, P=0.001 ค่าอัตราไค-สแควส์เท่ากับ 2.334 ดัชนีความสอดคล้องกลมกลืนของโมเดล คือ CFI และ GFI เท่ากับ 0.972 และ 0.962 ตามลำดับ เศษเหลือหรือความคลาดเคลื่อนของโมเดล (RMR) เท่ากับ 0.870 และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า (RMSEA) เท่ากับ 0.053

ค่าประมาณพารามิเตอร์ที่สำคัญของโมเดล CLSL-G41 คือ ค่าสหสัมพันธ์ที่สำคัญระหว่าง 5 ตัวแปรแฝงที่ใช้อธิบายพัฒนาการของ 2 คุณลักษณะ ได้ค่าดังนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นข้ามสมรรถภาพ คือ ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างด้านการคิดคำนวณกับด้านการแก้โจทย์ปัญหา (INTC,INTS) เท่ากับ 0.410 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอัตราพัฒนาการการข้ามสมรรถภาพ คือ อัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงด้านการคิดคำนวณกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงด้านการแก้โจทย์ปัญหา (SLPC,SLP-LI) เท่ากับ -0.126 แต่ค่าสหสัมพันธ์อัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงด้านการคิดคำนวณกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งการแก้โจทย์ปัญหาสูงกว่า (SLPC,SLP-QD) คือ 0.521

สำหรับความสัมพันธ์แบบ lagged effect ข้ามสมรรถภาพ พบว่า สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นการคิดคำนวณกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงการแก้โจทย์ปัญหา(INTC,SLP-LI) และกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งการแก้โจทย์ปัญหา (INTC,SLP-QD) เท่ากับ −0.186 และ 0.391 ตามลำดับ คะแนนเริ่มต้นการแก้โจทย์ปัญหากับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงด้านการคิดคำนวณ (INTS,SLPC) มีค่าต่ำมาก คือเท่ากับ −0.046

ค่าประมาณพารามิเตอร์เขียนของโมเดล CLSL-G41 เขียนในรูปโมเดลได้ดังนี้



χ^2 (42 n=469) = 98.035 P= 0.001 RMR = 0.870 RMSEA = 0.053
CFI = 0.972 GFI= 0.962

ภาพที่ 20 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรพหุระหว่างการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา (โมเดล CLSL-G41) วิชาคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน

ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์

โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน เป็นโมเดลที่ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบสมการโครงสร้าง (SEM) โดยการวิเคราะห์เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม (covariance matrix) เมื่อกำหนดน้ำหนักของคะแนนจริงในการวัดครั้งที่ 1-5 เท่ากับ 1 เนื่องจากแต่ละคุณลักษณะที่วัดมีตัวชี้บ่งเดียว ค่าประมาณพารามิเตอร์ คือ พัฒนาการเชิงถดถอยระหว่างคะแนนจริงในการวัดครั้งหนึ่งกับคะแนนจริงของครั้งที่อยู่ติดกัน (regression slope; $\eta_i \rightarrow \eta_{i+1}$) ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดและความแปรปรวนของคะแนนเศษเหลือในการวัดครั้งที่ 1-5

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเสนอโมเดลใหม่ คือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ด้วยการเพิ่มตัวแปรแฝง 2 ตัวแปรเข้ามาในโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน คือ คะแนนเริ่มต้น (latent intercept) และอัตราพัฒนาการ (latent slope) ที่ส่งอิทธิพลต่อคะแนนจริงในการวัดแต่ละครั้ง โดยใช้การวิเคราะห์แบบสมการโครงสร้างที่มีค่าเฉลี่ย (moment matrix) จะทำให้ได้ค่าประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของตัวแปรแฝงพัฒนาการทั้งสอง เพิ่มเติมจากค่าประมาณพารามิเตอร์ในโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน

โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์เชิงเส้นตรงที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 รายละเอียดผลการวิเคราะห์นำเสนอในตารางที่ 24 ส่วนโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ไม่ใช่เส้นตรงที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา รายละเอียดผลการวิเคราะห์นำเสนอในตารางที่ 25 สำหรับโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างคุณลักษณะการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา รายละเอียดผลการวิเคราะห์นำเสนอในตารางที่ 26

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1 ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ

ตารางที่ 24 ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง

parameter	โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน	โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ			
	QCL-B	1 QCL-M1	2. QCL-M2	3. QCL-M3	4. QCL-EQ
β21		0	0	0	0
β22		1	1	1	1
β23		0.703**(34.6)	0.524**(6.7)	3.631** (4.1)	2
β24		0.559**(28.9)	0.677**(9.9)	6.551** (4.8)	3
β25		0.546**(31.4)	0.381**(6.7)	2.459** (4.2)	4
$\eta_1 \rightarrow \eta_2$	1.315** (8.9)	1.315	1.050**(5.7)	0.315** (9.8)	0.228** (4.8)
$\eta_2 \rightarrow \eta_3$	1.009 **(11.2)	1.009	0.721**(14.8)	0.791** (9.3)	0428** (5.8)
$\eta_3 \rightarrow \eta_4$	0.913** (15.5)	0.913	0.877** (19.4)	1.160** (8.0)	0.570** (6.1)
$\eta_4 \rightarrow \eta_5$	0.924** (21.5)	0.924	0.748**(27.3)	0.791**(15.6)	0.611** (6.3)
VAR(E1)	6.198** (9.0)	5.696**(3.8)	2.902**(4.6)	5.696	0.826 (1.5)
VAR(E2)	2.936* (3.0)	2.773**(3.9)	1.761* (2.7)	2.773	0.826 (1.5)
VAR(E3)	1.600 (1.8)	1.459 (1.8)	2.083* (3.5)	1.459	0.826 (1.5)
VAR(E4)	4.159** (4.4)	4.092**(5.2)	1.969* (2.3)	4.092	0.826 (1.5)
VAR(E5)	6.024 (0)	8.627 (0)	8.398**(9.6)	8.627	0.826 (1.5)
VAR(D1)	4.326** (9.1)	3.650**(5.3)	3.650	2.862** (3.9)	6.189
VAR(D2)	4.441** (12.0)	5.292**(3.0)	5.292	7.837** (9.8)	8.111
VAR(D3)	7.263** (12.4)	7.670**(5.1)	7.670	4.670** (4.4)	8.505
VAR(D4)	11.03 **(10.5)	11.318**(8.3)	11.318	6.361* (2.9)	13.976
VAR(D5)	3.373** (3.4)	1.799 (0.8)	1.799	1.774 * (2.2)	7.263
Mean(INTS)		9.403**(62.7)	9.386** (62.4)	9.407** (63.1)	9.333 **(60.9)
Mean(SLPS)		-10.783(-9.8)	-8.275**(-9.2)	-1.414**(-6.6)	-0.484 (-1.2)
VAR(INTS)		1.176 (0.4)	4.057* (3.1)	4.657** (7.4)	4.168**(5.7)
VAR(SLPS)		2.580 (0.4)	11.722*(2.4)	0.310** (4.2)	0.231 (1.9)
COR(INT,SLP)		-1.038	-0.883	-0.900	-0.458
CHI-SQUARE (df)	18.817 (1)	18.486 (2)	14.089 (5)	7.989 (7)	51.357 (10)
CHI-SQUARE /df	18.817	9.243	2.818	1.141	5.271
P	0.001	0.001	0.0287	0.0920	0.001
CFI	0.985	0.986	0.993	0.997	0.965
GFI	0.984	0.985	0.989	0.994	0.958
RMR	0.389	0.415	0.535	0.456	1.544
RMSEA	0.195	0.082	0.054	0.046	0.094

กระบวนการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน คุณลักษณะการคิดคำนวณมีตัวแปรแฝง 5 ตัวแปร คือ คะแนนจริงของการวัดครั้งที่ 1–5 โมเดลนี้เป็นโมเดลชนิดตัวแปรเดี่ยวที่ต้องประมาณค่าพารามิเตอร์จำนวน 14 ค่า ประกอบด้วยค่าพัฒนาการถดถอย 4 ค่า ความแปรปรวนของตัวแปรแฝงและความคลาดเคลื่อนในการวัด 10 ค่า ซึ่งสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์อิสระจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EQS ในโมเดลนี้ได้พอดี 14 ค่าจาก 5 ตัวแปรสังเกตได้ (คะแนนการวัดครั้งที่ 1–5) ดังนั้นองศาอิสระของสถิติไค-สแควส์ที่ใช้ทดสอบโมเดลจะมีค่าเป็นหนึ่ง

ผลการวิเคราะห์ในภาพรวมทั้งโมเดลของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน QCL-B พบว่าโมเดลยังไม่สอดคล้องกับข้อมูล คือ $\chi^2(1,n=469)=18.817$, $P=0.001$ อัตราไค-สแควส์ เท่ากับ 18.817 ค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และค่า GFI เท่ากับ 0.985 และ 0.984 ตามลำดับ ค่าเศษเหลือของโมเดลเท่ากับ 0.389 และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 0.195 สำหรับค่าประมาณพารามิเตอร์ของโมเดล คือ พัฒนาการเชิงถดถอยจากคะแนนจริงจากการวัดครั้งที่ 1 ไปยังคะแนนจริงจากการวัดครั้งที่ 2 , ครั้งที่ 2 ไปยังครั้งที่ 3, ครั้งที่ 3 ไปยังครั้งที่ 4 และครั้งที่ 4 ไปยังครั้งที่ 5 เท่ากับ 1.315, 1.009, 0.913 และ 0.924 ตามลำดับ ทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 สำหรับความแปรปรวนของคะแนนจริงในการวัดครั้งที่ 1-5 หรือ $Var(D_i)$ เท่ากับ 4.326, 4.441, 7.263, 11.03 และ 3.373 ตามลำดับ ทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ส่วนความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งที่ 1–5 หรือ $VAR(E_i)$ เท่ากับ 5.130, 3.124, 1.359, 4.402 และ 6.004 ตามลำดับ โดยที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งที่ 1,2 และ 4 จำนวน 3 ครั้งที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

สำหรับโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์เชิงเส้นตรงที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการชนิดตัวแปรเดี่ยวคุณลักษณะการคิดคำนวณที่ผู้วิจัยนำเสนอในการวิจัยครั้งนี้ โมเดลนี้เป็นโมเดลที่ต้องประมาณค่าพารามิเตอร์จำนวน 22 ค่า (ประกอบด้วยค่าอิทธิพล 7 ค่า ค่าเฉลี่ย 2 ค่า และความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรแฝงและความคลาดเคลื่อนในการวัด 13 ค่า) แต่การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EQS ในโมเดลนี้สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์อิสระ (free parameters) ไม่เกิน 14 ค่า ผู้วิจัยแก้ปัญหาด้วยวิธีการกำหนด free parameters บางค่าให้เป็น fixed parameters โดยการนำค่าประมาณจากการวิเคราะห์ครั้งแรกๆไปแทนค่าพารามิเตอร์นั้นในการวิเคราะห์ครั้งหลัง เพื่อไม่ต้องประมาณค่าในการวิเคราะห์ครั้งหลังๆ เป็นควบคุมจำนวน free parameters ไม่ให้เกินจำนวนกำหนด หลักการกำหนด free parameters ของผู้วิจัยมี 3 ประการ คือ ประการแรก เป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรแฝงพัฒนาการทั้ง 3 ตัวแปร ประการที่สองพิจารณาจากผลของ WTEST และ LMTEST ในโปรแกรม EQS สำหรับ WTEST จะเสนอแนะว่าควรให้พารามิเตอร์ใดเป็น fixed parameters สำหรับ LMTEST จะเสนอแนะว่าควรให้พารามิเตอร์ใดเป็น free parameters และประการที่สามพิจารณาจากค่า Z-test ของแต่ละพารามิเตอร์ วิธีการกำหนด fixed parameters นี้ส่งผลต่อการวิเคราะห์ข้อมูลและดัชนีชี้ความสอดคล้องของโมเดล บ่อยครั้งพบว่าโปรแกรมไม่ยอมประมวลผลแม้ว่าจำนวน free parameters จะน้อยกว่าที่กำหนดก็ตาม

การวิเคราะห์และพัฒนาโมเดล ผู้วิจัยทดลองนำค่าประมาณพัฒนาการเชิงถดถอยจากระหว่างคะแนนจริงจากโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐานมากำหนดเป็น fixed parameters เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์อื่นๆได้ ทำให้เหลือจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องประมาณค่า 13 ค่า โมเดลแรกที่ได้คือโมเดล QCL-M1 ผลการวิเคราะห์พบว่าคือ χ^2(2,n=469) = 18.486, P=0.001 อัตราไค-สแควส์ เท่ากับ 9.243 ค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และ GFI เท่ากับ 0.986 และ 0.985 ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลหรือค่าเศษเหลือ และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเท่ากับ 0.415 และ 0.082 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าโมเดลยังไม่สอดคล้องกับข้อมูล ยังมีความคลาดเคลื่อนของโมเดลสูง จึงต้องพัฒนาโมเดลต่อเพื่อค้นหาโมเดลตัวแทนที่มีความสอดคล้องกับข้อมูล

โมเดลที่สอง QCL-M2 กำหนดความแปรปรวนของคะแนนความคลาดเคลื่อนในการวัดทั้ง 5 ครั้งจากโมเดล QCL-M1 เป็น free parameters และความแปรปรวนของส่วนที่เหลือของคะแนนจริงในการวัดทั้ง 5 ครั้งจากโมเดล QCL-M1 เป็น fixed parameters ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลและค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลดีกว่าโมเดลแรก แต่โมเดลก็ยังไม่สอดคล้องกับข้อมูล คือ χ^2 (5,n=469) =14.089, P=0.0287 อัตราไค-สแควส์ เท่ากับ 2.818 ค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และ GFI เท่ากับ 0.993 และ 0.989 ตามลำดับ แต่ค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลหรือค่าเศษเหลือ และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเท่ากับ 0.535 และ 0.054 ตามลำดับ

โมเดลที่สาม QCL-M3 กำหนดความแปรปรวนของคะแนนความคลาดเคลื่อนในการวัดทั้ง 5 ครั้งเป็น fixed parameters และความแปรปรวนของส่วนที่เหลือของคะแนนจริงในการวัดทั้ง 5 ครั้งเป็น free parameters ผลการวิเคราะห์พบว่าโมเดลไม่สอดคล้องกับข้อมูล คือ χ^2 (7,n=469) =7.989, P=0.0920 อัตราไค-สแควส์ เท่ากับ 1.141 ค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และ GFI เท่ากับ 0.988 และ 0.985 ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลหรือค่าเศษเหลือและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 0.732 และ 0.101 ตามลำดับ

โมเดล QCL-EQ เป็นโมเดลใช้เปรียบเทียบกับโมเดลพหุระดับ คือ ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งที่ 1-5 เท่ากัน (ผลการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 3.107) การวิเคราะห์ภาพรวมทั้งโมเดล ปรากฏว่าเป็นโมเดลที่ไม่สอดคล้องกับข้อมูล คือ χ^2(10,n=469)= 51.357, P=0.001 อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 5.271 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล คือ ดัชนี CFI และ GFI เท่ากับ 0.965 และ 0.958 ตามลำดับความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 1.544 และ 0.094 ตามลำดับ

ดังนั้นโมเดลที่เป็นตัวแทนของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการน่าจะเป็นโมเดลที่สาม QCL-M3 เพราะเป็นโมเดลที่มีความสอดคล้องกับข้อมูล มีค่าความน่าจะเป็นของสถิติไค-สแควส์ สูงสุด และมีค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำสุด ค่าประมาณพารามิเตอร์ที่ได้ คือ

อัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง (SLP-LI) ส่งอิทธิพลไปยังคะแนนจริงครั้งที่ 1–5 เท่ากับ 0, 1, 3.631, 6.551 และ 2.469 ตามลำดับ และพัฒนาการถดถอยระหว่างคะแนนจริงครั้งที่ติดกันเท่ากับ 0.315, 0.791, 1.160 และ 0.791 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้นเท่ากับ 9.407 และ 4.657 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงเท่ากับ −1.414 และ 0.310 ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเท่ากับ −0.900

โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐานชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ คือ โมเดล QCL-B เขียนเป็นสมการดังนี้

สมการการวัด

$$
\begin{aligned}
y_1 &= \eta_1 + \varepsilon_1 \\
y_2 &= \eta_2 + \varepsilon_2 \\
y_3 &= \eta_3 + \varepsilon_3 \\
y_4 &= \eta_4 + \varepsilon_4 \\
y_5 &= \eta_5 + \varepsilon_5
\end{aligned}
$$

สมการโครงสร้าง

$$
\begin{aligned}
\eta_2 &= 1.315\eta_1 + \zeta_2 \\
\eta_3 &= 1.009\eta_2 + \zeta_3 \\
\eta_4 &= 0.913\eta_3 + \zeta_4 \\
\eta_5 &= 0.924\eta_4 + \zeta_5
\end{aligned}
$$

โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลสูงสุด คือ โมเดล QCL-M3 เขียนเป็นสมการดังนี้

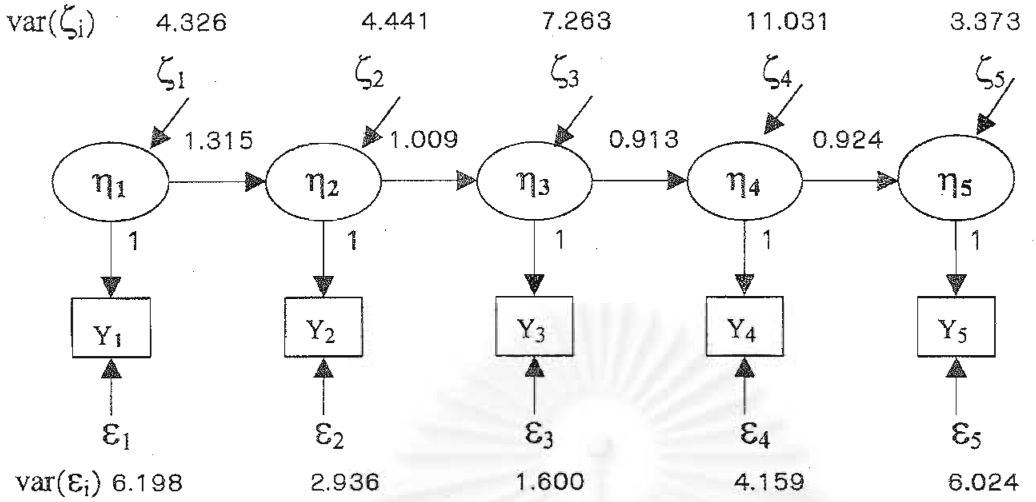
สมการการวัด

$$
\begin{aligned}
y_1 &= \eta_1 + \varepsilon_1 \\
y_2 &= \eta_2 + \varepsilon_2 \\
y_3 &= \eta_3 + \varepsilon_3 \\
y_4 &= \eta_4 + \varepsilon_4 \\
y_5 &= \eta_5 + \varepsilon_5
\end{aligned}
$$

สมการโครงสร้าง

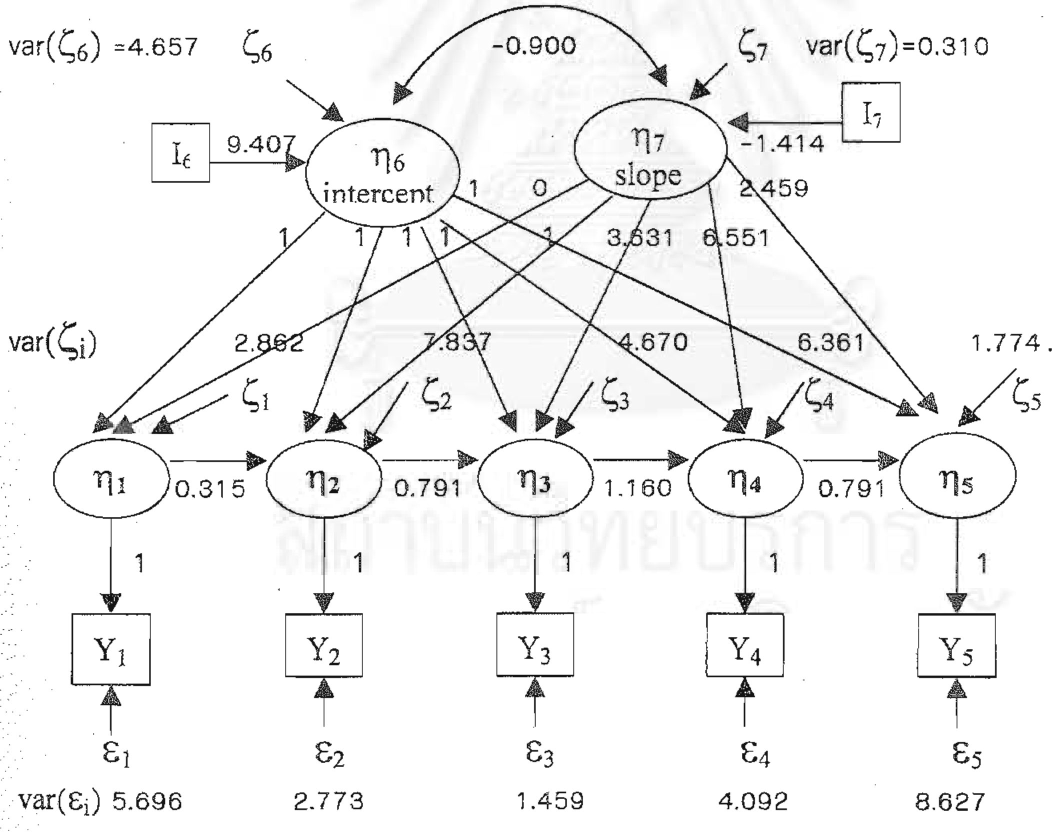
$$
\begin{aligned}
\eta_1 &= \eta_6 + 0\,\eta_7 + \zeta_1 \\
\eta_2 &= 0.924\eta_1 + 1\,\eta_6 + 0.924\eta_7 + \zeta_2 \\
\eta_3 &= 0.924\eta_2 + 1\,\eta_6 + 0.924\eta_7 + \zeta_3 \\
\eta_4 &= 0.924\eta_3 + 1\,\eta_6 + 0.924\eta_7 + \zeta_4 \\
\eta_5 &= 0.924\eta_4 + 1\,\eta_6 + 0.924\eta_7 + \zeta_5 \\
\eta_6 &= 9.407 I_6 + \zeta_6 \\
\eta_7 &= -1.414\, I_7 + \zeta_7
\end{aligned}
$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



โมเดล QCL-B χ^2 (1,n=469) = 18.817 P= 0.001 CFI = 0.985 GFI= 0.984

ภาพที่ 21 ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน ชนิดตัวแปรเดี่ยว ของคุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง



โมเดล QCL-M3 χ^2 (7, n=469)=7.989 P= 0.092 CFI= 0.997 GFI=0.994

ภาพที่ 22 ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง

4.2 ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา

ตารางที่ 25 ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง

parameter	โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน (SLQ-B)	โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ			
		1 SLQ-M1	2. SLQ-M2	3. SLQ-M3	4. SLQ-EQ
β21		0	0	0	0
β22		1	1	1	1
β23		1.738** (7.5)	1.882** (7.1)	1.734* (3.4)	1.952** (8.7)
β24		0.198 (0.4)	0.722 (1.0)	0.193 (0.2)	0.742** (4.7)
β25		0.905** (4.3)	1.496** (5.2)	0.901 (1.8)	1.179** (7.6)
β31		0	0	0	0
β32		1	1	1	1
β33		1.390** (8.1)	1.994** (19.4)	1.555** (4.7)	1.559** (9.2)
β34		1.516* (2.6)	1.116** (6.3)	0.883 (1.7)	1.450** (5.8)
β35		1.444** (4.2)	1.864** (27.6)	1.256** (3.9)	1.577** (9.7)
$\eta_1 \rightarrow \eta_2$	1.711** (4.0)	0.621	0.621	0.621	0.621
$\eta_2 \rightarrow \eta_3$	0.522** (5.2)	0.743	0.743	0.743	0.743
$\eta_3 \rightarrow \eta_4$	1.015** (6.4)	1.379	1.379	1.379	1.379
$\eta_4 \rightarrow \eta_5$	1.017** (5.6)	1.166	1.166	1.166	1.166
VAR(E1)	5.691 (0)	2.146** (4.0)	2.480** (5.3)	2.146	3.083** (7.6)
VAR(E2)	1.699 (1.8)	3.331** (6.8)	3.346** (9.2)	3.331	3.083** (7.6)
VAR(E3)	5.051** (9.5)	3.206* (2.4)	0 (0)	3.206	3.083** (7.6)
VAR(E4)	4.553 (5.0)	4.498** (8.4)	4.675 (8.7)	4.498	3.083** (7.6)
VAR(E5)	5.476 (5.6)	6.700 (0)	6.354 (8.1)	6.700	3.083** (7.6)
Mean(INTS)		6.887** (54.8)	6.886** (61.0)	6.886** (54.9)	6.880** (54.8)
Mean (SLPS-LI)		2.947 (1.0)	0.469** (3.9)	6.879** (35.6)	3.119** (16.0)
Mean (SLPS-QD)		-6.688 (-2.2)	-4.206**(-11.9)	-10.616 (0)	-6.837 (0)
VAR(INTS)		0.699	0.278 (0.7)	0.189 (0.3)	1.031** (5.0)
VAR(SLPS-LI)		4.220	9.108 (1.0)	7.811 (0.7)	4.512 (1.7)
VAR(SLPS-QD)		3.497	5.788 (0.8)	4.003 (0.4)	1.204 (0.4)
COR(INT,SLP-LI)		-0.601	-0.556	-0.728	-0.410
COR(INT,SLP-QD)		-0.322	-0.306	-0.331	-0.093
COR(SLP-LI,SLP-QD)		-0.970	-0.982	-0.964	-1.036
CHI-SQUARE(df)	7.111 (1)	2.107 (1)	2.109 (1)	2.245 (1)	4.134 (1)
CHI-SQUARE /df	7.111	2.107	2.109	2.245	4.1349
P	0.008	0.1465	0.1464	0.1340	0.001
CFI	0.986	0.997	0.997	0.997	0.993
GFI	0.994	0.998	0.998	0.998	0.997
RMR	0.202	0.115	0.138	0.109	0.139
RMSEA	0.114	0.049	0.049	0.052	0.013

ตัวเลขในวงเล็บของโมเดลการวัดและโมเดลโครงสร้าง คือค่าสถิติการทดสอบ Z -TEST

ผลการวิเคราะห์ในภาพรวมทั้งโมเดลของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน SLQ-B พบว่าโมเดลยังไม่สอดคล้องกับข้อมูล คือ $\chi^2(1, n=469)=7.111$, P=0.008 อัตราไค-สแควส์ เท่ากับ 7.111 ค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และค่า GFI เท่ากับ 0.986 และ 0.994 ตามลำดับ ค่าเศษเหลือของโมเดลเท่ากับ 0.202 และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเท่ากับ 0.114 สำหรับค่าประมาณพารามิเตอร์ของโมเดล คือ พัฒนาการเชิงถดถอยจากคะแนนจริงจากการวัดครั้งที่ 1 ไปยังคะแนนจริงจากการวัดครั้งที่ 2 , ครั้งที่ 2 ไปยังครั้งที่ 3, ครั้งที่ 3 ไปยังครั้งที่ 4 และครั้งที่ 4 ไปยังครั้งที่ 5 เท่ากับ 1.711, 0.522, 1.015 และ 1.017 ตามลำดับ ทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 สำหรับความแปรปรวนของคะแนนเศษเหลือของการวัดครั้งที่ 1-5 หรือ Var(D_i) เท่ากับ 1.695, 0.734, 1.271, 4.935 และ 0.860 ตามลำดับ โดยที่ครั้งที่ 1,3 และ 4 มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งที่ 1-5 หรือ VAR(E_i) เท่ากับ 5.690, 1.699, 5.051, 4.553 และ 5.476 ตามลำดับ โดยที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนครั้งที่ 2-5 มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

สำหรับโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์เชิงเส้นโค้งที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ 3 ตัวแปร คือ คะแนนเริ่มต้น(INTS) อัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง(SLP-LI) และอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง(SLP-QD) โมเดลนี้เป็นโมเดลชนิดตัวแปรเดี่ยวที่ต้องประมาณค่าพารามิเตอร์มากที่สุดในการวิจัยครั้งนี้ คือจำนวน 29 ค่า (ประกอบด้วยค่าน้ำหนักองค์ประกอบและสัมประสิทธิ์ถดถอย 10 ค่า ค่าเฉลี่ย 3 ค่า และความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรแฝงและความคลาดเคลื่อนการวัดจำนวน 16 ค่า) การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EQS ประมาณค่าพารามิเตอร์อิสระ (free parameters) ไม่เกิน 19 ค่า หากมีการกำหนดค่าให้กับพารามิเตอร์จำนวน 10 ค่า (fixed parameters) โดยการนำค่าประมาณจากการวิเคราะห์ครั้งแรกๆ ไปแทนค่าพารามิเตอร์นั้นในการวิเคราะห์ครั้งถัดไป เพื่อไม่ต้องประมาณค่าในการวิเคราะห์อีก เป็นควบคุมจำนวน free parameters ไม่ให้เกินจำนวนกำหนด หลักการกำหนด free parameters เช่นเดียวกับการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการในคุณลักษณะการคิดคำนวณ

เมื่อวิเคราะห์และพัฒนาโมเดลไประยะหนึ่ง จะได้ค่าการประมาณพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรแฝงพัฒนาการจากการวิเคราะห์โมเดลที่สอดคล้องกับข้อมูล มากำหนดเป็น fixed parameters คือ ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยระหว่างคะแนนจริงครั้งที่ติดกัน $\eta_i \rightarrow \eta_{i+1}$ เท่ากับ 0.621, 0.743, 1.379 และ1.166 ตามลำดับ ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรแฝงพัฒนาการ ได้เป็นโมเดลแรก คือโมเดล SLQ-M1 ผลการวิเคราะห์พบว่าโมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูล กล่าวคือ $\chi^2(1,n=469) = 2.017$, P=0.1465 อัตราไค-สแควส์ เท่ากับ 2.017ค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และ GFI เท่ากับ 0.997 และ 0.998 ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดล และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเท่ากับ 0.115 และ 0.049 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าโมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูล แต่เนื่องจากต้องการค่าประมาณของความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมของตัวแปร

แฝงพัฒนาการที่เป็น free parameters จึงต้องพัฒนาโมเดลต่อเพื่อค้นหาโมเดลตัวแทนที่มีความสอดคล้องกับข้อมูล โดยการนำความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งที่1-5 หรือ var(E_i) เท่ากับ 2.146, 3.331, 3.206, 4.498 และ 6.700 ตามลำดับ และความแปรปรวนของคะแนนเศษเหลือในการวัดครั้งที่ 1-5 หรือ (var(D_i)) เท่ากับ 1.136, 1.776, 0.531, 0.531 และ 1.037 ตามลำดับ มากำหนดเป็น fixed parameters แทน จึงได้เป็นโมเดล SLQ-M2 และโมเดล SLQ- M3

โมเดลที่สอง SLQ- M2 เป็นโมเดลที่กำหนดความแปรปรวนของคะแนนความคลาดเคลื่อนในการวัดทั้ง 5 ครั้งเป็น fixed parameters และความแปรปรวนของส่วนที่เหลือของคะแนนจริงในการวัดทั้ง 5 ครั้งเป็น free parameters ผลการวิเคราะห์พบว่า $\chi^2(1,n=469) = 2.109$, P=0.1464 อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 2.109 ค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และ GFI เท่ากับ 0.997 และ 0.998 ตามลำดับ สำหรับเศษเหลือของโมเดลและค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 0.138 และ 0.049 แสดงให้เห็นว่า โมเดลนี้ความสอดคล้องกับข้อมูล

โมเดลที่สาม SLQ-M3 เป็นโมเดลที่กำหนดความแปรปรวนของคะแนนความคลาดเคลื่อนในการวัดทั้ง 5 ครั้งเป็น free parameters และความแปรปรวนของส่วนที่เหลือของคะแนนจริงในการวัดทั้ง 5 ครั้งเป็น fixed parameters ผลการวิเคราะห์พบว่า $\chi^2(1,n=469) = 2.245$, P=0.1340 อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 2.245 ค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และ GFI เท่ากับ 0.997 และ 0.998 ตามลำดับ สำหรับเศษเหลือของโมเดล และค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 0.109 และ 0.052 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าโมเดลนี้ความสอดคล้องกับข้อมูลเช่นกัน

จะเห็นว่าโมเดลทั้งสามมีค่าความสอดคล้องของโมเดลในภาพรวมใกล้เคียงกันมาก แต่โมเดล SLQ-M1 เป็นโมเดลตัวแทนของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการของคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เพราะมีค่าความน่าจะเป็นสูงสุด และมีค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำสุด สำหรับค่าประมาณที่ได้ คือ ค่าน้ำหนักของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง (SLP-LI) ในการวัดครั้งที่ 1-5 เท่ากับ 0, 1, 1.738, 0.198 และ 0.905 และค่าน้ำหนักของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งในการวัดครั้งที่1-5 เท่ากับ 0, 1, 1.390, 1.516 และ 1.444 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้นเท่ากับ 6.887 และ 0.699 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงเท่ากับ 2.947 และ 4.220 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งเท่ากับ −6.688 และ 3.497 ความสัมพันธ์ระหว่าง 3 ตัวแปรแฝงพัฒนาการ คือ คะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง คะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง อัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งเท่ากับ −0.601,-0.322 และ −0.970 ตามลำดับ

สำหรับโมเดล SLQ-EQ เป็นจะใช้เปรียบเทียบกับโมเดลพหุระดับ คือ กำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งที่ 1-5 เท่ากัน (ผลการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 3.083) และกำหนดค่าเฉพาะน้ำหนักองค์ประกอบของพัฒนาการในการวัดครั้งที่ 1-5

ผลการวิเคราะห์ภาพรวมทั้งโมเดล ปรากฏว่าโมเดลนี้เป็นโมเดลที่ไม่สอดคล้องกับข้อมูล กล่าวคือ $\chi^2(1,n=469)= 4.134$, $P=0.001$ อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 4.134 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล คือ ดัชนี CFI และ GFI เท่ากับ 0.993 และ 0.997 ตามลำดับความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 0.139 และ 0.013 ตามลำดับ

โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐานชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ คือ โมเดล SLQ-B เขียนเป็นสมการดังนี้

สมการการวัด

$$
\begin{aligned}
y_1 &= \eta_1 + \varepsilon_1 \\
y_2 &= \eta_2 + \varepsilon_2 \\
y_3 &= \eta_3 + \varepsilon_3 \\
y_4 &= \eta_4 + \varepsilon_4 \\
y_5 &= \eta_5 + \varepsilon_5
\end{aligned}
$$

สมการโครงสร้าง

$$
\begin{aligned}
\eta_2 &= 1.711\eta_1 + \zeta_2 \\
\eta_3 &= 0.522\eta_2 + \zeta_3 \\
\eta_4 &= 1.015\eta_3 + \zeta_4 \\
\eta_5 &= 1.017\eta_4 + \zeta_5
\end{aligned}
$$

โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลสูงสุด คือ โมเดล SLQ-M2 เขียนเป็นสมการดังนี้

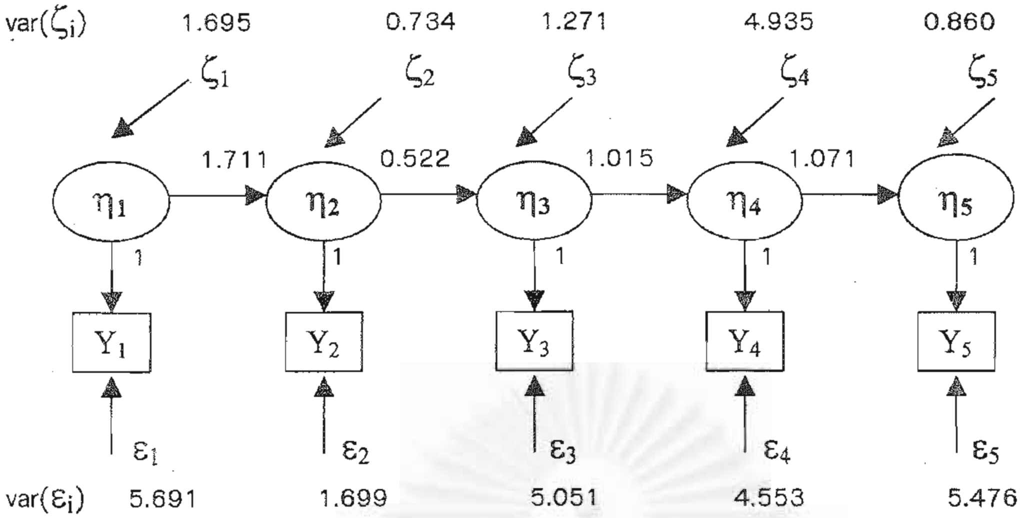
สมการการวัด

$$
\begin{aligned}
y_1 &= \eta_1 + \varepsilon_1 \\
y_2 &= \eta_2 + \varepsilon_2 \\
y_3 &= \eta_3 + \varepsilon_3 \\
y_4 &= \eta_4 + \varepsilon_4 \\
y_5 &= \eta_5 + \varepsilon_5
\end{aligned}
$$

สมการโครงสร้าง

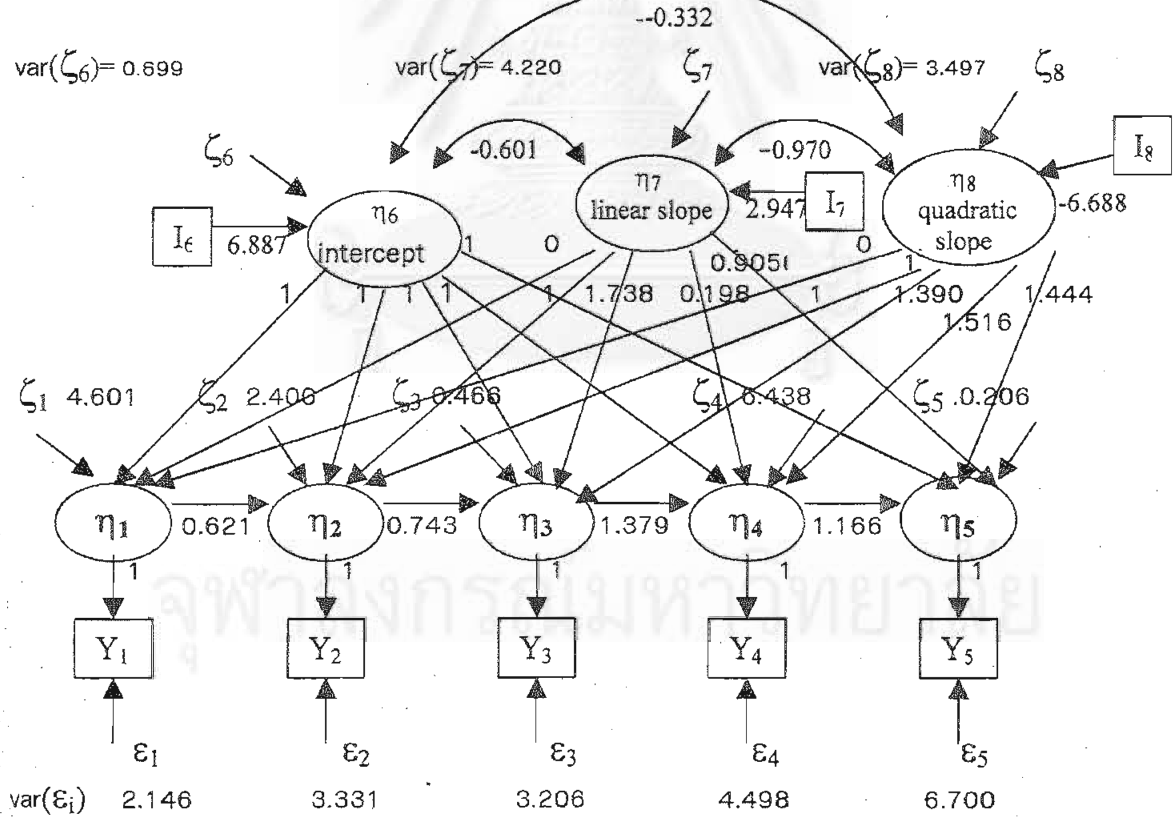
$$
\begin{aligned}
\eta_1 &= \eta_6 + 0\,\eta_7 + \zeta_1 \\
\eta_2 &= 0.621\eta_1 + 1\,\eta_6 + 1\eta_7 + 1\eta_8 + \zeta_2 \\
\eta_3 &= 0.743\eta_2 + 1\,\eta_6 + 1.738\eta_7 + 1.390\eta_8 + \zeta_3 \\
\eta_4 &= 1.379\eta_3 + 1\,\eta_6 + 0.198\eta_7 + 1.516\eta_8 + \zeta_4 \\
\eta_5 &= 1.166\eta_4 + 1\,\eta_6 + 0.905\eta_7 + 1.444\eta_8 + \zeta_5 \\
\eta_6 &= 6.887I_6 + \zeta_6 \\
\eta_7 &= 2.947\,I_7 + \zeta_7 \\
\eta_8 &= -6.688\,I_8 + \zeta_8
\end{aligned}
$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



โมเดล SLQ-B χ^2 (1,n=469) = 7.111 P= 0.008 CFI = 0.986 GFI= 0.994

ภาพที่ 23 ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง ช่วงเวลาต่างกัน



โมเดล SLQ-M1 χ^2 (5, n=469) = 2.109 P= 0.1464 CFI = 0.997 GFI= 0.998

ภาพที่ 24 ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน

4.3 ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรพหุระหว่างการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา

ตารางที่ 26 ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรพหุระหว่างการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน

พารามิเตอร์	1. CLSL-Q31 ได้จาก QCL-M3 และ SLQ-M1	2. CLSL-Q32 ได้จาก QCL-M3 และ SLQ-M2	3. CLSL-Q33 ได้จาก QCL-M3 และ SLQ-M3	4. CLSL-EQ ได้จากQCL-EQ และ SLQ-EQ
COR(INTC, INTS)	0.972	0.547	– 0.554	*
COR(INTC, SLP-LI)	-0.160	-0.209	-0.067	-0.276
COR(INTC,SLP-QD)	-0.108	-0.080	-0.104	-0.436
COR(INTS, SLPC)	-0.634	-0.404	-0.370	*
COR(SLPC, SLP-LI)	-0.067	0.098	-0.136	*
COR(SLPC,SLP-QD)	0.274	0.248	0.245	*
COR(INTC,SLPC)	-0.903	-0.905	0.904	a
COR(INTS,SLP-LI)	-0.189	-0.346	-0.148	-0.531
COR(INTS,SLP-QD)	-0.449	-0.111	-0.642	-0.022
COR(SLP-LI SLP-QD)	-0.833	-0.896	-0.860	-0.978
CHI-SQUARE (df)	116.977 35	124.248 35	123.562 35	1629 35
CHI-SQUARE /df	3.341	3.550	3.533	20.253
P	0.001	0.001	0.001	0.001
CFI	0.959	0.955	0.955	0.198
GFI	0.953	0.950	0.950	0.747
RMR	0.859	0.951	0.902	47.908
RMSEA	0.071	0.074	0.074	0.312

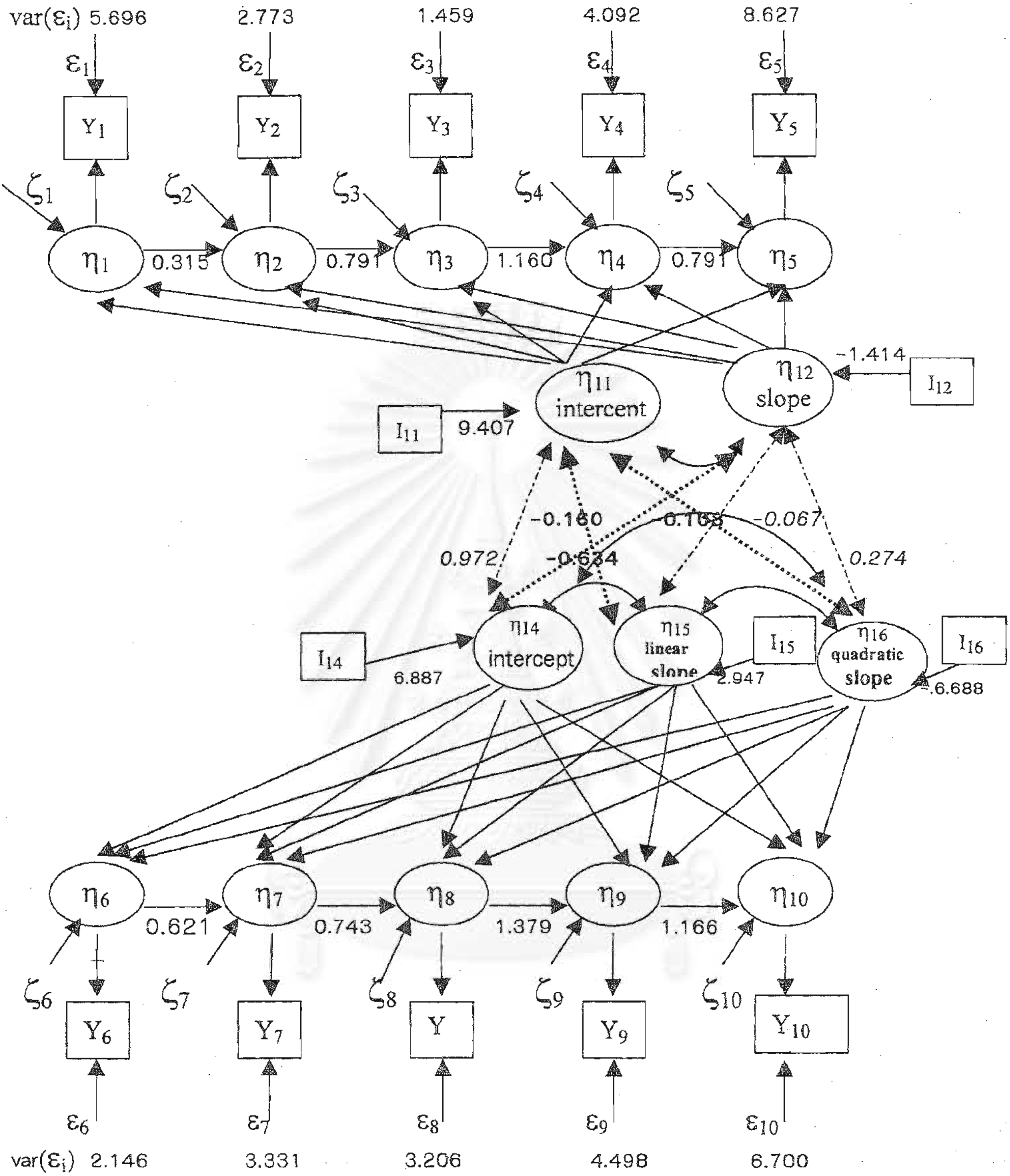
จากผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว โมเดลที่สอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลของคุณลักษณะการคิดคำนวณมีเพียงโมเดลเดียว คือ โมเดล QCL-M3 ส่วนคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา พบว่า โมเดลที่สอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลใกล้เคียงกันมี 3 โมเดล คือ โมเดล SLQ-M1, SLQ-M2 และ SLQ-M3 (มีค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และ GFI เท่ากับ 0.997 และ 0.998 เท่ากันทั้ง 3 โมเดล และมีค่าอัตราไค-สแควส์ใกล้เคียงกันมากคือ 2.1-2.3) จึงทดลองนำมาวิเคราะห์ชนิดตัวแปรพหุระหว่าง 2 คุณลักษณะนี้ ในการวิเคราะห์ต้องประมาณค่าพารามิเตอร์ความแปรผันของชุด

คุณลักษณะนี้ ในการวิเคราะห์ต้องประมาณค่าพารามิเตอร์ความแปรผันของชุดตัวแปรแฝงซึ่งเป็นคะแนนจริง (var(Di)) และประมาณค่าความแปรผันของชุดตัวแปรแฝงพัฒนาการ ด้วยใช้ค่าเดิมของแต่ละโมเดลเป็นค่าตั้งต้น เพื่อสามารถวิเคราะห์ความผันแปรร่วมข้ามคุณลักษณะได้

ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่าง 2 สมรรถภาพ พบว่า โมเดล CLSL-Q31 เป็นโมเดลที่ได้จากการนำค่าประมาณพารามิเตอร์โมเดลด้านคิดคำนวณ โมเดล QCL-M3 มาวิเคราะห์ร่วมกับ โมเดล SLQ-M1 ด้านโจทย์ปัญหา เป็นโมเดลที่มีความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำที่สุด แม้ว่าจะไม่สอดคล้องกับข้อมูล แต่ค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลสูงกว่าโมเดลอื่นๆ คือ $\chi^2(35,n=469) = 116.977$, P=0.001 ค่าอัตราไค-สแควส์เท่ากับ 3.341 ดัชนีที่ชี้ถึงระดับความสอดคล้องกลมกลืนของโมเดล คือ ดัชนี CFI เท่ากับ 0.959 ดัชนี GFI เท่ากับ 0.953 ความคลาดเคลื่อนของโมเดล และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 0.859 และ 0.071 ตามลำดับ

ค่าประมาณพารามิเตอร์ที่สำคัญของโมเดล CLSL-Q31 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงพัฒนาการข้ามคุณลักษณะ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา (INTC, INTS) มีค่าสูงมากเท่ากับ0.971 สำหรับความสัมพันธ์แบบ lagged effect ระหว่างคะแนนเริ่มต้นของคุณลักษณะหนึ่งกับอัตราพัฒนาการของอีกคุณลักษณะหนึ่งในโมเดลนี้มี 3 คู่ คือ คะแนนเริ่มต้นของการคิดคำนวณกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงการแก้โจทย์ปัญหา (INTC,SLP-LI) เท่ากับ -0.160 คะแนนเริ่มต้นการคิดคำนวณกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงการแก้โจทย์ปัญหา (INTC,SLP-QD) เท่ากับ -0.108 ส่วนคะแนนเริ่มต้นการแก้โจทย์ปัญหากับอัตราพัฒนาการการคิดคำนวณ (INTS,SLPC) เท่ากับ -0.634 สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงพัฒนาการของคุณลักษณะเดียวกันจำนวน 4 คู่ ในการวิเคราะห์ด้วยโมเดลชนิดตัวแปรพหุ พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ด้วยโมเดลชนิดตัวแปรเดี่ยว กล่าวคือ ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการการคิดคำนวณ เท่ากับ -0.903 ส่วนคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง (INTS,SLP-LI) เท่ากับ -0.189 ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง(INTS,SLP-QD)เท่ากับ -0.449 อัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง (SLP-LI, SLP-QD) เท่ากับ -0.833

อนึ่งสำหรับโมเดล CLSL-EQ เป็นโมเดลชนิดตัวแปรเดี่ยว ที่กำหนดค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทั้ง 5 ครั้งของแต่ละคุณลักษณะเท่ากัน ปรากฏว่ามีความคลาดเคลื่อนของโมเดลสูงมาก และไม่สามารถประมาณค่าความผันแปรร่วมข้ามคุณลักษณะในหลายพารามิเตอร์ได้



โมเดล CLSL-Q31 χ^2 (35, n=469)= 16.977 P= 0.001 CFI= 0.959 GFI = 0.953

ภาพที่ 25 ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน

ตารางที่ 27 การเปรียบเทียบโมเดลการเปลี่ยนแปลงระยะยาวเชิงเส้นตรง ชนิดตัวแปรเดี่ยว ระหว่าง 3 โมเดล คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ มัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงการวัดต่างกัน

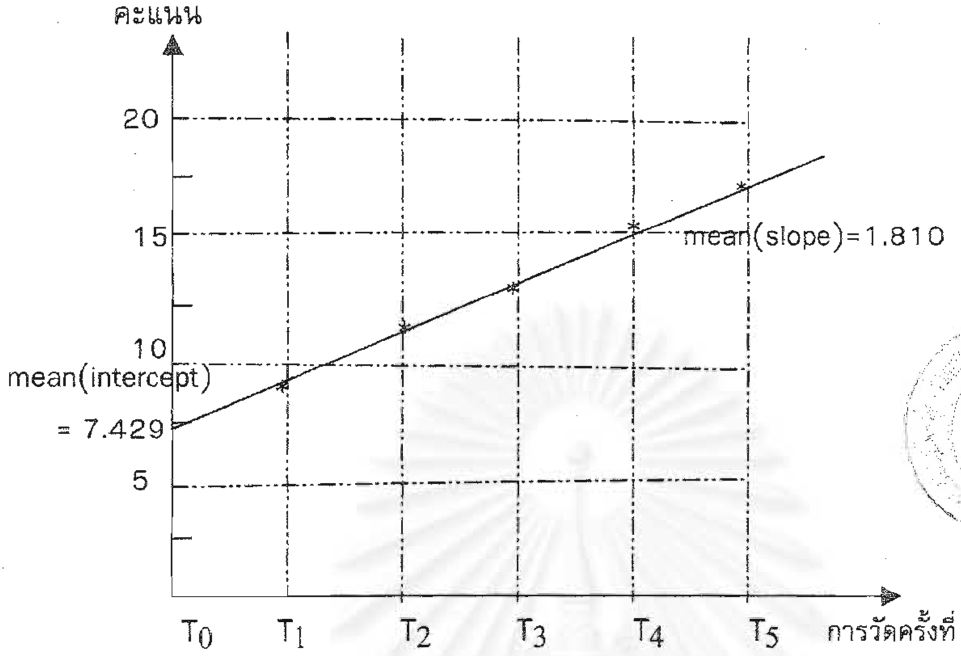
พารามิเตอร์	1. โมเดลพหุระดับ	2.โมเดลโค้งพัฒนาการ ฯ		3.โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ - พัฒนาการ	
	UNCENTERED	GCL-401	GCL-EQ	QCL-M3	QCL-EQ
β_{11}	0	0	0	0	0
β_{12}	1	1	1	1	1
β_{13}	2	2.225 (13.8)	2	3.631 (4.1)	2
β_{14}	3	3.744 (12.3)	3	6.551 (4.8)	3
β_{15}	4	5.226 (11.8)	4	2.459 (4.2)	4
VAR(E1)	7.320 (27.6)	4.539 (7.1)	7.00 (26.5)	5.696	0.826 (1.5)
VAR(E2)	7.320 (27.6)	8.177 (13.5)	7.00 (26.5)	2.773	0.826 (1.5)
VAR(E3)	7.320 (27.6)	9.121 (14.1)	7.001(26.5)	1.459	0.826 (1.5)
VAR(E4)	7.320 (27.6)	11.046 (11.9)	7.001 (26.5)	4.092	0.826 (1.5)
VAR(E5)	7.320 (27.6) *7.819*	0.452 (0.3)	7.001 (26.5)	8.627	0.826 (1.5)
Mean (INTC)	*7.430 (42.2)*	9.406 (63.0)	9.114(61.6)	9.407(63.1)	9.333(60.9)
Mean (SLPC)	*1.810 (25.9)*	1.555 (10.2)	2.047(29.6)	-1.414(-6.6)	-0.484(-1.2)
VAR(INTC)	*6.352 (82.0)*	6.106 (8.8)	6.037 (8.8)	4.657 (7.4)	4.168 (5.7)
VAR(SLPC)	*1.526(141.2)*	1.028 (5.0)	1.539 (9.3)	0.310(4.2)	0.231 (1.9)
COR (INTC,SLPC)	*-0.419*	-0.075	-0.011	-0.900	-0.458
Model Fit Index					
R^2	*0.625*				
χ^2 (df)	313.136 (18)	3.006 (4)	149.043 (14)	7.989 (7)	51.357 (10)
χ^2 /df	17.396	0.7515	10.646	1.141	5.271
p	.001	0.5568	0.001	0.0920	0.001
CFI	0.751	1.000	0.886	0.997	0.965
GFI	0.860	0.998	0.897	0.994	0.958
RMR	3.991	0.433	2.372	0.456	1.544
RMSEA	0.187	0.0	0.144	0.046	0.094

ในโมเดลพหุระดับ (1).ข้อมูลตัวเอนในเป็นค่าประมาณจากโปรแกรม HLM .ส่วนค่า MODEL-FIT INDEX ได้จากโปรแกรม EQS (2). ค่าสถิติทดสอบนัยสำคัญของ VAR(INTC) และ VAR(SLPC) จากโปรแกรม HLM เป็นค่าไค-สแควส์ ขณะที่ค่า Mean (INTC) และ Mean (SLPC) เป็นสถิติ t

ผลการเปรียบเทียบโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ ระหว่าง โมเดลพหุระดับ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ พบว่า โมเดลที่มีประสิทธิภาพสอดคล้องกับข้อมูลสูงสุด 2 โมเดล และความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำ เป็นโมเดลที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งต่างกัน คือ โมเดล GCL-401 และโมเดล QCL-M1 ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและรองลงมา สำหรับโมเดล GCL-401 เป็นโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และความคลาดเคลื่อนในการวัดมีความสัมพันธ์กัน 4 คู่ ดัชนีที่แสดงถึงประสิทธิภาพของโมเดลนี้ คือ $\chi^2(4,n=469)=3.006$, $P=0.5568$ อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 0.7515 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และGFI เท่ากับ 1.000 และ 0.998 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 0.433 และ 0.0 ตามลำดับ ส่วน โมเดล QCL-M1 อันโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งต่างกัน คือ $\chi^2(4,n=469)=3.006$, $P=0.5568$ อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 0.7515 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และGFI เท่ากับ 1.000 และ 0.998 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 0.433 และ 0.0 ตามลำดับ

สำหรับโมเดลที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากัน พบว่า ทุกโมเดลไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูล โดยที่โมเดล QCL-EQ ซึ่งเป็นโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรพัฒนาการ มีความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำกว่าอีก 2 โมเดล คือ ค่าอัตราไค-สแควส์เท่ากับ 5.271 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และ GFI เท่ากับ 0.965 และ 0.958 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเท่ากับ 1.544 และ 0.094 ตามลำดับ รองลงมาคือโมเดล GCL-EQ ซึ่งเป็นโมเดลโค้งพัฒนาการฯ และโมเดล UNCENTERED ซึ่งเป็นโมเดลพหุระดับ ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



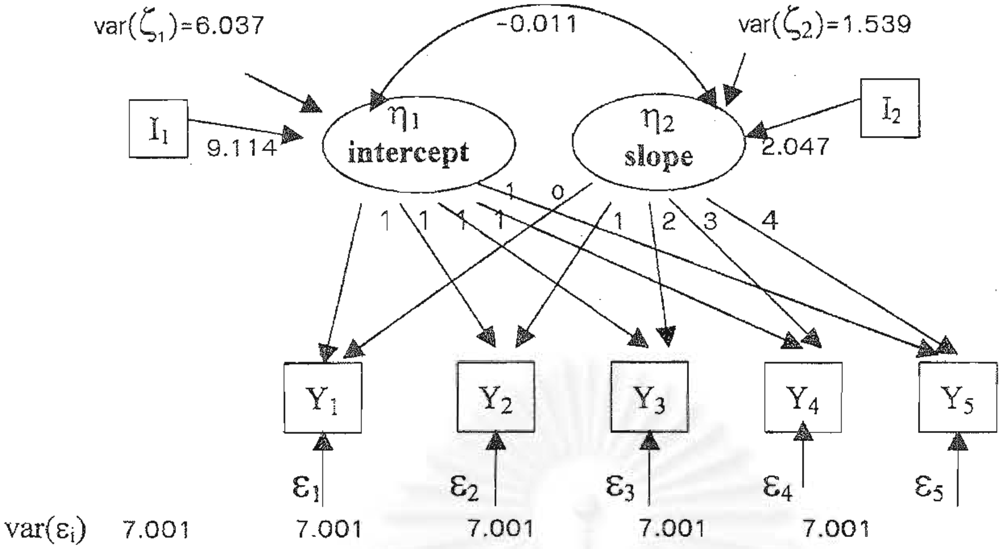
อิทธิพลสุ่ม คือ var(intercept)= 6.352 var(slope)= 1.526 var(error)= 7.819

เมื่อนำค่าประมาณมาวิเคราะห์ความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลด้วยโปรแกรม EQS ได้ค่าดังนี้

โมเดล uncentered $\chi^2(18, n=469) = 313.136$ P= 0.001 CFI = 0.751 GFI= 0.860

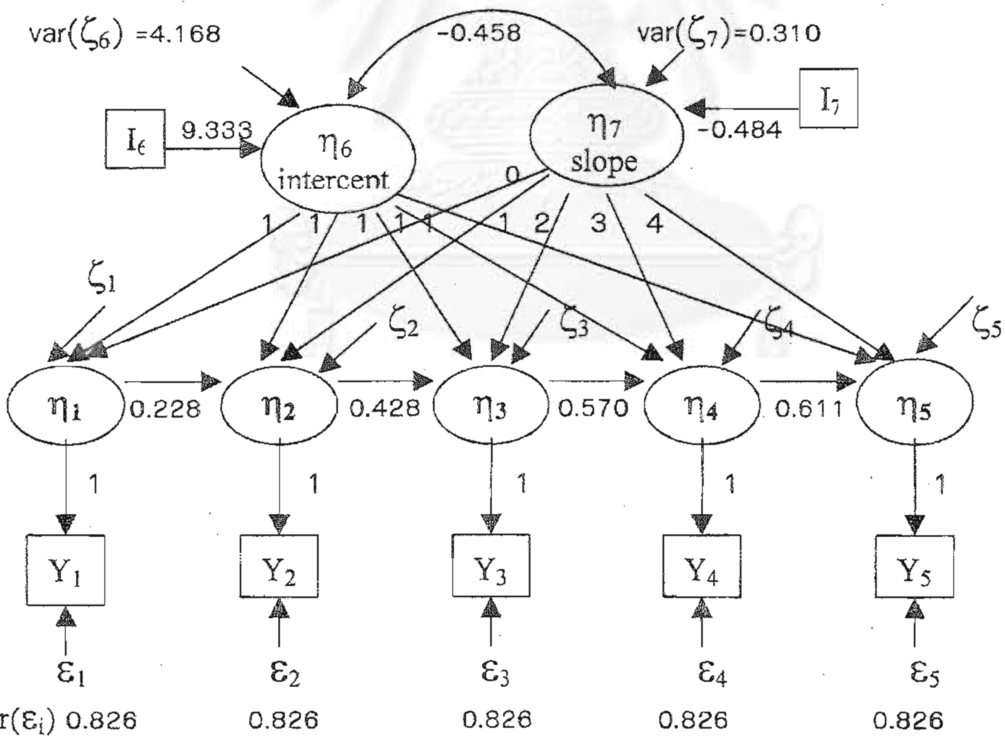
ภาพที่ 26 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์โมเดลพหุระดับ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ จากการวัด 5 ครั้ง ที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



โมเดล GCL-EQ $\chi^2(14, n=469)$ = 149.043 P= 0.001 CFI = 0.886 GFI= 0.897

ภาพที่ 27 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง
ที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากัน
ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ จากการวัด 5 ครั้ง



โมเดล QCL-EQ $\chi^2(10, n=469)$ = 51.357 P= 0.001 CFI = 0.965 GFI= 0.958

ภาพที่ 28 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ
ที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากัน
ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ จากการวัด 5 ครั้ง

5.2 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์

ตารางที่ 27 การเปรียบเทียบโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวแบบแผนไม่ใช่เส้นตรง ระหว่าง 3 โมเดล ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ มัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงการวัดต่างกัน

พารามิเตอร์	1. โมเดลพหุระดับ	2.โมเดลโค้งพัฒนาการ ฯ		3.โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์-พัฒนาการ	
	UNCENTERED	SLG-1	SLG-EQ	SLQ-M1	SLQ-EQ
β_{11}	0	0	0	0	0
β_{12}	1	1	1	1	1
β_{13}	2	2.446 (7.7)	2	1.738 (7.5)	1.952 (8.7)
β_{14}	3	1.850 (6.2)	3	0.198 (0.4)	0.742 (4.7)
β_{15}	4	2.030 (4.5)	4	0.905 (4.3)	1.179 (7.6)
β_{21}	0	0	0	0	0
β_{22}	1	1	1	1	1
β_{23}	4	1.768 (5.6)	4	1.390 (8.1)	1.559 (9.2)
β_{24}	9	3.869 (8.1)	9	1.516 (2.6)	1.450 (5.8)
β_{25}	16	5.591 (7.2)	16	1.444 (4.2)	1.577 (9.7)
Mean (INTS)	*7.096 (27.8)*	6.863 (55.3)	6.902(55.4)	6.887 (54.8)	6.880 (54.8)
Mean (SLP-LI)	*-0.396 (-2.0)*	-0.190 (-1.0)	0.179 (1.4)	2.947 (1.0)	3.119 (16.0)
Mean (SLP-QD)	*0.245 (7.5)*	0.806 (5.3)	0.215 (6.9)	-6.688 (-2.2)	-6.837 (0)
VAR(INTS)	*7.296 (607.7)*	4.000 (11.2)	3.181 (6.7)	0.699 *	1.031 (5.0)
VAR(SLP-LI)	*3.521 (584.6)*	1.961 (8.8)	1.933 (3.8)	4.220 *	4.512 (1.7)
VAR(SLP-QD)	*0.109 (604.6)*	0.653 (6.1)	0.125 (4.2)	3.497 *	1.204 (0.4)
COR(INTS,SLP-LI)	*-0.816*	-0.433	-0.435	-0.601	-0.410
COR(INTS,SLP-QD)	*0.706*	0.058	0.311	-0.322	-0.093
COR(SLP-LI,SLP-QD)	*-0.922*	-0.654	-0.840	-0.970	-1.036
MODEL-FIT INDEX					
R^2	*0.489*				
χ^2 (df)	237.589 (16)	2.058 (3)	82.298 (11)	2.107 (1)	4.134 (1)
χ^2 /df	14.849	0.686	7.482	2.107	4.134
P	0.001	0.5605	0.001	0.1465	0.001
CFI	0.499	1.000	0.839	0.997	0.993
GFI	0.891	0.999	0.947	0.998	0.997
RMR	2.004	0.135	0.925	0.115	0.139
RMSEA	0.172	0.0	0.118	0.049	0.013

ในโมเดลพหุระดับ (1).ข้อมูลตัวเอนในเป็นค่าประมาณจากโปรแกรม HLM .ส่วนค่า MODEL-FIT INDEX ได้จากโปรแกรม EQS (2). ค่าสถิติทดสอบนัยสำคัญของ VAR(INTC) และ VAR(SLPC) จากโปรแกรม HLM เป็นค่าไค-สแควส์ ขณะที่ค่า Mean (INTC) และ Mean (SLPC) เป็นสถิติ t

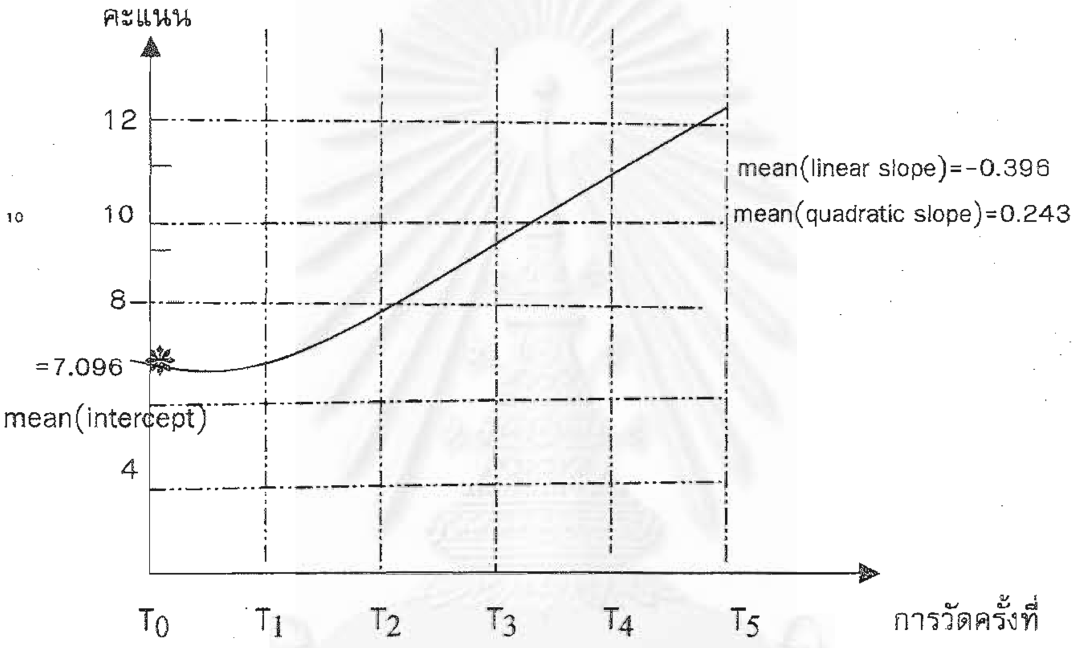
จากการวิเคราะห์การวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ระหว่างโมเดลต่างๆ ได้โมเดลตัวแทนของแต่ละโมเดล ดังนี้ โมเดลพหุระดับ คือ โมเดล uncentered โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง คือ โมเดล SLG-EQ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรพัฒนาการ คือโมเดล SLQ-EQ ที่ทั้งสามโมเดลเป็นโมเดลที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากัน (homogeneity) สำหรับโมเดล SLG-1 และโมเดล SLQ-M1 เป็นโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรพัฒนาการ ที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งต่างกัน (heterogeneity)

ผลการเปรียบเทียบพบว่า โมเดลที่มีประสิทธิภาพสอดคล้องกับข้อมูลสูงสุด 2 โมเดล และความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำ เป็นโมเดลที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งต่างกัน คือ โมเดล SLG-1 และโมเดล SLQ-M1 ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและรองลงมา สำหรับโมเดล SLG-1 เป็นโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ดัชนีที่แสดงถึงประสิทธิภาพของโมเดลนี้ คือ $\chi^2(3,n=469)=2.058$, $P=0.5605$ อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 0.686 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และGFI เท่ากับ 1.000 และ 0.999 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 0.135 และ 0.0 ตามลำดับ ส่วน โมเดล SLQ-M1 อันโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งต่างกัน ดัชนีที่แสดงถึงประสิทธิภาพของโมเดลนี้ คือ $\chi^2(1,n=469)=2.107$, $P=0.1465$ อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 2.107 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และ GFI เท่ากับ 0.997 และ 0.998 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 0.115 และ 0.049 ตามลำดับ

สำหรับโมเดลที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากัน พบว่าทุกโมเดลไม่สอดคล้องกับข้อมูล โดยที่โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรพัฒนาการ คือโมเดล SLQ-EQ มีความคลาดเคลื่อนของโมเดลน้อยที่สุด คือ $\chi^2(1,n=469)=4.134$, $P=0.001$ ค่าอัตราไค-สแควส์ เท่ากับ 4.134 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และ GFI เท่ากับ 0.993 และ 0.997 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเท่ากับ 0.139 และ 0.013 ตามลำดับ รองลงมาคือโมเดล SLG-EQ ซึ่งเป็นโมเดลโค้งพัฒนาการฯ และโมเดล UNCENTERED ซึ่งเป็นโมเดลพหุระดับ ตามลำดับ

เป็นที่น่าสังเกตเกี่ยวกับค่าประมาณของตัวแปรแฝงพัฒนาการว่า คะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยของเกือบทุกโมเดล (ยกเว้นโมเดลพหุระดับ)มีค่าอยู่ในช่วง 6.863-6.902 อันเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับคะแนนดิบจากการวัดครั้งแรก (Y1) คือ 6.886 ขณะที่คะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยของโมเดลพหุระดับเท่ากับ 7.096 ข้อสังเกตประการที่สองคือ ค่าเฉลี่ยของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงของโมเดลพหุระดับกับโมเดลโค้งพัฒนาการ ฯ มีค่าค่อนข้างต่ำเป็นลบ ส่วนค่าเฉลี่ยของ

อัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งของโมเดลพหุระดับกับโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงมีค่าค่อนข้างต่ำเป็นค่าเป็นบวก และข้อสังเกตอีกประการ คือ ความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงมีมากกว่าความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งเหมือนกันทุกโมเดล สำหรับนำเสนอภาพโมเดลที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากันทั้ง 3 โมเดล ส่วนภาพโมเดลที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งต่างกัน นำเสนอไว้แล้วในแต่ละหัวข้อที่ผ่านมา

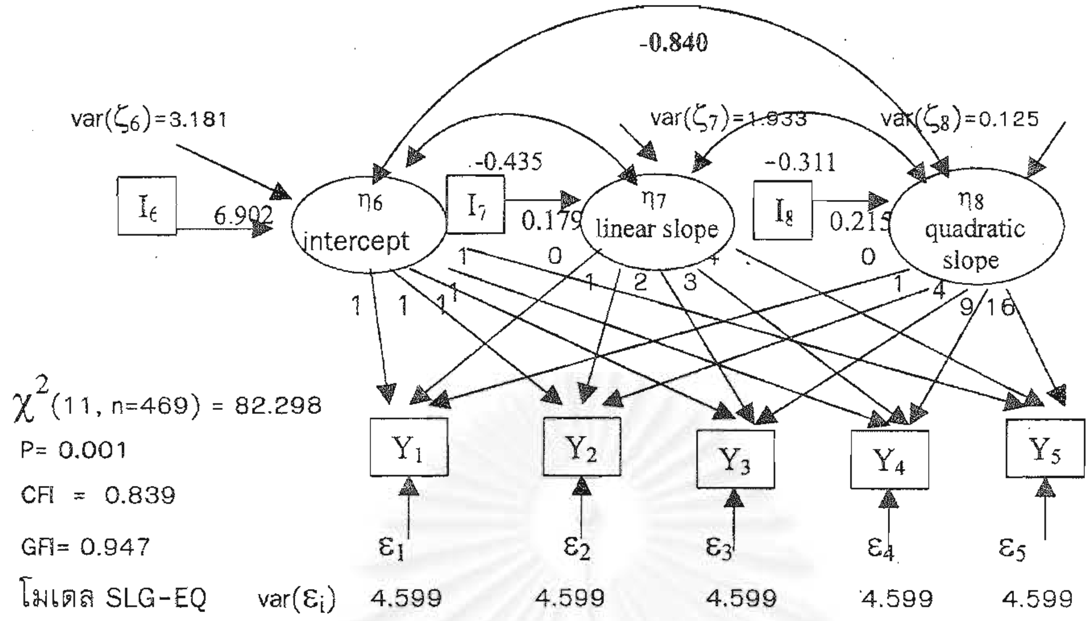


อิทธิพลสุ่ม คือ var(intercept)= 7.296 var(linear slope)= 3.521
var(Quadratic slope)=0.109 var(error)= 5.518

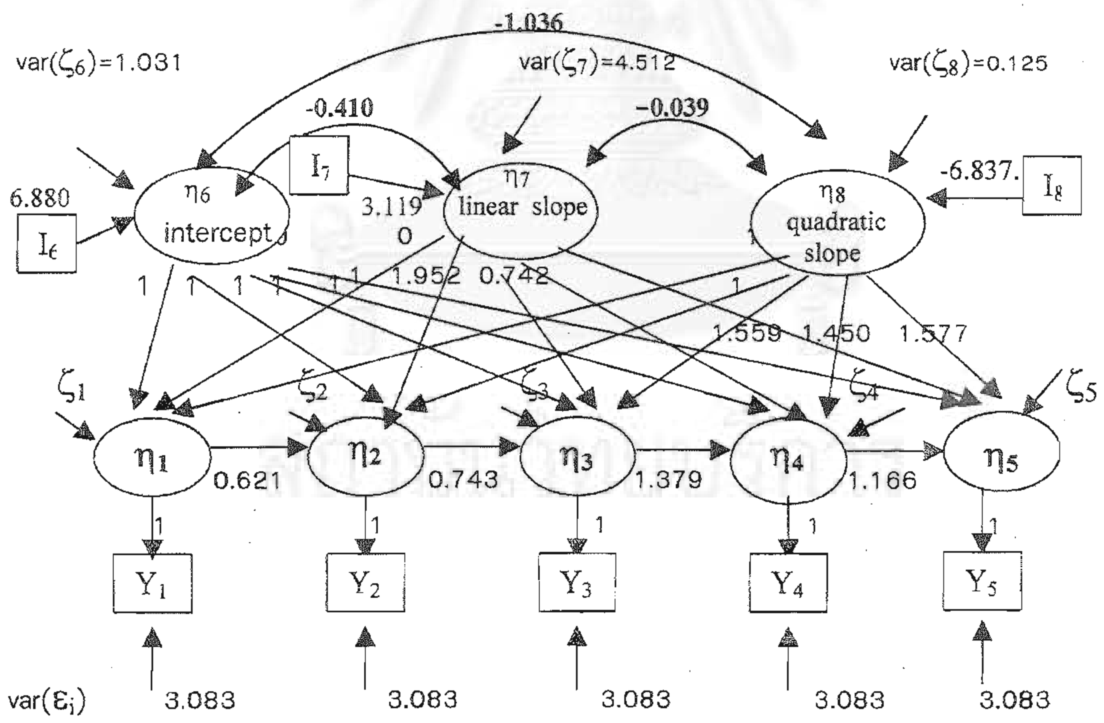
เมื่อนำค่าประมาณมาวิเคราะห์ความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลด้วยโปรแกรม EQS ได้ค่าดังนี้

โมเดล uncentered $\chi^2(16, n=469) = 237.589$ P= 0.001 CFI = 0.499 GFI= 0.891

ภาพที่ 29 ผลการประมาณค่าโมเดลพหุระดับ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง ช่วงการวัดต่างกัน



ภาพที่ 30 ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว ที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากัน คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง



โมเดล SLQ-EQ χ^2(5, n=469)=4.134 P= 0.001 CFI = 0.993 GFI= 0.997

ภาพที่ 31 ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว ที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากัน คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน

5.3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรพหุ

ตารางที่ 29 การเปรียบเทียบโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ระหว่าง 3 โมเดล ชนิดตัวแปรพหุ คุณลักษณะการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหาวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน

พารามิเตอร์	1.โมเดลพหุระดับ	2.โมเดลโค้งพัฒนาการ ฯ		3.โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์- พัฒนาการ	
	(UNCENTERED)	CLSL-G41	GCLSL-EQ	CLSL-Q31	QCLSL-EQ
COR(INTC, INTS)	0.149	0.410	0.430	0.972	*
COR(INTC, SLP-LI)	0.107	-0.186	-0.010	-0.160	-0.276
COR(INTC,SLP-QD)	-0.045	0.391	0.219	-0.108	-0.436
COR(INTS, SLPC)	-0.010	-0.046	-0.077	-0.634	*
COR(SLPC, SLP-LI)	0.098	-0.126	0.131	-0.067	*
COR(SLPC,SLP-QD)	0.374	0.521	0.313	0.274	*
COR(INTC,SLPC)	-0.419	-0.034	-0.011	-0.903	8
COR(INTS,SLP-LI)	-0.816	-0.433	-0.362	-0.189	-0.531
COR(INTS,SLP-QD)	0.693	0.065	0.250	-0.449	-0.022
COR(SLP-LI SLP-QD)	-0.903	-0.647	-0.787	-0.833	-0.978
MODEL-FIT INDEX					
χ^2 (df)	510.990 56	98.035 42	306.728 54	116.977 35	1629 35
χ^2 /df	9.125	2.334	5.680	3.341	20.253
P	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
CFI	0.7663	0.972	0.873	0.959	0.198
GFI	0.874	0.962	0.888	0.953	0.747
RMR	2.623	0.870	1.688	0.859	47.908
RMSEA	0.135	0.053	0.100	0.071	0.312

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการวิเคราะห์โมเดลชนิดตัวแปรพหุ วิชาคณิตศาสตร์ในโมเดลต่างๆ ได้โมเดลตัวแทนของแต่ละโมเดล ดังนี้ โมเดลพหุระดับ คือ โมเดล uncentered โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง คือ โมเดล GCLSL-EQ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรพัฒนาการ คือโมเดล QCLSL-EQ ทั้งสามโมเดลเป็นโมเดลที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากัน (homogenity) สำหรับโมเดล CLSL-G41 เป็นโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งต่างกัน (heterogeneity) และโมเดลCLSL-Q1 เป็นโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรพัฒนาการ ที่มีความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งต่างกัน (heterogeneity)

ผลการเปรียบเทียบทุกโมเดล พบว่า โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง CLSL-G41 เป็นโมเดลที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลแทบทุกดัชนีที่ชี้บ่งประสิทธิภาพของโมเดล และความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำสุด กล่าวคือ ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และ GFI เท่ากับ 0.972 และ 0.982 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 0.870 และ 0.053 ตามลำดับ จะมีเพียงค่าสถิติไค-สแควส์ที่มีชี้ว่าโมเดลไม่มีสอดคล้องกับข้อมูล โดยที่ค่าความน่าจะเป็นของสถิตินี้มีค่าน้อยกว่า 0.05 แต่อย่างไรก็ตามจัดว่าเป็นค่าไค-สแควส์ที่ดีกว่าโมเดลอื่นๆ กล่าวคือ $\chi^2(42,n=469)=98.035$, P=0.001 อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 2.337 ส่วนโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรพัฒนาการ CLSL-Q31 เป็นโมเดลที่มีความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำรองจากโมเดล CLSL-G41 โดยที่ดัชนีชี้บ่งความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และGFI เป็น 2 ดัชนีที่ชี้ว่าโมเดล CLSL-Q31 มีประสิทธิภาพ เนื่องจากค่าดัชนีทั้งสองเท่ากับ 0.959 และ 0.953 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่า 0.95 อันเป็นเกณฑ์กำหนด ส่วนดัชนีอื่น ๆ มีแนวโน้มค่อนข้างดี คือ ความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 0.859 และ 0.071 ตามลำดับ ยกเว้นสถิติไค-สแควส์ที่ชี้ว่าโมเดลไม่มีประสิทธิภาพ กล่าวคือ $\chi^2(4,n=469) = 116.977$, P=0.001 อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 3.341

สำหรับโมเดลที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากัน พบว่า ทั้งสามโมเดลไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูล โดยที่โมเดลโค้งพัฒนาการ ฯ (โมเดล GCLSL-EQ) มีความคลาดเคลื่อนของโมเดลน้อยที่สุด รองลงมาคือ โมเดลพหุระดับ (โมเดล UNCENTERED) และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ ฯ (โมเดล QCLSL-EQ) ตามลำดับ สำหรับดัชนีชี้ประสิทธิภาพของโมเดล GCLSL-EQ คือ $\chi^2(54,n=469)=306.728$, P=0.001 ค่าอัตราไค-สแควส์เท่ากับ 5.680 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และ GFI เท่ากับ 0.873 และ 0.888 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเท่ากับ 1.688 และ 0.100 ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยวและชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ คือ คะแนนที่ได้จากการนำเครื่องมือวิจัยที่ผู้วิจัยสร้างและพัฒนาขึ้น คือ แบบสอบคณิตศาสตร์คู่ขนานจำนวน 5 ฉบับ ที่วัด 2 คุณลักษณะ คือ การคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา ดำเนินการวัดนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ในโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษาทุกโรงเรียน สังกัดสำนักงานการประถมศึกษาจังหวัดสมุทรสงคราม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2542 จำนวน 469 คน 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน 3 สัปดาห์

ตัวแปรอิสระ คือ โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว 3 โมเดล ได้แก่ โมเดลพหุระดับ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพล็กซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการที่ศึกษาจาก 2 คุณลักษณะทางคณิตศาสตร์ คือการคิดคำนวณ และการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ตัวแปรตาม คือ ค่าประสิทธิภาพของโมเดล ได้แก่ สัมประสิทธิ์การกำหนด ค่าอัตราไค-สแควส์ ดัชนีวัดระดับความสอดคล้อง คือ ดัชนี GFI ค่าดัชนี CFI ดัชนีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ดัชนีรากกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือ

สมมติฐานของการวิจัย มี 2 ประการ คือ สมมติฐานที่ 1. ประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยว ที่ได้จากโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลพหุระดับน่าจะไม่แตกต่างกัน และมีประสิทธิภาพมากกว่าโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ และสมมติฐานที่ 2. ประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรพหุ ที่ได้จากโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลพหุระดับน่าจะไม่แตกต่างกัน และมีประสิทธิภาพมากกว่าโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ

สำหรับการวิเคราะห์ค่าสถิติเบื้องต้นของข้อมูล ผู้วิจัยใช้โปรแกรม SPSS 9.0 และโปรแกรม EQS 5.7B การวิเคราะห์โมเดลพหุระดับชนิดตัวแปรเดี่ยวการคิดคำนวณ และโมเดลพหุระดับชนิดตัวแปรเดี่ยวการแก้โจทย์ปัญหา ใช้โปรแกรม HLM 4.01 เพื่ออธิบายพัฒนาการของแต่ละคุณลักษณะ ส่วนการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับชนิดตัวแปรพหุใช้โปรแกรม EQS 5.7B เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของคุณลักษณะการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา โดยคงค่าประมาณพารามิเตอร์ชนิดตัวแปรเดี่ยวไว้ สำหรับโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EQS 5.7B

ผู้วิจัยนำเสนอสรุปผลการวิจัยเป็น 4 ตอน คือ ตอนที่ 1เสนอผลการวิเคราะห์ค่าสถิติเบื้องต้น ตอนที่ 2 เป็นผลการวิเคราะห์ตามจุดมุ่งหมายการวิจัยข้อแรก ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ ตอนที่ 3 เป็นผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรเดี่ยวการแก้โจทย์ปัญหา ตอนที่ 4 เป็นผลการวิเคราะห์ตามจุดมุ่งหมายการวิจัยข้อสอง นำเสนอผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างคุณลักษณะการคิดคำนวณ กับคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา

สรุปผลการวิจัย

ตอนที่ 1 สรุปผลวิเคราะห์ค่าสถิติเบื้องต้น

ผลการวิเคราะห์สถิติเบื้องต้นของความสามารถทางคณิตศาสตร์จากการวัดนักเรียน 469 คน จำนวน 5 ครั้ง พบว่า คุณลักษณะการคิดคำนวณมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามลำดับ คือ 9.403, 10.991, 12.915, 15.193 และ 17.536 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการวัดครั้งที่ 1-5 ก็มีค่าเพิ่มตามลำดับเช่นกัน คือ 3.244, 3.855, 4.583, 5.601 และ 5.714 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายในการวัดทั้ง 5 ครั้งอยู่ระหว่างร้อยละ 32-36 ส่วนคะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาจากการวัดครั้งที่ 1-5 เพิ่มขึ้นตามลำดับ คือ 6.886, 7.425, 7.830, 9.637 และ 10.982 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานครั้งที่ 1-5 ก็มีค่าเพิ่มตามลำดับเช่นกัน คือ 2.714, 2.709, 2.803, 3.535 และ 3.814 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายในการวัดทั้ง 5 ครั้งอยู่ระหว่างร้อยละ 34-39

สำหรับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (Repeated ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในการวัดทั้ง 5 ครั้งของคุณลักษณะการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา พบว่า คะแนนการสอบแต่ละครั้งแตกต่างกันของ 2 คุณลักษณะนี้ เมื่อทดสอบการถดถอยเป็นเส้นตรง ของแต่ละคุณลักษณะทางคณิตศาสตร์ พบว่า แนวโน้มการคิดคำนวณมีแบบแผนพัฒนาการเป็นเส้นตรง (linear pattern) จึงกำหนดกำลังสูงสุดในสมการการวัดโพลีโนเมียลเป็นหนึ่ง สำหรับแนวโน้มการแก้โจทย์ปัญหามีแบบแผนพัฒนาการที่ไม่ใช่เส้นตรง (nonlinear pattern) จึงกำหนดกำลังสูงสุดในสมการการวัดโพลีโนเมียลเป็นกำลังสอง

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนการวัดคุณลักษณะการคิดคำนวณในช่วงเวลาต่างๆ 5 ครั้ง มีค่าตั้งแต่ 0.209 - 0.786 ทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างการวัดครั้งที่ 4 และ 5 มีค่าสูงสุด ส่วนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนการวัดคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาในช่วงเวลาต่างๆ 5 ครั้ง มีค่าระหว่าง 0.160 - 0.599 ทุกค่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 คือ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ข้ามคุณลักษณะระหว่างการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา จำนวน 25 คู่ พบว่า มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .01 จำนวน 21 คู่ คือมีค่าความสัมพันธ์ตั้งแต่ 0.133 - 0.613

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ ที่มีแบบแผนการเปลี่ยนแปลงระยะยาวแบบเส้นตรง

ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ ด้วยโปรแกรม HLM พบว่า. โมเดลแรก uncentered (กำหนดคะแนนเริ่มต้นของผู้สอบที่ค่าเริ่มต้นของตัวพยากรณ์) โมเดลสอง group centered (กำหนดคะแนนเริ่มต้นของผู้สอบที่ค่าเฉลี่ยของตัวพยากรณ์ระดับที่ 2) และ.โมเดลสาม grand centered (กำหนดคะแนนเริ่มต้นของผู้สอบที่ค่าเฉลี่ยรวมของตัวพยากรณ์) ทั้ง 3 โมเดลมีค่าสัมประสิทธ์การพยากรณ์เท่ากัน คือ 0.625 โดยที่โมเดลแรก uncentered ได้ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้นคุณลักษณะการคิดคำนวณเท่ากับ 7.429 และ 6.352 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการเท่ากับ 1.810 และ 1.526 ตามลำดับ ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนการวัดคือ 7.819 ทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเท่ากับ -0.419 ส่วนโมเดล group centered และโมเดล grand centered พบว่า คะแนนเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะการคิดคำนวณทั้ง 2 โมเดลมีค่าใกล้เคียงกันมากคือ 12.82 ค่าความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้นของ 2 โมเดลเท่ากับ 12.305 และ 12.128 อัตราพัฒนาการเฉลี่ยใกล้เคียงกันมากคือ 1.80 ค่าความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการของ 2 โมเดลเท่ากับ 1.536 และ 1.526 ตามลำดับ ค่าประมาณทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 สำหรับความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนการวัดของ 2 โมเดลมีค่าใกล้เคียงกันมากคือ 7.18 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการของคุณลักษณะการคิดคำนวณทั้ง 2 โมเดล เท่ากับ 0.75

ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ด้วยโปรแกรม EQS พบว่า โมเดลที่ประมาณค่าน้ำหนักองค์ประกอบของอัตราพัฒนาการในการวัดทุกครั้งเป็นอิสระ (free factor loading) และกำหนดความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งมีความแปรปรวนไม่เท่ากันและมีความสัมพันธ์กัน 4 คู่ คือ โมเดล GCL-401 มีความสอดคล้องกับข้อมูลสูงสุดกว่าทุกโมเดล กล่าวคือ ค่าไค-สแควส์ของโมเดลเท่ากับ 3.006, n=469, P=0.5568 อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 0.7515 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล คือ ดัชนี CFI และ GFI เท่ากับ 1.000 และ 0.998 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณเท่ากับ 0.433 และ 0.0 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้นเท่ากับ 9.406 และ 6.106 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการเท่ากับ 1.555 และ1.028 ตามลำดับ สำหรับค่าความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเท่ากับ -0.075 ค่าน้ำหนักองค์ประกอบของอัตราพัฒนาการในการวัดครั้งที่ 1- 5 เท่ากับ 0, 1, 2.225, 3.744 และ 5.226 ตามลำดับ ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้ง 1-5 เท่ากับ 4.539, 8.177, 10.562, 11.046 และ 0.452 ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ด้วยโปรแกรม EQS พบว่า โมเดล QCL-M3 อันเป็นโมเดลที่กำหนดค่าเฉพาะความแปรปรวนของคะแนนความคลาดเคลื่อนในการวัดทั้ง 5 ครั้ง (fixed parameters) แต่ให้ประมาณค่าความแปรปรวนของส่วนที่เหลือของคะแนนจริงในการวัดทั้ง 5 ครั้ง (free parameters) เป็นโมเดลที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลสูงสุด คือ ค่าไค-สแควส์เท่ากับ 7.989, n=469, P=0.0920 อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 1.141 ค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และ GFI เท่ากับ 0.988 และ 0.985 ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเท่ากับ 0.732 ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัด และ 0.101 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้นเท่ากับ 9.407 และ 4.657 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงเท่ากับ -1.414 และ 0.310 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเท่ากับ -0.900 สำหรับค่าประมาณพารามิเตอร์ที่ได้ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบของอัตราพัฒนาการในการวัดครั้งที่ 1- 5 เท่ากับ คือ 0, 1, 3.631, 6.551 และ 2.469 ตามลำดับ และพัฒนาการถดถอยระหว่างคะแนนจริงครั้งที่ติดกัน เท่ากับ 0.315, 0.791, 1.160 และ 0.791 ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ ระหว่าง โมเดลพหุระดับ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ พบว่า โมเดลที่มีประสิทธิภาพสอดคล้องกับข้อมูลสูงสุด 2 โมเดล คือ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง (โมเดล GCL-401) โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ (โมเดล QCL-M3) สำหรับโมเดลพหุระดับ (โมเดล UNCENTERED) เป็นโมเดลที่ไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูล เมื่อสร้างโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงที่กำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากันเหมือนโมเดลพหุระดับ (โมเดล GCL-EQ) และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากันเหมือนโมเดลพหุระดับ (โมเดล QCL-EQ) ก็พบว่าทุกโมเดลไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูล

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา ที่มีแบบแผนการเปลี่ยนแปลงระยะยาวแบบไม่ใช่เส้นตรง

ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา โปรแกรม HLM พบว่า โมเดลแรก uncentered มีค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์สูงกว่าอีก 2 โมเดล (โมเดล group centered และโมเดล grand centered) โดยพบว่า คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหามีคะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยและความแปรปรวนเท่ากับ 7.096 และ 7.296 ตามลำดับ อัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงเฉลี่ยและความแปรปรวนเท่ากับ -0.396 และ 3.521 ตามลำดับ อัตราพัฒนาการเฉลี่ยเชิงเส้นโค้งเฉลี่ยและความแปรปรวนเท่ากับ 0.243 และ 0.109

ตามลำดับ ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนการวัด คือ 5.158 ทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง เท่ากับ -0.816 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งเท่ากับ 0.706 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง คือ,-0.922

ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ด้วยโปรแกรม EQS พบว่า โมเดลที่ประมาณค่าน้ำหนักองค์ประกอบของอัตราพัฒนาการในการวัดทุกครั้งเป็นอิสระ (free factor loading) และกำหนดความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งมีความแปรปรวนไม่เท่ากัน (heterogeneity) คือ โมเดล SLG-1 เป็นโมเดลที่สอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูล คือ ค่าไค-สแควส์ของโมเดลเท่ากับ 2.058, n=469, P=0.5605 อัตราไค-สแควส์ เท่ากับ 0.686 ค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI เท่ากับ 1.000 และGFI เท่ากับ 0.999 ความคลาดเคลื่อนของโมเดลหรือค่าเศษเหลือเท่ากับ 0.135 และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเท่ากับ 0.0 ค่าเฉลี่ยของคะแนนเริ่มต้น อัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง และอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งเท่ากับ 6.863, -0.190 และ 0.806 ตามลำดับ ความแปรปรวนของ 3 ตัวแปรแฝงเท่ากับ 4.000, 1.961 และ 0.653 ตามลำดับ ยกเว้นค่าเฉลี่ยของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง สำหรับค่าความสัมพันธ์ 3 คู่ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง คะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง และอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งมีค่าเท่ากับ-0.433, 0.058 และ -0.654 ตามลำดับ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงในการวัดครั้งที่ 1-5 เท่ากับ 0, 1, 2.446, 1.850 และ 2.030 ตามลำดับ และค่าน้ำหนักองค์ประกอบของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งในการวัดครั้งที่ 1-5 เท่ากับ 0, 1, 1.768, 3.869 และ 5.591ตามลำดับ ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้ง 1-5 เท่ากับ 3.417, 4.362, 2.078, 6.625 และ 2.683 ตามลำดับ ค่าประมาณทุกค่าในโมเดลนี้ทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 สำหรับความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ด้วยโปรแกรม EQS พบว่า โมเดล SLQ-M1 เป็นโมเดลประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดประมาณค่าความแปรปรวนของส่วนที่เหลือของคะแนนจริงในการวัดทั้ง 5 ครั้ง (free parameters) มีความสอดคล้องกับข้อมูลสูงสุด และมีความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำสุด กล่าวคือ χ^2= 2.017,n=469 P=0.1465 อัตราไค-สแควส์ เท่ากับ 2.017 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และ GFI เท่ากับ 0.997 และ 0.998 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของโมเดลหรือค่าเศษเหลือ และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเท่ากับ 0.115 และ 0.049 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้นเท่ากับ 6.887 และ 0.699 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง เท่ากับ 2.947 และ 4.220 ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งเท่ากับ -6.688 และ 3.497 ความ

สัมพันธ์ระหว่าง 3 ตัวแปรแฝงพัฒนาการ คือ คะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง คะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้ง อัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งเท่ากับ -0.601,-0.322 และ -0.970 ตามลำดับ ค่าน้ำหนักของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงในการวัดครั้งที่ 1-5 เท่ากับ 0, 1, 1.738, 0.198 และ 0.905 และค่าน้ำหนักของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งในการวัดครั้งที่ 1-5 เท่ากับ 0, 1, 1.390, 1.516 และ 1.444 ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา ระหว่าง โมเดลพหุระดับ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ พบว่า โมเดลที่มีประสิทธิภาพสอดคล้องกับข้อมูลสูงสุด 2 โมเดล คือ โมเดลโค้งพัฒนาการฯ (โมเดล SLG-1) โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ฯ (โมเดล SLQ-M1) สำหรับโมเดล พหุระดับ (โมเดล uncentered) เป็นโมเดลที่ไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูล เมื่อสร้างโมเดลโค้งพัฒนาการฯที่กำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากันเหมือนโมเดลพหุระดับ (โมเดล QCL-EQ) และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ฯ ที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากันเหมือนโมเดลพหุระดับ (โมเดล SLQ -EQ) ก็พบว่า ทั้งสองโมเดลไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูล

ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา

ผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ ชนิดตัวแปรพหุ จากการนำผลวิเคราะห์โมเดลพหุระดับชนิดตัวแปรเดี่ยวที่ได้จากโปรแกรม HLM ทั้งคุณลักษณะการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา มาวิเคราะห์ชนิดตัวแปรพหุด้วยโปรแกรม EQS พบว่าทั้ง 3 โมเดลยังมีค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลสูงไม่สอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูล โดยที่โมเดลแรก uncentered มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าโมเดลอื่นๆ คือ ค่าไค-สแควส์ของโมเดลเท่ากับ 510.990 n=469, p=0.001 อัตราไค-สแควส์ เท่ากับ 9.125 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล CFI และ GFI เท่ากับ 0.766 และ 0.874 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความ คลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเท่ากับ 2.623 และ 0.135 ตามลำดับ ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรพัฒนาการข้ามสมรรถภาพที่สำคัญ จากความสัมพันธ์ทั้งหมด 10 คู่ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถเริ่มต้นกับความสามารถเริ่มต้นคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา เท่ากับ 0.149 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะการคิดคำนวณกับอัตราการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาเท่ากับ 0.098 และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะการคิดคำนวณกับอัตราการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นโค้งคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา เท่ากับ 0.374

ผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการฯ ชนิดตัวแปรพหุระหว่างการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา ด้วยโปรแกรม EQS พบว่า ทุกโมเดลไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูล แต่โมเดล GCLSL-41 มีความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำสุด โมเดลนี้ได้จากการวิเคราะห์โมเดลชนิดตัวแปรเดี่ยวคุณลักษณะการคิดคำนวณ คือ โมเดล GCL-401 กับโมเดลคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา คือ โมเดล SLG-1 ค่าความสอดคล้องของโมเดล GCLSL-41 กับข้อมูล มีดังนี้ ค่าไค-สแควส์ของโมเดลเท่ากับ 98.035, n=469, P=0.001 อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 2.334 ดัชนีความสอดคล้องกลมกลืนของโมเดล คือ ดัชนี CFI และ GFI เท่ากับ 0.972 และ 0.962 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของโมเดล เท่ากับ 0.962 และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเท่ากับ 0.053

ค่าประมาณพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ค่าสหสัมพันธ์ที่สำคัญระหว่าง 5 ตัวแปรแฝงที่ใช้อธิบายพัฒนาการของ 2 คุณลักษณะ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นข้ามคุณลักษณะ คือ การคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา เท่ากับ 0.410 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างอัตราพัฒนาการการข้ามคุณลักษณะ คือ อัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงด้านการคิดคำนวณกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงการแก้โจทย์ปัญหาเท่ากับ -0.126 แต่ความสัมพันธ์อัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงด้านการคิดคำนวณกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งการแก้โจทย์ปัญหาสูงกว่า คือ 0.521 สำหรับความสัมพันธ์แบบ lagged effect ข้ามคุณลักษณะ พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นการคิดคำนวณกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงการแก้โจทย์ปัญหา และกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งการแก้โจทย์ปัญหา เท่ากับ -0.186 และ 0.391 ตามลำดับ คะแนนเริ่มต้นการแก้โจทย์ปัญหากับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงการคิดคำนวณ มีค่าต่ำมาก คือ -0.046

ผลการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรพหุระหว่างการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา พบว่า ทุกโมเดลไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูล แต่โมเดล CLSL-Q31 ซึ่งเป็นโมเดลที่ได้จากการนำค่าประมาณพารามิเตอร์โมเดลด้านคิดคำนวณโมเดล QCL-M3 มาวิเคราะห์ร่วมกับ โมเดล SLQ-M1 ด้านโจทย์ปัญหา เป็นโมเดลที่มีความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำที่สุด แม้ว่าจะไม่สอดคล้องกับข้อมูล แต่ค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลสูงกว่าโมเดลอื่นๆ คือ χ^2=116.97,n=469, P=0.001 ค่าอัตราไค-สแควส์เท่ากับ 3.341 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล คือ ดัชนี CFI เท่ากับ 0.959 ดัชนี GFI เท่ากับ 0.953 ความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเท่ากับ 0.859 และ 0.071 ตามลำดับ ค่าประมาณพารามิเตอร์ที่สำคัญที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงพัฒนาการข้ามคุณลักษณะ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา มีค่าสูงมากเท่ากับ 0.971 สำหรับความสัมพันธ์แบบ lagged effect ระหว่างคะแนนเริ่มต้นของคุณลักษณะหนึ่งกับอัตราพัฒนาการของอีกคุณลักษณะหนึ่งในโมเดลนี้มี 3 คู่ คือ คะแนนเริ่มต้นของการคิดคำนวณกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงการแก้โจทย์ปัญหาเท่ากับ -0.160 คะแนนเริ่มต้นการคิดคำนวณกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงการ

แก้โจทย์ปัญหาเท่ากับ-0.108 ส่วนคะแนนเริ่มต้นการแก้โจทย์ปัญหากับอัตราพัฒนาการการคิดคำนวณเท่ากับ-0.634 สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงพัฒนาการคุณลักษณะเดียวกันจำนวน 4 คู่ ในการวิเคราะห์ด้วยโมเดลชนิดตัวแปรพหุ พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ด้วยโมเดลชนิดตัวแปรเดี่ยว กล่าวคือ ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการการคิดคำนวณเท่ากับ -0.903 ส่วนคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรง เท่ากับ -0.189 ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งเท่ากับ -0.449 อัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงกับอัตราพัฒนาการเชิงเส้นโค้งเท่ากับ -0.833

ผลการเปรียบเทียบโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา พบว่า โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง CLSL-G41 เป็นโมเดลที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลแทบทุกดัชนีที่ชี้บ่งประสิทธิภาพของโมเดล และความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำสุด กล่าวคือ ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และ GFI เท่ากับ 0.972 และ 0.982 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 0.870 และ 0.053 ตามลำดับ จะมีเพียงค่าสถิติไค-สแควส์ที่มีชี้ว่าโมเดลไม่มีสอดคล้องกับข้อมูล โดยที่ค่าความน่าจะเป็นของสถิตินี้มีค่าน้อยกว่า 0.05 แต่อย่างไรก็ตามจัดว่าเป็นค่าไค-สแควส์ที่ดีกว่าโมเดลอื่นๆ กล่าวคือ χ^2(42,n=469)=98.035, P=0.001 อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 2.337 ส่วนโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรพัฒนาการ CLSL-Q31 เป็นโมเดลที่มีความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำรองจากโมเดล CLSL-G41 โดยที่ดัชนีชี้บ่งความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และGFI เป็น 2 ดัชนีที่ชี้ว่าโมเดล CLSL-Q31 มีประสิทธิภาพ เนื่องจากค่าดัชนีทั้งสองเท่ากับ 0.959 และ 0.953 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่า 0.95 อันเป็นเกณฑ์กำหนด ส่วนดัชนีอื่น ๆ มีแนวโน้มค่อนข้างดี คือ ความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 0.859 และ 0.071 ตามลำดับ ยกเว้นสถิติไค-สแควส์ที่ชี้ว่าโมเดลไม่มีประสิทธิภาพ กล่าวคือ χ^2(4,n=469) = 116.977, P=0.001 อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 3.341

สำหรับผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ ระหว่าง 3 โมเดล วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง ในช่วงเวลาต่างกัน ได้สรุปไว้ในตารางที่ 30

ตารางที่ 30 การสรุปเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ ระหว่าง 3 โมเดล วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง ในช่วงเวลาต่างกัน

	1. โมเดลพหุระดับ	2.โมเดลโค้งพัฒนาการ ฯ		3.โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์-พัฒนาการ	
	1. โมเดลการเปลี่ยนแปลงระยะยาวเชิงเส้นตรง ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ				
	UNCENTERED	GCL-401	GCL-EQ	QCL-M3	QCL-EQ
MODEL-FIT INDEX					
R^2	*0.625*				
χ^2 (df)	313.136 (18)	3.006 (4)	149.043 (14)	7.989 (7)	51.357 (10)
χ^2 /df	17.396	0.7515	10.646	1.141	5.271
P	.001	0.5568	0.001	0.0920	0.001
CFI	0.751	1.000	0.886	0.997	0.965
GFI	0.860	0.998	0.897	0.994	0.958
RMR	3.991	0.433	2.372	0.456	1.544
RMSEA	0.187	0.0	0.144	0.046	0.094
	2.โมเดลการเปลี่ยนแปลงระยะยาวเชิงเส้นโค้ง ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา				
	UNCENTERED	SLG-1	SLG-EQ	SLQ-M1	SLQ-EQ
MODEL-FIT INDEX					
R^2	*0.489*				
χ^2 (df)	237.589 (16)	2.058 (3)	82.298 (11)	2.107 (1)	4.134 (1)
χ^2 /df	14.849	0.686	7.482	2.107	4.134
P	0.001	0.5605	0.001	0.1465	0.001
CFI	0.499	1.000	0.839	0.997	0.993
GFI	0.891	0.999	0.947	0.998	0.997
RMR	2.004	0.135	0.925	0.115	0.139
RMSEA	0.172	0.0	0.118	0.049	0.013
.3.โมเดลการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา					
	(UNCENTERED)	GCLSL-41	GCLSL-EQ	CLSL-Q31	QCLSL-EQ
MODEL-FIT INDEX					
χ^2 (df)	510.990 (56)	98.035 (42)	306.728 (54)	116.977 (35)	1629.0 (35)
χ^2 /df	9.125	2.334	5.680	3.341	20.253
P	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
CFI	0.7663	0.972	0.873	0.959	0.198
GFI	0.874	0.962	0.888	0.953	0.747
RMR	2.623	0.870	1.688	0.859	47.908
RMSEA	0.135	0.053	0.100	0.071	0.312

การอภิปรายผล

การอภิปรายผลในงานวิจัยนี้นำเสนอใน 3 ประเด็น คือ การอภิปรายผลที่ได้จากการวิเคราะห์สถิติเบื้องต้น การอภิปรายผลที่ได้ตามสมมติฐานข้อแรก การเปรียบเทียบโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยว และการเปรียบเทียบโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรพหุ มีรายละเอียด ดังนี้

1. การอภิปรายผลที่ได้จากการวิเคราะห์สถิติเบื้องต้น

1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของคะแนนคุณลักษณะเดียวกัน พบว่า ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างการวัดในครั้งที่ติดกัน จะมีค่าสูงกว่าค่าสหสัมพันธ์ระหว่างการวัดครั้งที่ห่างกัน และสหสัมพันธ์ระหว่างการวัดในครั้งที่ห่างกันน้อย จะมีค่าสูงกว่าความสัมพันธ์ระหว่างการวัดครั้งที่ห่างกันมาก และเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจจะเป็นเพราะ ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นนักเรียนได้เรียนรู้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ความรู้ในระหว่างการวัดครั้งที่ติดกันมีความแตกต่างกันน้อยกว่าครั้งที่ห่างกัน จะเห็นได้ว่าผลการวัดครั้งหลัง ๆ ความสามารถของกลุ่มผู้เรียนยิ่งต่างกันมากพิจารณาได้จากส่วนเบี่ยงเบนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ การที่การวัดครั้งหลังๆ มีความแปรปรวนมากขึ้น ทำให้ค่าความแปรปรวนร่วมระหว่างการวัดครั้งแรก ๆ กับการวัดครั้งหลังมีค่าน้อยลง ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างการวัดในครั้งที่ติดกัน จะมีค่าสูงกว่าความสัมพันธ์ระหว่างการวัดครั้งที่ห่างกัน ผลการวัดคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาจากการวัด 5 ครั้ง ก็มีลักษณะความสัมพันธ์เช่นเดียวกับการคิดคำนวณ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ข้อมูลของงานวิจัยต่อไปนี้ ความสัมพันธ์พฤติกรรมวัยรุ่นตอนต้นที่ต่อต้านสังคมจากการวัด 4 ช่วงอายุของ Stoolmiller (1994) ความสัมพันธ์ระหว่างการอ่านที่วัดจากวัยเด็กถึงวัยรุ่น 3 ช่วงอายุของ Willet & Sayer (1996) การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์จากการวัด 5 ครั้งที่วิจัยโดยมนต์ทิวา ไชยแก้ว (2542) น้ำหนักและส่วนสูงจำนวน 5 ครั้ง ที่วิจัยโดยอิทธิพงศ์ ตั้งสกุลเรืองไล (2541) และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคำศัพท์ภาษาอังกฤษจากการวัด 8 ครั้งที่วิจัยโดย วีระศักดิ์ คำล้าน (2540)

1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของคะแนนการวัดข้ามคุณลักษณะระหว่างการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา 5 ครั้ง พบว่า คะแนนการวัดของ 2 คุณลักษณะนี้จากการวัดครั้งที่ 4 และ 5 จะมีความสัมพันธ์กันสูงกว่าครั้งที่ 1-3 เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะเนื้อหาการสอนในช่วงท้ายภาคเรียนคือ เรื่อง พื้นที่ จะมีแนวโน้มที่เอื้อในการวัดได้ทั้งการคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา ขณะที่เนื้อหาวิชาในช่วงต้นภาคเรียน คือ เรื่องการบวกลบคูณหารจำนวนเต็มบวกและจำนวนเต็มลบ เนื้อหามีแนวโน้มเอื้อต่อการวัดการคิดคำนวณมากกว่า และการเรียนมาถึงปลายภาคเรียน นักเรียนจะมีทักษะทั้ง 2 ด้านมากขึ้น ทำให้การวัดในครั้งที่ 4 และ 5 ระหว่าง 2 คุณลักษณะนี้มีความสัมพันธ์กันมากกว่าการวัดใน 3 ครั้งแรก

1.3 คะแนนเฉลี่ยการแก้โจทย์ปัญหาต่ำกว่าการคิดคำนวณ เนื่องจากการแก้โจทย์ปัญหาเป็นคุณลักษณะที่ซับซ้อนกว่า และเป็นคุณลักษณะที่นักเรียนไทยได้คะแนนต่ำกว่าทุกคุณลักษณะในแทบทุกครั้งที่มีการวัดคุณภาพการศึกษา ซึ่งผลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวในการวิจัยครั้งนี้จึงสอดคล้องกับ ผลการประเมินทางการศึกษาระดับชาติของสำนักงานคณะกรรมการการประถมศึกษาแห่งชาติ (2528-2532)

2. การอภิปรายผลตามสมมติฐานที่ 1 การเปรียบเทียบโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยว จะนำเสนอการอภิปรายผลที่ได้จากแต่ละโมเดล และตามด้วยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดล ตลอดจนเปรียบเทียบผลที่ได้จากแต่ละโมเดล

2.1 ค่าประมาณพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ ชนิดตัวแปรเดี่ยวคุณลักษณะการคิดคำนวณที่มีแบบแผนการเปลี่ยนแปลงที่มิใช่เส้นตรง พบว่า คะแนนเริ่มต้นเฉลี่ย ในโมเดลแรก uncentered เท่ากับ 7.429 แต่ค่าประมาณคะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยในโมเดลที่สอง group centered และโมเดลที่สาม grand centered มีค่าใกล้เคียงกัน คือ 12.819 และ 12.825 ตามลำดับ เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากโมเดล uncentered เป็นโมเดลที่คะแนนจากการวัด (ตัวแปรตาม) เป็นฟังก์ชันดั้งเดิมของตัวทำนาย (เวลา) ที่ไม่เกี่ยวข้องกับค่าเฉลี่ยของเวลาหรือการปรับคะแนนเริ่มต้นของกลุ่มตัวอย่าง ณ จุดเดียวกัน (การปรับเคลื่อนศูนย์กลางของตัวทำนาย) ค่าประมาณคะแนนเริ่มต้นที่ได้เป็นคะแนน ณ ตำแหน่ง t=0 คือเส้นพยากรณ์เฉลี่ยตัดแกนตั้ง และสำหรับโมเดลที่สอง group centered เป็นโมเดลการเคลื่อนศูนย์กลาง (CENTER) หรือปรับค่าเริ่มต้นของกลุ่มตัวอย่างจากแกนตั้ง (t=0) มาเป็นตำแหน่งเดียวกันรอบ ๆค่าเฉลี่ยของหน่วยระดับที่สองของโมเดลพหุระดับ เมื่อหน่วยระดับแรก เป็นการวัดซ้ำ หน่วยระดับสองเป็นบุคคล น่าจะเป็นตำแหน่งประมาณ t=2.5 จากการวัด 5 ครั้ง ในกรณีนี้ค่าประมาณคะแนนเริ่มต้นของกลุ่ม จึงเป็นตำแหน่งคะแนนการวัดเฉลี่ยจากผู้สอบในกลุ่มประชากร “average person in the population” (Bryk & Raudenbush,1992; Willms, 1986) คือ $\beta_{0j} = \mu y_j$ เมื่อค่าประมาณ คะแนนเริ่มต้น (β_{0j}) เป็นค่าเฉลี่ยที่ยังไม่ได้ปรับของกลุ่ม (unadjusted mean for group j) ส่วนโมเดลที่สาม grand centered เป็นโมเดลการเคลื่อนศูนย์กลางเช่นกัน แต่มาเป็นตำแหน่งค่าเฉลี่ยรวมของตัวทำนาย (grand mean) ดังนั้นค่าเริ่มต้นเฉลี่ยที่คาดหวัง จึงเป็นค่าเส้นพยากรณ์เฉลี่ย ที่เป็นตำแหน่งมาตรฐานของตัวทำนายในโมเดล ANCOVA การเคลื่อนศูนย์กลางของเส้นพยากรณ์หรือการปรับค่าเริ่มต้นของทุกคนมาอยู่ ณ ตำแหน่งเดียวกันที่ grand mean คือ $\beta_{0j} = \mu y_j + \beta_{1j}$ หรือ X.j-meanX ทำให้ค่าประมาณค่าเริ่มต้น (β_{0j}) เป็นค่าเฉลี่ยที่ปรับแล้วของกลุ่ม “adjusted mean for group j” (Bryk & Raudenbush, 1992) ดังนั้นโมเดลที่สองและสามที่มีการย้ายศูนย์กลาง ค่าประมาณคะแนนเริ่มต้นจึงมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยรวมของคะแนนการวัดซึ่งเท่ากับ 12.86 ซึ่งเป็นคะแนนการวัดเฉลี่ย ณ ตำแหน่งเวลาเฉลี่ย

ส่วนค่าความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้นโมเดล group centered และโมเดล grand centered ใกล้เคียงกันเท่ากับ 12.305 และ 12.128 ตามลำดับ เนื่องจากค่าความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้นในโมเดล group centered คือความแปรปรวนระหว่างค่าเฉลี่ยของหน่วยในระดับสอง ส่วนโมเดล grand centered คือความแปรปรวนระหว่างหน่วยในระดับสองเมื่อปรับค่าเฉลี่ยของตัวพยากรณ์แล้ว ซึ่งเป็นค่า ณ ประมาณตำแหน่งที่ t = 2.5-3 ซึ่งจากข้อมูลพื้นฐานของการวิจัยครั้งนี้ พบว่า ยิ่งทำการวัดมากครั้งความเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนยิ่งสูงกว่าการวัดครั้งแรกๆ ซึ่งค่าความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้นในโมเดล uncentered เป็นความแปรปรวนของคะแนนการวัดเมื่อ t=0 ค่าที่ได้จึงน้อยกว่าซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.3520 และด้วยเหตุนี้จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความเที่ยงของคะแนนเริ่มต้นโมเดล uncentered จึงต่ำกว่าโมเดล group centered และโมเดล grand centered อีกประการหนึ่งคือ ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของคะแนนการวัดในโมเดลพื้นฐาน(null model) ของโปรแกรม HLM เป็นค่าทีได้จากโมเดล grand centered ที่กำหนดไว้ตายตัวเพียงวิธีเดียวในโปรแกรมนี้ ความแปรปรวนนี้จึงมีค่าใกล้เคียงกับความแปรปรวนของคะแนนเริ่มต้นในโมเดล group centered แต่ต่างจากโมเดล uncentered

สำหรับค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการของโมเดลทั้งสาม พบว่า มีค่าใกล้เคียงกันมากประมาณ 1.81 และประมาณ 1.5.3 ตามลำดับ เนื่องจากแม้โมเดล uncentered มีศูนย์กลางของเส้นพยากรณ์ที่แกนตั้งเมื่อ t=0 สำหรับโมเดล group centered และโมเดล grand centered มีศูนย์กลางของเส้นพยากรณ์เป็นช่วงประมาณตรงกลางๆหรือ ณ ค่าเฉลี่ยของเวลาการวัด t =2.5 ถึง 3 แต่เส้นพยากรณ์ของ 3 โมเดลยังคงเป็นแนวเส้นถดถอยเดียวกัน แต่ต่างกันที่ตำแหน่งคะแนนเริ่มต้นของตัวทำนายคือเวลา ดังนั้น อัตราพัฒนาการเฉลี่ยและค่าความผันแปรของอัตราพัฒนาการของ 3 โมเดลจึงมีค่าใกล้เคียงกันมาก

ในทำนองเดียวกันค่าประมาณพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาที่มีแบบแผนการเปลี่ยนแปลงที่มิใช่เส้นตรง ซึ่งมีข้อสังเกตเช่นเดียวกับผลที่ได้จากการคิดคำนวณ ด้วยสาเหตุกล่าวโดยสรุปคือ โมเดล uncentered ค่าประมาณคะแนนเริ่มต้นที่ได้เป็นคะแนน ณ ตำแหน่ง t=0 ซึ่งเส้นพยากรณ์เฉลี่ยตัดแกนตั้ง สำหรับโมเดล group centered มีศูนย์กลางของตัวทำนายเป็นตำแหน่งรอบๆ ค่าเฉลี่ยของหน่วยระดับที่สอง ส่วนโมเดล grand centered ศูนย์กลางของตัวทำนาย เป็นตำแหน่งค่าเฉลี่ยรวมของตัวทำนาย (grand mean) ดังนั้นค่าประมาณคะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยของ 2 โมเดลหลังจึงมีค่าใกล้เคียงกันและสูงกว่าโมเดลแรก สำหรับค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของอัตราพัฒนาการของโมเดลทั้งสาม พบว่า มีค่าใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากโมเดล group centered และโมเดล grand centered เป็นเพียงการย้ายศูนย์กลางของเส้นพยากรณ์จากแกนตั้ง เมื่อ t=0 มาเป็นช่วงประมาณตรงกลางๆหรือตรงค่าเฉลี่ยของเวลาการวัด t =2.5 ถึง 3 แต่เส้นพยากรณ์ยังคงเป็นเส้นเดิม ดังนั้น อัตราพัฒนาการเฉลี่ยและค่าความผันแปรของอัตราพัฒนาการในโมเดลทั้งสามมีค่าใกล้เคียงกันมาก

2.2 ค่าประมาณพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงชนิดตัวแปรเดี่ยว ที่มีการประมาณค่าน้ำหนักองค์ประกอบของการวัดครั้งที่ 1-5 และให้ประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งที่ 1-5 พบว่า คะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยที่แท้จริง (latent intercept mean) ของคุณลักษณะการคิดคำนวณของแทบทุกโมเดลโค้งพัฒนาการฯ คือ 9.335-9.406 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลคะแนนการวัดที่เป็นคะแนนดิบครั้งแรก คือ 9.403 และในทำนองเดียวกันคะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยของคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน คือ 6.863 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลคะแนนการวัดที่เป็นคะแนนดิบครั้งแรก คือ 6.886 คะแนนเริ่มต้นที่แท้จริงที่แตกต่างคะแนนการวัด คือ ความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งแรก ที่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สถิติเบื้องต้น คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของคุณลักษณะการคิดคำนวณและคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาอยู่ในช่วงคะแนน 0.15 และ 0.13 ตามลำดับ การที่ได้ผลเช่นนี้ เนื่องจากกรอบแนวคิดของโมเดลโค้งพัฒนาการ ฯ กำหนดน้ำหนักองค์ประกอบของตัวแปรแฝงคะแนนเริ่มต้นที่แท้จริงในการวัดทั้ง 5 ครั้ง คือ 1 (Chou, Bentler and Pentz,1998 MacCallum และคณะ, 1997 Stoolmiller, 1995 และ Willet & Sayer, 1985) ค่าที่ได้จึงใกล้เคียงกับคะแนนดิบการวัดครั้งแรก

อัตราพัฒนาการเฉลี่ยที่แท้จริง (latent slope mean) ของคุณลักษณะการคิดคำนวณของแทบทุกโมเดลโค้งพัฒนาการฯคือ 1.555-1.660 มีค่าใกล้เคียงกับอัตราการเพิ่มเฉลี่ยของคะแนนดิบการวัดครั้งแรกถึงครั้งที่ 5 คือ ประมาณ 1.6 หากเป็นการคำนวณจากข้อมูลการสังเกต คะแนนดิบการวัดครั้ง1-5 มีปริมาณการเพิ่มครั้งละเท่าๆกัน คือ คะแนนดิบจะได้จากผลรวมของคะแนนเริ่มต้นอัตราการเพิ่มเฉลี่ยคูณกับ 0,1,2,3 และ 4 ตามลำดับ แต่จากการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการฯ อัตราพัฒนาการต่อการวัดครั้งที่ 1-5 มีปริมาณที่ไม่เท่ากันเพราะขึ้นกับน้ำหนักองค์ประกอบของตัวแปรแฝงอัตราพัฒนาการ (β_{11} - β_{15}) ที่เป็นตัวกำหนดมาตรคะแนนจริงของการวัดครั้งที่ 1-5 มาตรคะแนนจริงของการวัดแต่ละครั้ง เท่ากับคะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยรวมกับผลคูณระหว่างน้ำหนักองค์ประกอบอัตราพัฒนาการของการวัดครั้งนั้นกับค่าอัตราพัฒนาการเฉลี่ย (Stoolmiller, 1995 และ Willet & Sayer, 1985) ตัวอย่างโมเดล GCL-401 อันเป็นตัวแทนของโมเดลโค้งพัฒนาการฯการคิดคำนวณ มีค่าน้ำหนักอัตราพัฒนาการ คือ 0,1, 2.225, 3.744 และ 5.226 คะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 9.406 และอัตราพัฒนาการเฉลี่ยเท่ากับ 1.555 ดังนั้น มาตรคะแนนจริงเฉลี่ยของการวัดครั้งที่ 1-5 คือ 9.406, 10.961, 12.866, 15.228 และ 17.532 ตามลำดับ

เป็นที่น่าสังเกตว่าโมเดลโค้งพัฒนาการฯ ที่กำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากัน และกำหนดน้ำหนักองค์ประกอบคงที่ (โมเดล GCL-EQ และโมเดล SLG-EQ) พบว่า เป็นโมเดลที่ไม่สอดคล้องกับข้อมูล คะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยและอัตราพัฒนาการมีค่าต่างจากโมเดลโค้งพัฒนาการฯ โมเดลอื่นๆ เนื่องจากเป็นโมเดลที่ไม่สอดคล้องกับธรรมชาติการวัดที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนการวัดแต่ละครั้งน่าจะแตกต่างกันและปริมาณการเพิ่มค่าพัฒนาการในแต่ละครั้งย่อมต่างกัน เนื่องจากปริมาณความสามารถในการเรียนรู้ต่างกัน แม้จะวัดในช่วงเวลาที่ห่างเท่ากันก็ตาม

2.3 ผลการวิเคราะห์ค่าประมาณพารามิเตอร์ที่ได้ของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ชนิดตัวแปรเดี่ยว พบว่า คะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยที่แท้จริง (latent intercept mean) ของคุณลักษณะการคิดคำนวณของแทบทุกโมเดลโค้งพัฒนาการฯ คือ 9.333-9.407 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลคะแนนการวัดที่เป็นคะแนนดิบครั้งแรก คือ 9.403 และในทำนองเดียวกันคะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยของคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน คือ 6.880-6.887 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลคะแนนการวัดที่เป็นคะแนนดิบครั้งแรก คือ 6.886 คะแนนที่แตกต่างกันคือคะแนนความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งแรก ซึ่งผลการวิเคราะห์สถิติเบื้องต้นพบว่า ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของคุณลักษณะการคิดคำนวณและคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาอยู่ในช่วงคะแนน 0.15 และ 0.13 ตามลำดับ การที่ได้ผลเช่นนี้ เนื่องจากกรอบแนวคิดของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ กำหนดน้ำหนักองค์ประกอบของตัวแปรแฝงคะแนนเริ่มต้นที่แท้จริงทีมีคะแนนจริงในการวัดครั้งแรกและครั้งต่อไปคือหนึ่ง แม้ว่าโมเดลนี้จะต่างจากโมเดลโค้งพัฒนาการฯ ที่โมเดลนี้คะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยที่แท้จริงส่งผลต่อคะแนนจริงและคะแนนจริงส่งผลต่อคะแนนการวัด โดยที่ค่าน้ำหนักของคะแนนจริงที่มีต่อคะแนนการวัดครั้งนั้นๆกำหนดให้เท่ากับ 1 เนื่องจากมีตัวชี้บ่งของคุณลักษณะที่วัดในการวิจัยครั้งนี้มีเพียงตัวชี้บ่งเดียว ซึ่งเป็นตามกรอบแนวคิดของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์

2.4 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ พบว่า โมเดลโค้งพัฒนาการฯที่ประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดอย่างเป็นอิสระและให้สัมพันธ์กัน (โมเดล GCL-401) มีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ฯ ที่ประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดอย่างเป็นอิสระ (โมเดล SLG-1) และสุดท้าย คือ โมเดลพหุระดับ และเมื่อสร้างโมเดลโค้งพัฒนาการฯ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ฯ ให้มีข้อกำหนดการประมาณค่าพารามิเตอร์เหมือนโมเดลพหุระดับ คือ กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของตัวเวลามีช่วงห่างกันคือ 1 หน่วยเวลา ซึ่งคือค่าน้ำหนักองค์ประกอบของการวัดครั้งที่ 1-5 มีช่วงห่างเท่ากัน คือ 1 หน่วยเวลาเช่นกัน และความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากัน ได้เป็นโมเดล GCL-EQ และโมเดล SLG-EQ ตามลำดับ พบว่าก็ยังเป็นโมเดลที่ไม่สอดคล้องกับข้อมูล มีความคลาดเคลื่อนของโมเดลสูง ผลการเปรียบเทียบจำแนกการอภิปรายเป็น 3 หัวข้อ ดังนี้

2.4.1 การที่โมเดลที่มีการประมาณค่าน้ำหนักของพัฒนาการในการวัดเป็นอิสระ มีการประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งได้เป็นอิสระ และความคลาดเคลื่อนในการวัดมีความสัมพันธ์กัน (โมเดล GCL-401) เป็นโมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลและมีประสิทธิภาพสูงกว่าโมเดลโค้งพัฒนาการฯ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ฯ และโมเดลพหุระดับที่กำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากัน นั้นจะเห็นได้ว่าผลการวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Willett and Sayer (1994) ที่พบว่าโมเดลโค้งพัฒนาการฯที่ประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดอย่างเป็น

อิสระและให้สัมพันธ์กัน (heterogeneity & autocorrelated) มีประสิทธิภาพกว่าโมเดลที่ประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดอย่างเป็นอิสระอย่างเดียว (heterogeneity) และโมเดลที่กำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากัน (homogeneity) มีประสิทธิภาพต่ำสุด นอกจากนั้นทั้งโมเดล GCL-401 และ SLG-1 เป็นโมเดลที่ประมาณค่าน้ำหนักของอัตราพัฒนาการในการวัดแต่ละครั้งเป็นอิสระ (free factor loading) จึงมีประสิทธิภาพสูงกว่าอีก 3 โมเดล (โมเดล GCL-EQ, โมเดล SLG-EQ และโมเดลพหุระดับ) ที่กำหนดค่าน้ำหนักของพัฒนาการเป็นค่าคงที่ (fixed factor loading) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chou, Bentler and Pentz (1998) ที่พบว่า โมเดลโค้งพัฒนาการฯที่ประมาณค่าน้ำหนักของอัตราพัฒนาการในคะแนนการวัดแต่ละครั้งเป็นอิสระ มีความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำกว่าโมเดล พัฒนาการฯ ที่กำหนดน้ำหนักของพัฒนาการเป็นค่าคงที่ และโมเดลพหุระดับ จะเห็นได้ว่า นักวิจัยที่ศึกษาการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว เช่น Willett and Sayer (1996) Duncan & Duncan (1994) Rogosa & Willet (1985) และ Stoolmiller (1995) โมเดลที่ศึกษาจะเป็นโมเดลแบบ free factor loading แทบทั้งสิ้น

ดังนั้นโมเดลโค้งพัฒนาการฯที่มีการประมาณค่าน้ำหนักของพัฒนาการในการวัดเป็นอิสระ มีการประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งได้เป็นอิสระ และความคลาดเคลื่อนในการวัดมีความสัมพันธ์กันได้นี้ เป็นกระบวนการที่ทำให้สามารถปรับโมเดลให้มีความสอดคล้องกับข้อมูลได้มากขึ้น โมเดลนี้ประสิทธิภาพสูงกว่าโมเดลพหุระดับและโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ฯ แต่ถ้าสำหรับโมเดลโค้งพัฒนาการฯ ที่กำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากัน ในงานวิจัยได้เป็นโมเดล CLG-EQ ก็มีประสิทธิภาพของโมเดลใกล้เคียงกับโมเดลพหุระดับมากที่สุด

2.4.2 การที่โมเดลโค้งพัฒนาการฯ มีประสิทธิภาพสูงกว่าโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ กรอบแนวคิดของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ได้จากการประยุกต์ 2 โมเดล คือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน และโมเดลโค้งพัฒนาการ ส่วนที่เป็นโมเดลกึ่งซิมเพกซ์พื้นฐาน คือ คะแนนจริงในการวัดครั้งหนึ่ง ๆจะได้อิทธิพลถดถอยพัฒนาการ (regression slope) จากคะแนนจริงในการวัดครั้งก่อนหน้าที่อยู่ติดกัน (Joreskog,1970; Hannna & Lei,1985; Bast & Reitsma, 1997) สำหรับส่วนที่เป็นโค้งพัฒนาการ คือ ตัวแปรแฝงพัฒนาการ คือ คะแนนเริ่มต้น และอัตราพัฒนาการส่งผลคะแนนจริงในการวัดทุกครั้ง ดังนั้นในโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ตัวแปรแฝงพัฒนาการในโมเดลนี้จึงมีน้ำหนักองค์ประกอบทางอ้อมต่อคะแนนการวัด โดยผ่านคะแนนจริง และขณะเดียวกันคะแนนจริงในการสอบครั้งก่อนส่งผลต่อคะแนนจริงในการสอบครั้งถัดมา จึงมีเศษเหลือ (residusl) ของตัวแปรแฝงมากกว่าโมเดลโค้งพัฒนาการฯ จึงอาจทำให้โมเดลมีประสิทธิภาพต่ำกว่าโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง

2.4.3 การที่โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการมีประสิทธิภาพสูงกว่าโมเดลพหุระดับ เนื่องจากเสนอการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์สมการโครงสร้างมาวิเคราะห์ที่ผ่อนปรนให้ประมาณค่าน้ำหนักของตัวแปรแฝงอัตราพัฒนาการในคะแนนการวัดแต่ละครั้งได้เป็นอิสระ และสามารถประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งได้เป็นอิสระ และให้มีความสัมพันธ์กันได้ เช่นเดียวกับโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง จึงสามารถปรับโมเดลให้มีความสอดคล้องกับข้อมูลได้มากขึ้น ทำให้โมเดลนี้ประสิทธิภาพสูงกว่าโมเดลพหุระดับ แต่การที่โมเดลนี้มีประสิทธิภาพต่ำกว่าโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง เนื่องจากทั้งโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงและโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ได้จากการวิเคราะห์วิธีสมการโครงสร้าง (structural equation model) ด้วยโปรแกรม EQS มีกระบวนการประมาณค่าพารามิเตอร์ทุกค่าพร้อมกัน ส่วนโมเดลพหุระดับที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม HLM จะแยกวิเคราะห์ออกเป็นลำดับขั้น ประสิทธิภาพในภาพรวมทั้งโมเดลของโมเดลพหุระดับที่นำวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EQS จึงมีจุดอ่อนในเรื่องประสิทธิภาพรวมทั้งโมเดล

สำหรับโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา ผลการวิเคราะห์เช่นเดียวกับโมเดลยาวชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ เหตุผลจึงเป็นไปเช่นเดียวกัน

2.4.4 การเปรียบเทียบผลการประมาณค่าคะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยที่แท้จริง สำหรับการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยว ระหว่างโมเดลพหุระดับ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ พบว่า ค่าประมาณคะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยที่แท้จริงจากโมเดลโค้งพัฒนาการฯ มีค่าใกล้เคียงกับโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ ฯ แต่แตกต่างกับโมเดลพหุระดับ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกรอบแนวคิดของโมเดลโค้งพัฒนาการฯ มีค่าใกล้เคียงกับโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ฯ กล่าวคือ กำหนดน้ำหนักองค์ประกอบของคะแนนเริ่มต้นที่แท้จริงในการวัดครั้งแรกและครั้งต่อไปคือหนึ่ง แม้ว่าคะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยที่แท้จริงของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ฯ ไม่ได้ส่งผลต่อคะแนนการวัดโดยตรงเหมือนโมเดลโค้งพัฒนาการฯ แต่ส่งผ่านคะแนนจริงที่เป็นตัวคั่นกลาง แต่เนื่องจากในโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ฯ กำหนดค่าน้ำหนักของคะแนนจริงที่มีต่อคะแนนการวัดครั้งนั้นๆเท่ากับหนึ่ง (หรือเป็นไปตามทฤษฎีการวัดแบบดั้งเดิม ที่คะแนนการวัดเท่ากับผลบวกของคะแนนจริงกับคะแนนความคลาดเคลื่อน ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ผลคูณของคะแนนจริงเท่ากับ1) นั่นคือคะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยที่แท้จริงของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ฯเสมือนเหมือนส่งผลตรงต่อคะแนนการวัดหรือคะแนนดิบโดยตรง ค่าคะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยที่แท้จริงของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการจึงใกล้เคียงกับโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงมาก แม้ค่าคะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยที่แท้จริงของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ฯ ไม่ได้ส่งผลตรงต่อคะแนนการวัดหรือคะแนนดิบโดยตรงก็ตาม การที่ค่าประมาณคะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยที่แท้จริงของโมเดลพหุระดับต่างจาก 2 โมเดลดังกล่าว เนื่องจากเป็นค่าคะแนนเริ่มต้นคะแนน ณ ตำแหน่ง t=0 เมื่อเส้นพยากรณ์เฉลี่ยตัดแกนตั้งดังได้กล่าวมาแล้ว แต่เมื่อผู้วิจัยนำค่าประมาณคะแนนเริ่มต้น ณ t=0 รวมกับอัตราพัฒนาการที่ได้จากโมเดลพหุระดับ คะแนนที่ได้เป็นคะแนนเริ่มต้นที่แท้จริงของครั้งการวัดเมื่อ t=1 พบว่าค่าใกล้เคียงกับค่าประมาณจาก

โมเดลโค้งพัฒนาการฯ ที่กำหนดน้ำหนักองค์ประกอบของอัตราพัฒนาการในการวัดทุกครั้งและกำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากัน คือ โมเดล GCL-EQ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Chou, Bentler และ Pentz (1998) ที่พบว่า ค่าประมาณคะแนนเริ่มต้นเฉลี่ยที่แท้จริงของโมเดลพหุระดับเท่ากับโมเดลโค้งพัฒนาการฯที่กำหนดค่าเฉพาะของน้ำหนักองค์ประกอบของอัตราพัฒนาการในการวัดทุกครั้งและกำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากัน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ ในการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ต้องวิเคราะห์ด้วยวิธี uncentered และกำหนดค่าตัวแปรเวลาการวัดครั้งแรกหรือ baseline เป็น 0 และครั้งที่ n เป็น n-1 เช่น การวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว 5 ครั้ง จะต้องกำหนดค่าตัวแปรเวลาการวัดเป็น 0,1,2,3 และ 4 จะได้ค่าประมาณคะแนนเริ่มต้นที่แท้จริง แต่หากกำหนดค่าตัวแปรเวลาการวัดครั้งที่ n เป็น n เช่นกำหนดเป็น 1,2,3,4 และ 5 ค่าประมาณคะแนนเริ่มต้นที่แท้จริงจะคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าที่แท้จริง (underestimate) ต้องรวมกับค่าอัตราพัฒนาการ จึงจะได้ค่าประมาณคะแนนเริ่มต้นที่แท้จริง แต่ไม่ว่าจะกำหนดค่าตัวแปรเวลาเป็นแบบใด อัตราพัฒนาการมีค่าไม่ต่างกัน เพราะเป็นค่าพัฒนาการต่อ 1 หน่วยเวลาบนเส้นถดถอยเดิมที่มีความชัน (slope) เท่าเดิม

2.4.5 การเปรียบเทียบผลการประมาณค่าอัตราพัฒนาการเฉลี่ยที่แท้จริง การวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยว ระหว่างโมเดลพหุระดับ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ พบว่า ค่าประมาณอัตราพัฒนาการเฉลี่ยของคุณลักษณะการคิดคำนวณที่ได้จากการวิเคราะห์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการแตกต่างจากโมเดลพหุระดับ และโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ซึ่ง 2 โมเดลหลังมีค่าใกล้เคียงกัน ในที่นี้จะแยกวิเคราะห์เป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีแรก อัตราพัฒนาการเฉลี่ยที่แท้จริงของคุณลักษณะการคิดคำนวณ จากการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับมีค่าใกล้เคียงกับโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจจะเนื่องจากสาเหตุ 3 ประการ คือ ประการแรกคือ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบของตัวแปรแฝงอัตราพัฒนาการการคิดคำนวณของโมเดลโค้งพัฒนาการฯ ที่มีแบบแผนเชิงเส้นตรงตามโมเดลโค้งพัฒนาการดั้งเดิมที่มีการวัด 5 ครั้ง คือ 0,1,2,3 และ 4 ซึ่งมีช่วงห่างแต่ละครั้งเท่ากันคือ 1 ส่วนค่าประมาณจากการวิเคราะห์คือ 0,1, 2.225, 3.744 และ 5.226 ซึ่งมีช่วงห่างไม่เท่ากัน แต่สำหรับค่าน้ำหนักองค์ประกอบของตัวแปรแฝงอัตราพัฒนาการการคิดคำนวณของโมเดลพหุระดับ คือค่าตัวแปรอิสระเวลาที่กำหนดในการวิเคราะห์มีช่วงห่างแต่ละครั้งเท่ากันคือ 1 หน่วย จึงทำให้ค่าประมาณอัตราพัฒนาการการคิดคำนวณของโมเดลนี้แตกต่างกัน แต่ก็มีค่าใกล้เคียงกัน เหตุผลที่สองเนื่องจากค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดของ 2 โมเดลนี้แตกต่างกัน ในโมเดลพหุระดับความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดมีค่าเดียว ขณะที่โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงสามารถประมาณค่าการวัดแต่ละครั้งแตกต่างกัน และเหตุผลที่สามเนื่องจากการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับที่ใช้โปรแกรม HLM .ใช้

กระบวนวิธีการวิเคราะห์ถดถอยทีละระดับแยกจากกัน ขณะที่การวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการฯที่ใช้โปรแกรม EQS ใช้กระบวนวิธีการวิเคราะห์พร้อมกันทั้งโมเดล

กรณีที่สอง ค่าเฉลี่ยอัตราพัฒนาการที่ได้จากโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรพัฒนาการมีค่าแตกต่างจากโมเดลพหุระดับ และโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง นอกจากนั้นยังมีค่าเป็นลบ คือ-1.414 ทั้งนี้เนื่องจากกรอบแนวคิดของโมเดลนี้ คือ คะแนนจริงที่เป็นตัวแปรแฝงในการวัดครั้งหนึ่งๆ จะได้รับผลจากค่าพัฒนาการถดถอย(regression slope) จากคะแนนจริงในการวัดครั้งก่อนหน้าที่อยู่ติดกัน และเมื่อมารวมกับค่าอัตราพัฒนาการที่ส่งผลไปยังคะแนนจริงในการวัดแต่ละครั้ง ทำให้อัตราพัฒนาการของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรพัฒนาการนี้แตกต่างจาก โมเดลโค้งพัฒนาการฯและโมเดลพหุระดับ อาจกล่าวได้ว่า โมเดลนี้จะไม่เหมาะสมในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาว เพราะค่าประมาณอัตราพัฒนาการเบี่ยงเบนจากความเป็นจริง สำหรับอัตราพัฒนาการเฉลี่ยที่แท้จริง (latent slope mean) ของการแก้โจทย์ปัญหาก็มีลักษณะเช่นเดียวกับการคิดคำนวณ ด้วยเหตุผลเดียวกันดังที่กล่าวมา

3. การอภิปรายผลตามสมมติฐานที่ 2 การเปรียบเทียบโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างคุณลักษณะการคิดคำนวณและคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา

ผลการวิเคราะห์พบว่า มีเพียงโมเดลโค้งพัฒนาการฯ ชนิดตัวแปรพหุ (โมเดล CLSL-G41 ที่ประมาณค่าน้ำหนักของอัตราพัฒนาการและความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัด 5 ครั้งไม่เท่ากัน) โมเดลเดียวที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลในบางดัชนีชี้ประสิทธิภาพของโมเดล แต่บางดัชนีไม่สอดคล้องข้อมูล ดัชนีชี้ประสิทธิภาพของโมเดล คือ ดัชนีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า (RMSEA) ที่ใกล้เคียงกับจุดตัด 0.05 (Cheevatanarak and Schumacker,1999; Shevlin and Miles 1998 อ้างถึงใน Cribbie and Jamieson, 2000) และค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือดัชนี CFI และ GFI ที่กำหนด 0.95 ขึ้นไป (Browne and Cudeck, 1993; Hu and Bentler, 1999) ส่วนดัชนีที่ชี้ว่าโมเดลไม่มีสอดคล้องกับข้อมูล คือ ค่าความน่าจะเป็นของสถิติไค-สแควส์ และความคลาดเคลื่อนของโมเดล (RMR) ส่วนโมเดลพหุระดับและโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ฯ พบว่า โมเดลไม่มีสอดคล้องกับข้อมูล

สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรพหุ (Multivariate model) เป็นโมเดลที่มุ่งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของ 2 คุณลักษณะขั้นตอนสำคัญ คือ ต้องได้โมเดลตัวแปรเดี่ยวที่เป็นโมเดลที่เพียงพอมีประสิทธิภาพเป็นตัวแทนพัฒนาการของแต่ละคุณลักษณะ เพราะโมเดลตัวแปรเดี่ยวเป็นโมเดลซ้อนใน (nested) โมเดลตัวแปรพหุ ซึ่งส่งผลต่อการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ข้ามคุณลักษณะของโมเดลตัวแปรพหุ โมเดลตัวแปรพหุจึงมีชื่อเรียกว่า Associative models หรือเรียกอีกชื่อว่า Trait-confluence models (Duncan และคณะ, 1999; Stolmiller, 1994) เนื่องจากผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการฯ ชนิดตัวแปรเดี่ยวมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับโมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่ง

ซิมเพลกซ์ฯ ทั้งในคุณลักษณะการคิดคำนวณ คือ โมเดล GCL-401 และคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาคือ โมเดล SLG-1ดังนั้นเมื่อนำผลที่ได้จากโมเดลทั้งสองมาวิเคราะห์ร่วมกันระหว่าง 2 คุณลักษณะในโมเดลชนิดตัวแปรพหุ ผลที่ได้จากโมเดลโค้งพัฒนาการฯ ตัวแปรพหุ คือ โมเดล CLSL-G41 จึงยังคงมีประสิทธิภาพสูงกว่าโมเดลอื่นๆ แม้ว่าโมเดลจะมีประสิทธิภาพในบางดัชนี ซึ่งเป็นดัชนีที่มีความไวไม่เพียงพอต่อค่าเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของกลุ่มตัวอย่าง

เป็นที่สังเกตว่า กระบวนการวิเคราะห์โมเดลตัวแปรพหุในงานวิจัยครั้งนี้ ที่ยังคงค่าประมาณเดิมของโมเดลตัวแปรเดี่ยวทั้งคุณลักษณะการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหาไว้โดยกำหนดเป็น fix parameters ในโมเดลตัวแปรพหุ เมื่อไม่สามารถประมวลผลข้อมูลได้ จะประมาณค่า fix parameters บางพารามิเตอร์ใหม่ (ทำให้เป็น free parameters) เท่าที่จำเป็นและให้มีน้อยที่สุดเพื่อคงค่าประมาณเดิมของโมเดลตัวแปรเดี่ยวไว้ พารามิเตอร์ที่ประมาณค่าใหม่เป็นค่าที่คาดว่ามีผลทำให้ประมาณค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงพัฒนาการข้ามคุณลักษณะได้ เช่น ส่วนที่เป็นความแปรปรวนของคะแนนความคลาดเคลื่อน ความแปรปรวนของตัวแปรแฝงพัฒนาการ หรือ ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงพัฒนาการ เป็นต้น วิธีการนี้อาจเป็นการจำกัดขอบเขตของการวิเคราะห์ข้อมูล เช่น อาจเป็นการบังคับลักษณะของข้อมูลในโมเดลชนิดตัวแปรพหุคงรูปเดิมเหมือนในโมเดลชนิดตัวแปรเดี่ยว แต่ลักษณะของข้อมูลในโมเดลชนิดตัวแปรพหุอาจต่างจากโมเดลชนิดตัวแปรเดี่ยว ทำให้ผลการวิเคราะห์ภาพรวมทั้งโมเดลสอดคล้องกับข้อมูลในบางดัชนี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในงานวิจัยนี้นำเสนอใน 3 ประเด็น คือ ข้อเสนอแนะในเชิงนโยบาย ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติ และข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยมีรายละเอียด ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะในเชิงนโยบาย

ผลจากการวิจัยครั้งนี้ได้ข้อค้นพบที่สำคัญประการหนึ่ง คือ ค่าพัฒนาการของคุณลักษณะการคิดคำนวณและคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่เก็บข้อมูลจากกลุ่มประชากรในโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษา จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เกี่ยวข้องที่สามารถใช้วางแผนและกำหนดนโยบายคุณภาพการศึกษา หรือนำใช้กำหนดเป็นดัชนีชี้บ่งทางการศึกษาได้

2. ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติ

2.1 ผลจากการเปรียบเทียบโมเดลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวจากการวิจัยครั้งนี้ พบว่า โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง เป็นโมเดลที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการวัดการเปลี่ยนแปลงการเรียนรู้ และเป็นโมเดลที่นักวิจัยนิยมใช้ในการศึกษาพัฒนาการ ผู้วิจัยเสนอแนะใช้โมเดลนี้ในการศึกษาพัฒนาการเรียนรู้เป็นกลุ่มบุคคล เพราะมีข้อดีหลายประการ กล่าวคือประการแรกทำให้ทราบประสิทธิภาพในภาพรวมทั้งโมเดล เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ด้วยวิธีโมเดลสมการโครงสร้าง (SEM) ประการที่สองตรวจสอบพัฒนาการหลายคุณลักษณะได้พร้อมกัน เรียกว่า การวิเคราะห์ชนิดตัวแปรพหุ ประการที่สามสามารถใช้วิเคราะห์ช่วงการวัดที่มีระยะเวลาแต่ละครั้งห่างไม่เท่ากันได้ แต่ละคุณลักษณะที่นำวิเคราะห์ร่วมกันเป็นโมเดลชนิดตัวแปรพหุ อาจจะมีจำนวนครั้งไม่เท่ากันก็ได้ (แต่ข้อมูลที่มีจำนวนครั้งการวัดมากๆ จะทำให้การประมาณพัฒนาการมีความถูกต้องมากขึ้น) แบบแผนพัฒนาการของแต่ละคุณลักษณะไม่จำเป็นต้องเหมือนกัน บางคุณลักษณะมีพัฒนาการเชิงเส้นตรง บางคุณลักษณะเป็นเส้นโค้ง วิธีนี้สามารถปรับให้เข้ากับพัฒนาการแบบ polynomial ลำดับใดก็ได้ ประการที่สี่มีความผ่อนคลายในการประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดที่แต่ละครั้งไม่จำเป็นต้องเท่ากัน (heterogeneity) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนในการวัดซ้ำ (autocorrelated) ของช่วงเวลาที่ต่างกันได้ โครงสร้างความแปรปรวนร่วมของความคลาดเคลื่อนในการวัดที่ต่างกันสามารถนำมาตั้งสมมติฐานของแต่ละคุณลักษณะได้ ประการที่ห้าผู้วิจัยสามารถทดสอบสมมติฐานที่ซับซ้อนเกี่ยวกับความแตกต่างของค่าประมาณพัฒนาการระหว่างบุคคลได้ โดยการเปรียบเทียบดัชนีความสอดคล้องของโมเดลที่สร้างขึ้นและโมเดลย่อย ด้วยการเลือกบังคับค่า (constrain) พารามิเตอร์รายตัวหรือหลายตัวให้มีค่าร่วมกันได้ในระหว่างกระบวนการวิเคราะห์ แต่โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงมีจุดอ่อนอยู่บ้าง ที่ไม่สามารถประมาณค่าพัฒนาการเป็นรายบุคคลในการวิเคราะห์ครั้งเดียวได้ ผู้ศึกษาต้องคำนวณเพิ่มเติมภายหลัง

2.2 การวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวที่วิเคราะห์ด้วยโมเดลพหุระดับ ที่ใช้โปรแกรม HLM มีจุดเด่น คือ ขั้นตอนการวิเคราะห์ที่สะดวก ให้ค่าประมาณอัตราพัฒนาการเป็นรายบุคคลได้ มีค่าความเที่ยงในการวัดทุกตัวแปร และให้รายละเอียดของค่าประมาณพารามิเตอร์มากกว่า ดังนั้น ถ้าต้องการศึกษาพัฒนาการรายบุคคลโดยไม่ต้องยุ่งยากในการคำนวณเพิ่มเติม ผู้วิจัยเสนอแนะว่าควรใช้โมเดลพหุระดับในการวิเคราะห์การวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว เพราะค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ของโมเดลอยู่ในระดับยอมรับได้ เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้มุ่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพในภาพรวมโมเดล และเนื่องจากข้อจำกัดของโปรแกรม HLM ที่ไม่มีค่าดัชนีประสิทธิภาพของโมเดล เพราะกระบวนการประมาณค่าแยกเป็นลำดับขั้น ผู้วิจัยจึงใช้การแปลงเป็นวิธีโมเดลสมการโครงสร้าง (SEM) อาจจะทำให้ค่าดัชนีประสิทธิภาพของโมเดลด้อยกว่าโมเดลอื่นๆ ดังนั้นหากระมัดระวังวิธีการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับบางประการในการศึกษาการวัดการเปลี่ยนแปลง ผู้วิจัยก็คาดว่าน่าจะได้ผลที่น่าเชื่อถือได้ เช่น ประการแรก ทดสอบแบบแผนการเปลี่ยนแปลงว่าเป็นแบบเส้นตรงหรือไม่ใช่เส้นตรง ประการที่สองใช้ uncentered ในการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ เนื่องจากมิได้บังคับให้จุดเริ่มต้นของทุกคนมาเริ่มที่ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระ และประการที่สามกำหนดค่าตัวแปรเวลาของการวัดครั้งแรก (baseline) เป็น 0 ครั้งที่ 2-5 เป็น 1-4 เนื่องจากคะแนนเริ่มต้นเป็นค่า ณ. เวลาที่ 0 (t=0) นอกจากนั้นเราสามารถกำหนด baseline ที่เวลาครั้งการวัดที่มิใช่การวัดครั้งแรกได้ เช่น ตามทฤษฎีที่อ้างอิงในเรื่องที่ศึกษา พัฒนาการจะเริ่มเกิดขึ้นในการวัดครั้งที่ 3 ของการวัด 6 ครั้ง เราสามารถกำหนด baseline ณ. เวลาครั้งที่ 3 ค่าตัวแปรต้นก็จะใช้ผลต่างจากเวลาการวัดครั้งนั้นลบด้วย 3 กำหนดค่าได้เป็น -2, -1, 0, 1, 2 และ 3 เป็นต้น แต่การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงด้วยโมเดลพหุระดับด้วยโปรแกรม HLM มีจุดอ่อน คือ ไม่มีค่าดัชนีที่ชี้บอกความสอดคล้องของโมเดลในภาพรวม เนื่องจากโปรแกรมมีกระบวนการประมาณค่าแบบแยกเป็นลำดับขั้น และการหาสัมประสิทธิ์พยากรณ์ของโมเดลผู้วิจัยต้องคำนวณเพิ่มเติมเอง

2.3 การวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวที่วิเคราะห์ด้วยโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรพัฒนาการที่พัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยครั้งนี้ เป็นโมเดลที่มีกรอบแนวคิดสมเหตุผล เนื่องจากคะแนนจริงของการวัดครั้งแรกๆ ส่งผลต่อคะแนนจริงครั้งถัดไปที่อยู่ติดกัน ขณะที่โมเดลพหุระดับและโมเดลโค้งพัฒนาการฯ คะแนนการวัดและคะแนนจริงไม่การส่งผลต่อกัน นอกจากนั้นโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่พัฒนานี้วิธีวิเคราะห์ด้วยโมเดลสมการโครงสร้าง จึงมีข้อดีในแง่ของวิธีวิทยาที่เอื้อต่อการศึกษาพัฒนาการหลายคุณลักษณะได้พร้อมกัน เรียกว่า การวิเคราะห์ชนิดตัวแปรพหุ แต่ละคุณลักษณะที่นำวิเคราะห์ร่วมกันอาจจะมีจำนวนครั้งไม่เท่ากันก็ได้ แบบแผนพัฒนาการของแต่ละคุณลักษณะต่างกันได้ มีความผ่อนคลายในการประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดที่แต่ละครั้งไม่จำเป็นต้องเท่ากัน (heterogeneity) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนในการวัดซ้ำ (autocorrelated) บอกถึงประสิทธิภาพในภาพรวมทั้งโมเดล แต่โมเดลนี้มีจุดอ่อนที่สำคัญ คือ ประการแรกกระบวนการวิเคราะห์ยุ่งยาก เนื่องจากเป็นโมเดลที่ซับซ้อนกว่า 2 โมเดลแรก ค่าที่ต้องประมาณมีจำนวนมากกว่าที่จะสามารถวิเคราะห์ในครั้งเดียวได้หมดทุกค่า ต้องใช้วิธีบังคับค่าพารามิเตอร์บางค่า

ดังนั้นผู้วิเคราะห์ต้องค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ควรประมาณค่าในการวิเคราะห์ครั้งต้นๆ เพื่อนำค่าที่ได้มาบังคับค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ครั้งสุดท้าย การบังคับค่าพารามิเตอร์ตัวที่ต่างกัน จะให้ค่าประสิทธิภาพในภาพรวมทั้งโมเดลต่างกัน ดังได้นำเสนอผลในงานวิจัยนี้ ประการที่สองโมเดลนี้ไม่สามารถประมาณค่าพัฒนาการเป็นรายบุคคลได้ ผู้ศึกษาต้องคำนวณเพิ่มเติมภายหลังเช่นเดียวกับโมเดลทั้งหลายที่วิเคราะห์ด้วยวิธีโมเดลสมการโครงสร้าง ดังนั้นโมเดลนี้จึงเป็นทางเลือกหนึ่งของการศึกษาพัฒนาการ

3. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัย

3.1 การศึกษาเปรียบเทียบการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ ที่สามารถขยายการอธิบายสาเหตุที่ส่งผลพัฒนาการการเรียนรู้เช่น ศึกษาตัวแปรสาเหตุเพิ่มเติมจากตัวแปรเวลา ตัวแปรสาเหตุอาจเป็นตัวพยากรณ์ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (time-invariant) เช่น สภาพแวดล้อม ภูมิหลังของกลุ่มตัวอย่าง การเป็นกลุ่มทดลองเป็นต้น หรือเพิ่มตัวแปรสาเหตุชนิดต่อเนื่องตามเวลา (time-variant) เช่น ปัญหาทางสุขภาพทัศนคติ ซึ่งการศึกษาแบบความสัมพันธ์ถดถอย หรือหากต้องการอธิบายได้กว้างขวางขึ้นอาจจะประยุกต์ใช้การวิเคราะห์เส้นทาง (path analysis) เพื่อศึกษาปัจจัยทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ส่งผลต่อพัฒนาการการเรียนรู้ จะทำให้ได้แง่มุมทางการอธิบายสาเหตุได้ดีขึ้นและเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาผู้เรียน

3.2 การวิจัยที่ขยายผลจากการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว กลุ่มตัวอย่างเดียว มาศึกษากับกลุ่มตัวอย่างหลายกลุ่ม (multiple group) จะเป็นประโยชน์ในการวิจัยเชิงการทดลองหรือการวิจัยความสัมพันธ์ที่เป็นการเปรียบเทียบพัฒนาการของหลายกลุ่มตัวอย่าง

3.3 การพัฒนาโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวโมเดลอื่นๆ เช่น การประยุกต์ของกรอบแนวคิดโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการเป็นองค์ประกอบร่วมของคะแนนจากการวัด กับการประยุกต์กรอบแนวคิดกึ่งซิมเพลกซ์ ที่คะแนนจากการวัดครั้งแรกส่งผลต่อคะแนนการวัดครั้งต่อๆไป ตลอดจนการประยุกต์กรอบแนวคิดพหุระดับในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของหน่วยตัวอย่างที่มีลักษณะซ้อนในหน่วยตัวอย่างที่ใหญ่ขึ้น เป็นต้น

3.4 การวัดการเปลี่ยนแปลงที่ประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติแบบต่างๆ ที่จะขยายขอบเขตการอธิบายพัฒนาการด้านต่างๆ ของผู้เรียน ได้แก่ คะแนนที่มีระดับการวัดที่นอกเหนือจากแบบ interval เช่น ข้อมูลด้านเจตคติด้านปฏิบัติแม้กระทั่งด้านความรู้ที่มีระดับการวัดเป็น nominal หรือ ordinal เป็นต้น การศึกษาการวัดการเปลี่ยนแปลงในระบบการให้คะแนนแบบทวิภาค เช่น partial credit model เป็นต้น ตลอดจนการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีการทดสอบอื่นๆ เช่น ทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ การวัดการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต (Dynamic Measurement Theory) เป็นต้น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ชนิษฐา คำทอง. (2539). **การศึกษาข้อบกพร่องในกระบวนการแก้ปัญหาโจทย์คณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ของโรงเรียนสาธิตสังกัดทบวงมหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาประถมศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

คณะกรรมการการประถมศึกษาแห่งชาติ, สำนักงาน. (2532). **ผลการประเมินคุณภาพนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ระดับประเทศ ปีการศึกษา 2531.** กรุงเทพมหานคร โรงพิมพ์ครุสภา.

นงลักษณ์ วิรัชชัย. (2538). **ความสัมพันธ์เชิงโครงสร้าง (LISREL) : สถิติการวิเคราะห์สำหรับการวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์.** พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประสิทธิ์ ไชยกาล. (2539). **การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างโมเดลลิสเรล 3 แบบที่ใช้ในการศึกษาตัวแปรสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิจัยการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มนต์ทิวา ไชยแก้ว. (2542). **การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวโดยใช้โมเดลประยุกต์โค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง เมื่ออัตราการขาดหายของข้อมูล ช่วงเวลาการวัดและจำนวนครั้งการวัดที่แตกต่างกัน.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิจัยการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วินิจ เทือกทอง. (2537). **การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการคำนวณคะแนนเพิ่มวิธีต่าง ๆด้วยระเบียบวิทการมอนติคาร์โล.** ปริญญานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาวิจัยและพัฒนาหลักสูตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

วีระศักดิ์ คำล้าน. (2540). **การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในระยะยาวของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคำศัพท์ภาษาอังกฤษ: การประยุกต์ใช้โมเดลเชิงเส้นพหุระดับ.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิจัยการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริชัย กาญจนวาสี.(2540). การปรับเทียบมาตราคะแนน. **วารสารวิธีวิทยาการวิจัย.** 4 (3)

ศิริชัย กาญจนวาสี. (2541). การวิเคราะห์พหุระดับ **รวมบทความประกอบการบรรยายวิชา 272883 SEL TOP ED STAT.**

สมบัติ โพธิ์ทอง. (2539). **การพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์สูงโดยใช้เมตาคอคชัน.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาประถมศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุพัตรา นาติวิสันต์. (2534). **การเปรียบเทียบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์และความสามารถทางการคำนวณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่สองที่มีแผนการเรียนต่างกัน.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุภารัตน์ เรือจันทึก. (2542). **การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสิ่งแวดล้อมโมเดลพหุระดับกับโมเดลลิสเรล** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิจัยการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำเริง บุญเรืองรัตน์. (2535). การวัดการเปลี่ยนแปลง **สารานุกรมศึกษาศาสตร์ ฉบับเฉลิมพระเกียรติ** ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บริษัทสิทธิ์พัฒนา.

อรุณี อ่อนสวัสดิ์. (2537). **การพัฒนาวิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงการเรียนรู้.** วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาวิจัยการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อิทธิพงษ์ ตั้งสกุลเรืองไล. (2541). **การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง 4 รูปแบบ ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระยะยาวผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์และพัฒนาการทางด้านร่างกาย ของนักเรียนประถมศึกษา.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิจัยการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอื้อมพร หลินเจริญ. (2539). **การพัฒนาโมเดลลิสเรลในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิจัยการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Aljasser I.A.(1995). Understanding treatment effect in the analysis of longitudinal data. **Dissertation Abstracts** AAC 9522049 Pro Quest.

Bast J. and Reitsma P.(1997). Mathow Effect in Reading : A comparison of latent growth curve models and simplex models with structured means. **Multivariate Behavioral Research** 32: 135-167.

Bollen K.A.(1989). **Structural equation with latent variable.** New York, John Weley & Son.

Bentler P.M. (1995). **EQS Structural Equations Program Manual.** Encino, CA: Multivariate Solftware.

Bentler P.M. and Wu E.J.C. (1995). **EQS for Windows User 's Guide.** Encino, CA: Multivariate Solftware.

Bentler P.M. and Bonett D.G.(1980). Significance tests and goodness of fit in the analysis of covariance structures. **Psychological Bulletin** 101: 147-158

Browne M.W.and Cudeck R. (1993). Alternative index was of assessing model fit. In Bollen, K.A.& Long, J.S. (Eds). **Testing Structural Equation Model** Newbury Park, CA : sage.

Bryk A.S. and Raudenbush S.W.(1992). **Hierarchical linear modeling: Applications and data analysis methods** Sage Publication. CA.

Bryk A.S. and Raudenbush S.W. (1987). Application of hierarchical linear models to assessing change. **Psychological Bulletin** 101: 147-158.

Burchinal M. and Appelbaum M. (1991). Estimating individual developmental functions: Methods and their assumptions. **Child Development** 62: 23-43

Cheevatanarak S. and Schumaker R.E. (1999). A comparison of normal and elliptical estimation methods in structural equation models. **Journal of Research Methodology** 12: 29-53.

Chou C.P., Bentler P.M. and Pentz M.A. (1998). Comparisons of two statistical approaches to study growth curves: The multilevel and the latent curve analysis. **Structural Equation Modeling** 5: 247-266.

Collins L.M. and Cliff N. (1990). Using the longitudinal Guttman simplex as a basis for measuring growth. **Psychological Bulletin** 108: 128-134.

Collins L.M., Cliff N. and Dent C.W. (1988). The longitudinal Guttman simplex : A new methodology for measurement of dynamic constructs in longitudinal panel studies. **Applied Psychological Measurement** 12: 217-230.

Collins L. M. and Horn J. (Eds) (1995). **Best methods for analysis of change** Washington DC: American Psychological Association Books.

Cribbie R.A. and Jamieson J. (2000). Structural equation models and the regression bias for measuring correlates of change. **Educational and Psychological Measurement** 60: 893-907.

Cudeck R. (1996). Mixed-effects models in the study of individaul differences with repeated measure data . **Multivariate Behavioral Research** 31: 371-403.

Duncan S. C. and Duncan T. E. (1996). A Multivariate Latent Growth Curve Analysis of Adolescent Substance Use. **Structural Equation Modeling** 3: 323-347.

Duncan T. E. and Duncan S. C. (1994). Modeling incomplete longitudinal rubotance use data: A latent growth curve methodology. **Multivariate Behavioral Research** 29: 313-338.

Duncan T. E., Duncan S.C., Strycker L.A. and Li F. (1999 a). A Comparison of longitudinal multilevel techniques for analyzing adolescent and family alcohol use data. Via Internet terry @ori.org

Duncan T. E., Duncan S.C., Strycker L.A. and Li F. (1999 b). **Introduction Latent Variable Growth Curve Modeling** Sage Publication. CA.

Duncan T. E., Duncan S.C. and Stoolmiller M. (1994). Modeling development processes using latent growth structural equation methodology. **Applied Psychological Measurement** 18: 343-354.

Embretson S. E. (1991). A multidimensional latent trait model for measuring learning and change. **Psychometrika** 56: 495-515.

Engel U. and Reinceke J. (Eds) (1996). **Analysis of change: advanced techniques in panel data analysis** Berlin : New York : Walter de Gruyter.

Eye A.V. (Ed) (1990). **Statistic methods in longitudinal research: Principles and structuring Change (Volume I and II)** San Diego CA : Academic Press.

Fischer G. H. and Parzer P. (1991). An extension of the rating scale model with an application to the measurement of change. **Psychometrika** 56: 637-651.

Fischer G.H. and Ponocny I. (1994). An extension of the partial credit model with an application to the measurement of change. **Psychometrika** 59: 177-192.

Gottman J.M. and Rushe R.H. (1991). The analysis of change: issue, fallacies, and new ideas. **Journal of conselting and clinical Psychology** 61: 907-910.

Gottman J.M. and Mahwah N.J. (Eds) (1995).**The analysis of change** L. Erlbaum Associates.

Hanna G. and Lei H. (1985). A longitudinal analysis using the LISREL-model and structured means. **Journal of Educational Statistics** 10: 161-169.

Hu L. and Bentler P.M. (1999). Cutoff Criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. **Structural Equation Modeling** 6: 1-55.

Joreskog K.G. and Sorbon D. (1989). **LISREL7 - User's reference guide** Chicago. Scientific Sofeware International.

Kim D. (1993). Trends of reading growth for students with severe reading difficulties: A four - year longitudinal study. **Dissertation Abstracts** AAC 9328355 Proquest.

Kreft I.G.G. and de Leevw J. (1995). Questioning multilevel model. **Journal of Educational and Behavioral Statistics** 2: 171-189.

Mac Callum R.C., Kim C. Malarkey W.B. and Colt - Glaser J.K. (1997). Studying multivariate change using multilevel models and latent curve models. **Multivariate Behavioral Research** 32: 215-253.

Mandy S. F., Dolan C.V. and Molenaar P.C.M. (1994). Two aspects of the simplex model goodness of fit to linear growth curve structures and the analysis of mean trends. **Journal of Educational and Behavioral Statistics** 19: 201-215.

Marsh H.W. (1993). Stability of individaul differences in multiwave panel studies Comparison of simplex and one - factor models. **Journal of Educational Measurement** 30: 157-183.

May K. and Nicewander W.A..(1998). Measuring change conventionally and adaptively. **Educational and Psychological Measurement** 58 : 882-897.

McArdle J.J. and Epotein D. (1987). Latent growth curves within developmental structural equation model. **Child development** 58: 110-133.

McArdle J.J. and Hamagami F. (1991). Modeling incomplete longitudinal and cross-sectional data using latent growth structural model in L.M. Collins and J. Horn (Eds) **Best methods for analysis of change** Washington DC: American Psychological Association Books.

Meiser T. (1995). Analyzing homogeneity and heterogeneity of change using Rasch and latent class models : a comparative and integrative approach. **Applied Psychological Measurement** 19: 377-391.

Meredith W. and Tisak J. (1990). Latent curve analysis. **Psychometrika** 55: 107-122.

Molenaar P.C.M., Gooijer J.G. and Schmiz B. (1992). Dynamic factor analysis of nonstationary multivariate time series. **Psychometrika** 57: 333-349.

Norusis M.J. (1985). **SPSSx Advanced Statistics Guide** SPSS INC.

Piccinnin A.M. (1994). Systematic individaul differences : Change in cognitive ability in later adaulthood. **Dissertation Abstracts** Umi-ProQuest.

Pike G.R. (1991). Using Structural Equation Modeling With Latent Variables To Study Student Growth And Development. **Research In Higher Education** 32: 499-523.

Raudenbush W.S. (1993). A crossed random effects model for unbalanced data with applications in cross-sectional and longitudinal research. **Journal of Educational and Behavioral statistic** 18: 321-349.

Raykov T. (1994). Studying correlations and predictors of longitudinal change: Using structural equation modeling. **Appied Psychological Measurement** 18: 63-77.

Raykov T. (1993). A structural equation model for measuring residualized change and discerning patterns of growth and decline. **Applied Psychological Measurement** 17: 53-71.

Rogosa D.R. and Saner H.(1995). Longitudinal data analysis examples with random coefficient models. **Journal of Educational and Behavioral Statistics** 20: 174-189.

Rogosa D.R. and Willet J.B. (1985a). Satisfying a simplex structure is simpler than it should be. **Journal of Educational Statistics** 10: 99-107.

Rogosa D.R. and Willet J.B.(1985b). Understanding correlates of change by modeling individaul difference in growth **Psychometrika** 50: 203-228.

Sayer A.G. (1992). Chronic illness and academic growth : modeling individaul differences in progress with covariance structure analysis. **Dissertation Abstracts** AAC 9303096 ProQuest.

Shim M.K. (1995). A longitudinal model for the study of equity issues in mathematics education. **Dissertation Abstracts** AAC 9543721 ProQuest.

Stoolmiller M.S. (1994). Antisocial behavior, delinquent peer association, and unsupervised wandering for boy : growth and change from childhood to early adolescence. **Multivariate Behavioral Research** 29: 236-288.

Thum Y.M. (1997). Hierarchical linear models for multivariate outcomes. **Journal of Educational and Behavioral Statistics** 22: 77-108.

Tisak J. and Meredith W. (1989). Exploratory longitudinal factor analysis in multiple populations. **Psychometrika** 54: 261-281.

Willet J.B. (1994). Measurement of change in Husen'and Porlethwaite. **The International Encychopedia of Education** 2 th edition, Elsevier scimce, LTD.

Willet J.B., Ayoub C.C. and Robinson D. (1991). Using growth modeling to examine systematic differences in growth : An example of change in the function of families at risk of maladaptive parenting, child abuse, or neglect. **Journal of Consulting and Clinical Psychology** 61: 38-47.

Willet J.B. and Sayer A.G. (1994). Using covariance structure analysis to detect correlates and predictor of change. **Psychological Bulletin** 116: 363-381.

Willet J.B. and Sayer A.G. (1996). Cross-domain analysis of change over time: combining growth modeling and covariance structural analysis. **Psychological Bulletin** 116: 125-157.

Willet J.B. and Singer J.D. (1989). How long did it take? Using Survival Analysis in educational and psychological research in Collins, L. M. and Horn, J (Eds) (1995). **Best methods for analysis of change** Washington DC: American Psychological Association Books.

Williams R.H., Zimmerman D.W., Rick J.M. and Steed J.L. (1984). An empirical study of the relative error magnitude in three measure of change. **Journal of Experimental Education** 53: 55-57.

Williamson G.L., Appelbaum M. and Epanchin A. (1991). Longitudinal analysis of academic achievement. **Journal of Educational Measurement** 28: 61-76.

Yang F. and Goldstein H. (1996). Multilevel models for analyzing longitudinal data U. Engel. and J. Reinceke.(Eds) (1996). **Analysis of change: advanced techniques in panel data analysis** Berlin : New York: Walter de Gruyter.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
าลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การพัฒนาโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง

เมื่อกำหนดความสัมพันธ์ของความคลาดเคลื่อนในการวัดระหว่างครั้งต่างกัน

ตารางที่ 31 รายละเอียดการพัฒนาการเปรียบเทียบโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งในช่วงเวลาการวัดต่างกัน

parameter	1. GCL-1	2. GCL-EQ	3. GCL-10E	4. GCL-701
โมเดลการวัด				
β_{11}	0	0	0	0
β_{12}	1	1	1	
β_{13}	2.183 (13.1)	2	2.151 (13.7)	2.163 (13.3)
β_{14}	3.693 (12.7)	3	2.808 (12.7)	2.817 (12.5)
β_{15}	4.823 (12.5)	4	4.680 (11.7)	4.696 (11.5)
VAR(E1)	5.764 (9.1)	7.001 (26.5)	5.764 (9.1)	5.403 (7.7)
VAR(E2)	6.342 (12.0)	7.001 (26.5)	6.342 (12.0)	7.982 (12.7)
VAR(E3)	7.312 (12.4)	7.001 (26.5)	7.312 (12.4)	10.223 (12.4)
VAR(E4)	7.965 (10.5)	7.001 (26.5)	7.965 (10.5)	14.324 (10.1)
VAR(E5)	6.716 (6.5)	7.001 (26.5)	6.716 (6.5)	6.716
โมเดลโครงสร้าง				
Mean (INTC)	9.335 (58.8)	9.119 (61.6)	9.390 (63.5)	9.391 (62.6)
Mean (SLPC)	1.660 (10.9)	2.047 (29.6)	1.643 (10.6)	1.637 (10.3)
VAR(INTC)	6.485 (9.4)	6.037 (8.8)	4.914 (8.3)	5.269 (8.8)
VAR(SLPC)	1.044 (5.1)	1.539 (10.3)	0.781 (4.7)	0.789 (4.7)
CORR(INTC,SLPC)	-0.024	-0.011	0.213	0.171
-FIT INDEX				
χ^2 (df)	124.714 (7)	149.043 (14)	7.626 (2)	4.127 (9)
χ^2 /df	17.816	10.646	3.813	0.459
P	0.001	0.001	0.0221	0.9028
CFI	0.901	0.886	0.995	1.000
GFI	0.902	0.897	1.000	0.997
RMR	2.192	2.372	0.026	0.380
RMSEA	0.190	0.144	0.078	0.0
	มี VAR(E_i,E_j) ไม่เท่ากัน และ ไม่มี COV(E_i,E_j)	มี VAR(E_i,E_j) เท่ากัน เพื่อเปรียบเทียบโมเดลพหุระดับ	มี COV(E_i,E_j) 10 คู่	COV(E_i,E_j) 7 คู่ คือ 2,3 2,4 3,4 1,4 1,5 4,5 และ 2,5

ตัวเลขในวงเล็บของโมเดลการวัดและโมเดลโครงสร้าง คือค่าสถิติการทดสอบ Z -TEST

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 31 (ต่อ)

parameter	5. GCL-501	6. GCL-401	7 GCL-301	8 GCL-214	9. GCL-123
โมเดลการวัด					
β_{11}	0	0	0	0	0
β_{12}		1	1	1	
β_{13}	2.227 (13.9)	2.225 (13.8)	2.216 (13.8)	2.214 (13.9)	2.163 (13.3)
β_{14}	3.678 (12.1)	3.744 (12.3)	3.696 (12.5)	3.761 (12.0)	2.817 (12.5)
β_{15}	5.144 (11.3)	5.226 (11.8)	4.931 (11.8)	5.118 (11.9)	4.696 (11.5)
VAR(E1)	4.596 (7.2)	4.539 (7.1)	4.850 (7.6)	5.764 (9.1)	5.403 (7.7)
VAR(E2)	8.061 (12.0)	8.177 (13.5)	7.696 (12.7)	6.342 (12.0)	7.982 (12.7)
VAR(E3)	10.195 (12.1)	9.121 (14.1)	9.293 (12.8)	7.312 (12.4)	10.22(12.4)
VAR(E4)	12.101 (7.9)	11.046 (11.9)	8.229 (10.9)	7.965 (10.5)	14.32(10.1)
VAR(E5)	2.190 (0.9)	0.452 (0.3)	6.716 (6.9)	6.716 (6.5)	6.716
โมเดลโครงสร้าง					
Mean (INTC)	9.401 (62.8)	9.406 (63.0)	9.324 (61.3)	9.393 (63.5)	9.391 (62.6)
Mean (SLPC)	1.581 (10.1)	1.555 (10.2)	1.642 (10.6)	1.587 (10.6)	1.637 (10.3)
VAR(INTC)	6.075 (8.8)	6.106 (8.8)	6.303 (9.0)	4.914 (8.3)	5.269 (8.8)
VAR(SLPC)	0.990 (4.8)	1.028 (5.0)	0.915 (4.9)	0.781 (4.7)	0.789 (4.7)
CORR(INTC,SLPC)	-0.070	-0.075	0.025	0.213	0.171
-FIT INDEX					
χ^2 (df)	2.243 (3)	3.006 (4)	27.334 (5)	50.089 (6)	112.138 (9)
χ^2 /df	0.748	0.7515	5.467	8.348	12.459
P	0.5235	0.5568	0.001	0.001	0.001
CFI	1.000	1.000	0.981	0.955	0.913
GFI	0.998	0.998	0.981	0.956	0.929
RMR	0.476	0.433	1.628	2.305	2.398
RMSEA	0.0	0.0	0.098	0.092	0.156
	มี COV(E_i, E_j) 5คู่ คือ 1,4 2,3 2,4 3,4 และ 4,5	มี COV(E_i, E_j) 4 คู่ คือ 1,4 2,3 2,4 และ 3,4	มี COV(E_i, E_j) 3 คู่ คือ 1,4 2,3 และ 3,4	มี COV(E_i, E_j) 2 คู่ คือ 2,3 และ 3,4	มี COV(E_i, E_j) 1 คู่ คือ 2,3

ตัวเลขในวงเล็บของโมเดลการวัดและโมเดลโครงสร้าง คือค่าสถิติการทดสอบ Z -TEST

จากการวิเคราะห์ โมเดล GCL-1 เป็นโมเดลโค้งพัฒนาการฯ แบบที่ไม่ได้กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละช่วงเวลา ผลการวิเคราะห์ในภาพรวมทั้งโมเดลพบว่า ค่าไค-สแควส์ของโมเดลเท่ากับ χ^2 (7,n=469)=14.089, P=0.001 อัตราไค-สแควส์ (χ^2 /df) เท่ากับ 17.816 ค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI เท่ากับ 0.901 และ GFI เท่ากับ 0.902 ความคลาดเคลื่อนของโมเดลหรือค่าเศษเหลือ (residual) คือดัชนี RMR เท่ากับ 2.192 และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า (RMSEA) เท่ากับ 0.190 แสดงให้เห็นว่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลยังมีค่าสูงมาก และโมเดลยังไม่สอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูล จึงจำเป็นต้องพัฒนาโมเดลเพื่อค้นหาโมเดลที่สอดคล้องกับข้อมูล และมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

การพัฒนาโมเดลโดยทดลองกำหนดให้คะแนนความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งต่าง ๆมีความสัมพันธ์กัน ครั้งแรกให้สัมพันธ์กันทั้งหมดจำนวน 10 คู่ คือ โมเดล GCL- E10 ผลการวิเคราะห์ ในภาพรวมทั้งโมเดลมีความคลาดเคลื่อนลดลงมาก แต่โมเดลยังไม่สอดคล้องกับข้อมูลอย่างสมบรูณ์แบบ เนื่องจากดัชนีความสอดคล้องของโมเดล คือ ดัชนี CFI และ GFI มีค่าสูงกว่า 0.99 (เท่ากับ 0.995 และ 1.00 ตามลำดับ) ความคลาดเคลื่อนของโมเดล และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าก็มีค่าต่ำมาก คือเท่ากับ 0.026 และ 0.078 ตามลำดับ แต่ความน่าจะเป็นของสถิติไค-สแควส์ไม่สูงกว่า 0.05 กล่าวคือ χ^2 (5,n=469) =7.626, P=0.0221 อัตราไค-สแควส์ เท่ากับ 3.813 จึงถือว่า โมเดลยังไม่สอดคล้องกับข้อมูล สำหรับความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละช่วงเวลามีความสัมพันธ์กันจำนวน 7 คู่ คือ ครั้งที่ 1,4 1,5 2,3 2,4 2,5 3,4 และ 4,5 มีค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ดังนี้ -0.291, -0.244, 0.435, 0.167, -0.151, 0.340 และ 0.239 ตามลำดับ อีกจำนวน 3 คู่ คือ ครั้งที่ 1,2 1,3 และ 3,5 ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนในการวัด

เมื่อตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลของโมเดล GCL- E10 ซ้ำ ผู้วิจัยจึงทดลองปรับโมเดล GCL- E10 โดยกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนในการวัดจำนวน 7 คู่เดิม โดยตัดความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนในการวัด ครั้งที่ 1,2 1,3 และ 3,5 ออก ได้เป็น โมเดล GCL-701 ผลการวิเคราะห์พบว่า โมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลและความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำ กล่าวคือ χ^2(2,n=469)=2.197, P=0.0333 ค่าอัตราไค-สแควส์เท่ากับ 1.598 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล คือ ดัชนี CFI และ GFI เท่ากับ 1.000 และ 0.998 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 0.331 และ 0.015 ตามลำดับ นอกจากนั้นการทดสอบ WTEST ของโปรแกรม EQS ในโมเดลนี้ เสนอแนะให้นำความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนในการวัดออกจากการประมาณค่า 2 คู่ คือ ครั้งที่ 1,5 และ 2,5

เมื่อทดลองปรับโมเดลให้มีความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนในการวัดจำนวน

5 คู่ที่เหลือ คือ ครั้งที่ 1,4 2,3 2,4 3,4 และ 4,5 ผลการวิเคราะห์พบว่าโมเดล GCL-501 มีความสอดคล้องกับข้อมูล คือ χ^2(3,n=469)=2.343, P=0.5235 อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 0.7477 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล คือ ดัชนี CFI และ GFI มีค่าเท่ากับ 1.00 และ 0.998 ตามลำดับ สำหรับความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนการประมาณค่า เท่ากับ 0.476 และ 0.0 ตามลำดับ นอกจากนั้นการทดสอบ WTEST ในโมเดลนี้เสนอแนะให้นำความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งที่ 4,5 จากการประมาณค่า

เมื่อทดลองปรับโมเดลให้มีความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนในการวัดจำนวน 4 คู่ที่เหลือ คือ ครั้งที่ 1,4 2,3 2,4 และครั้งที่ 3,4 ผลการวิเคราะห์พบว่า โมเดล GCL-401 มีความสอดคล้องกับข้อมูล คือ χ^2(4,n=469)=3.006, P=0.5568 อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 0.7515 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล คือ ดัชนี CFI และ GFI มีค่าเท่ากับ 1.000 และ 0.998 ตามลำดับ สำหรับความคลาดเคลื่อนของโมเดล และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเท่ากับ 0.433 และ 0.0 ตามลำดับ

ในการทดลองสร้างโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนจำนวน 3 คู่ ได้นำความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความคลาดเคลื่อนทั้ง 4 คู่ มาสร้างโมเดลได้จำนวน 4 โมเดลผลการวิเคราะห์พบว่า โมเดล CLG-303 (ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งที่ 1,4 2,3 และครั้งที่ 3,4) มีความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำสุด คือ χ^2(5,n=469) 27.334, P=0.001 อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 5.467 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล คือ ดัชนี CFI และ GFI มีค่าเท่ากันคือ 0.981 ความคลาดเคลื่อนของโมเดล และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเท่ากับ 1.628 และ 0.098 ตามลำดับ

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนในการวัด 2 คู่ ได้จากการนำความสัมพันธ์ในโมเดล GCL-301 มาสร้างโมเดลได้ 3 โมเดล ผลการวิเคราะห์พบว่า ทุกโมเดลความคลาดเคลื่อนของโมเดลสูง โดยที่โมเดล GCL-214 (ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งที่ 2,3 และครั้งที่ 3,4) มีความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำสุด คือ χ^2(6,n=469)=50.089, P=0.001 อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 8.348 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล คือ ดัชนี CFI และ GFI มีค่าเท่ากับ 0.955 และ 0.956 ตามลำดับ สำหรับสำหรับความคลาดเคลื่อนของโมเดล และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 2.305 และ 0.092 ตามลำดับ

โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนในการวัดจำนวน 1 คู่ ได้ทดลองสร้างโมเดลที่มีความสัมพันธ์ฯโมเดลละ 1 คู่จำนวน 3 โมเดลจากความสัมพันธ์ในโมเดล GCL-301 ผลการวิเคราะห์พบว่า ทุกโมเดลความคลาดเคลื่อนของโมเดลสูง โดยที่โมเดล GCL-123 (มีความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งที่ 2,3) มีความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำสุด คือ χ^2(9,n=469)=112.138, P=0.001 อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 12.459 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล คือ ดัชนี CFI และ GFI มีค่าเท่ากับ 0.913 และ 0.929 ตามลำดับสำหรับ

ความคลาดเคลื่อนของโมเดล และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 2.398 และ 0.156 ตามลำดับ

ดังนั้นโมเดลที่น่าจะเป็นตัวแทนของโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงในการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว คุณลักษณะการคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์ คือโมเดล GCL-401 ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนในการวัด 4 คู่ เนื่องจากค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดล คือ ดัชนี CFI และดัชนี GFI มีค่าสูงสุด คือเท่ากับ1.00 และ 0.998 ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลหรือค่าเศษเหลือ (residual) ต่ำสุดกว่าทุกโมเดลคือ 0.433 ความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า เท่ากับ 0.0 และความน่าจะเป็นของอัตราไค-สแควส์ของโมเดลนี้จะมีค่าสูงกว่าทุกโมเดล

ค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแปรแฝงในสมการการวัด พบว่า ค่าน้ำหนักองค์ประกอบของอัตราพัฒนาการในการวัดครั้งที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 เท่ากับ 0, 1, 2.225, 3.744 และ 5.226 ตามลำดับ ทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้ง 1-5 เท่ากับ 4.539, 8.177, 10.562, 11.046 และ 0.452 ตามลำดับ เกือบทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ยกเว้นครั้งที่ 5 สำหรับค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแปรแฝงในสมการโครงสร้าง พบว่า คะแนนเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.406 ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 6.106 อัตราพัฒนาการมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.555 ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 1.028 ทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 สำหรับค่าความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการเท่ากับ -0.075 ซึ่งไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับโมเดล GCL-EQ ที่ใช้เปรียบเทียบกับโมเดลพหุระดับ คือ ที่กำหนดอิทธิพลของอัตราพัฒนาการเชิงเส้นตรงเท่ากับ 0, 1, 2, 3 และ 4 และกำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดครั้งที่ 1-5 เท่ากัน คือ $\chi^2(14, n=469) = 149.043$, $P=0.001$ อัตราไค-สแควส์เท่ากับ 10.646 ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล คือ ดัชนี CFI และ GFI มีค่าเท่ากับ 0.886 และ 0.897 ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของโมเดลและความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเท่ากับ 2.372 และ 0.144 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

คำสั่งและผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง
และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ
ด้วยโปรแกรม EQS 5.7b

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
1
EQS, A STRUCTURAL EQUATION PROGRAM MULTIVARIATE SOFTWARE, INC.
  COPYRIGHT BY P.M. BENTLER    VERSION 5.7b (C) 1985 - 1998.


    PROGRAM CONTROL INFORMATION

    /TITLE
    Model LATENT GROWTH CURVE : PLOBELM SOLVING (SLG-1)
    /SPECIFICATIONS
    VARIABLES=5;CASES=469;MATRIX=CORRELATION;ANA=MOMENT;
    /LABELS
    V1=SOL1; V2=SOL2; V3=SOL3; V4=SOL4; V5=SOL5;
    F1=SOL-INT; F2=SLP-LI; F3=SLP-QD;
    /EQUATIONS
    V1= F1 + E1;
    V2= F1 + 1F2 + 1F3 + E2;
    V3= F1 + 2*F2 + 4*F3 + E3;
    V4= F1 + 3*F2 + 9*F3 + E4;
    V5= F1 + 4*F2 + 16*F3 + E5;
    F1=*V999 + D1;
    F2=*V999 + D2;
    F3=*V999 + D3;
    /VARAINCES
    E1=3.295*; E2=4.216*; E3=5.348*; E4=6.803*;E5=1.494*;
    D1=4.186*; D2=2.572*; D3=0.183*;
    /COVARAINCE
    D1,D2=-1.214; D1,D3=0.094; D3,D2=-0.740;
    /MEANS
    6.886 7.425 7.830 9.637 10.982
    /STANDARD DEVIATIONS
    2.714 2.709 2.803 3.535 3.814
    /MATRIX
    1.00
    0.390 1.00
    0.160 0.393 1.00
    0.204 0.294 0.314 1.00
    0.191 0.317 0.250 0.599 1.00
    /LMTEST
    /WTEST
    /TECHNISOL
    ITR=300;
    /PRINT
    FIT=ALL;
    /END


    38 RECORDS OF INPUT MODEL FILE WERE READ
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TITLE:LATENT GROWTH CURVE :PLOBELM SOLVING (SLG-1) 30/11/00
EQS/EM386 LICENSEE EDU.RES. DEP. CHULA
MATRIX CONTAINS SPECIAL VARIABLE V999, THE UNIT CONSTANT
COVARIANCE MATRIX IS IN UPPER TRIANGLE; MEANS ARE IN BOTTOM ROW OF MATRIX
COVARIANCE/MEAN MATRIX TO BE ANALYZED:
5 VARIABLES (SELECTED FROM 5 VARIABLES), BASED ON 469 CASES.

		SOL1	SOL2	SOL3	SOL4	SOL5
		V 1	V 2	V 3	V 4	V 5
SOL1	V 1	7.366				
SOL2	V 2	2.867	7.339			
SOL3	V 3	1.217	2.984	7.857		
SOL4	V 4	1.957	2.815	3.111	12.496	
SOL5	V 5	1.977	3.275	2.673	8.076	14.547
V999	V999	6.886	7.425	7.830	9.637	10.982

		V999
		V999
V999	V999	1.000

BENTLER-WEEKS STRUCTURAL REPRESENTATION:

NUMBER OF DEPENDENT VARIABLES = 8
DEPENDENT V'S : 1 2 3 4 5
DEPENDENT F'S : 1 2 3

NUMBER OF INDEPENDENT VARIABLES = 9
INDEPENDENT V'S : 999
INDEPENDENT E'S : 1 2 3 4 5
INDEPENDENT D'S : 1 2 3

NUMBER OF FREE PARAMETERS = 17
NUMBER OF FIXED NONZERO PARAMETERS = 19

DETERMINANT OF INPUT MATRIX IS 0.26037E+06

PARAMETER ESTIMATES APPEAR IN ORDER,
NO SPECIAL PROBLEMS WERE ENCOUNTERED DURING OPTIMIZATION.

RESIDUAL COVARIANCE/MEAN MATRIX (S-SIGMA) :

		SOL1	SOL2	SOL3	SOL4	SOL5
		V 1	V 2	V 3	V 4	V 5
SOL1	V 1	-0.052				
SOL2	V 2	-0.013	0.083			
SOL3	V 3	0.020	0.075	0.011		
SOL4	V 4	-0.161	-0.104	-0.119	-0.251	
SOL5	V 5	-0.085	0.344	0.003	-0.117	0.059
V999	V999	0.023	-0.053	0.008	0.009	0.000

		V999
		V999
V999	V999	0.000

AVERAGE ABSOLUTE COVARIANCE RESIDUALS = 1.3517
AVERAGE OFF-DIAGONAL ABSOLUTE COVARIANCE RESIDUALS = 0.0755

```
TITLE:LATENT GROWTH CURVE :PLOBELM SOLVING  (SLG-1) 30/11/00
EQS/EM386   LICENSEE  EDU.RES. DEP. CHULA
MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

  STANDARDIZED RESIDUAL MATRIX:
                     SOL1        SOL2        SOL3        SOL4        SOL5
                     V  1        V  2        V  3        V  4        V  5
 SOL1    V  1       -0.007
 SOL2    V  2       -0.002       0.011       0.001
 SOL4    V  4       -0.017       0.010      -0.012      -0.020
 SOL5    V  5       -0.008      -0.011       0.000      -0.009       0.004
V999  V999           0.009       0.033       0.003       0.002       0.000
                                V999
                               V999
       V999  V999              0.000
       AVERAGE ABSOLUTE STANDARDIZED RESIDUALS            =        0.0087
AVERAGE OFF-DIAGONAL ABSOLUTE STANDARDIZED RESIDUALS  =        0.0092

  LARGEST STANDARDIZED RESIDUALS:

     V  5,V  2    V  4,V  4    V 999,V  2    V  4,V  1    V  4,V  3
       0.033       -0.020       -0.020       -0.017       -0.012

     V  2,V  2    V  4,V  2    V  3,V  2    V 999,V  1    V  5,V  4
       0.011       - 0.011       0.010       0.009       -0.009

     V  5,V  1    V  1,V  1    V  5,V  5    V999,V  3    V  3,V  1
      -0.008       -0.007       0.004       0.003       0.003

     V999,V  4    V  2,V  1    V  3,V  3    V  5,V  3    V999,V  5
      0.002       -0.002       0.001        0.000        0.000


  DISTRIBUTION OF STANDARDIZED RESIDUALS
    !                                          ! RANGE      FREQ PERCENT
   15-                                         -
     !                                         !    1   -0.5  -  --        0
0.00%
     !                                         !    2   -0.4  -  -0.5      0
0.00%
     !                                         !    3   -0.3  -  -0.4      0
0.00%
     !                          *              !    4   -0.2  -  -0.3      0
0.00%
    10-                      *  *              -    5   -0.1  -  -0.2      0
0.00%
     !                       *  *              !    6    0.0  -  -0.1     10
47.62%
     !                       *  *              !    7    0.1  -   0.0     11
52.38%
     !                       *  *              !    8    0.2  -   0.1      0
0.00%
     !                       *  *              !    9    0.3  -   0.2      0
0.00%
     5-                      *  *              -    A    0.4  -   0.3      0
0.00%
     !                       *  *              !    B    0.5  -   0.4      0
0.00%
     !                       *  *              !    C     ++  -   0.5      0
0.00%
     !                       *  *              !  ----------------------------
     !                       *  *              ! TOTAL         21 100.00%
    ----------------------------------------
        1  2  3  4  5  6  7  8  9  A  B  C       EACH "*" REPRESENTS  1
RESIDUALS
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
TITLE:LATENT GROWTH CURVE :PLOBELM SOLVING  (SLG-1) 30/11/00
EQS/EM386   LICENSEE  EDU.RES. DEP. CHULA
MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

  GOODNESS OF FIT SUMMARY

  INDEPENDENCE MODEL CHI-SQUARE =        452.136 ON    10 DEGREES OF
FREEDOM

  INDEPENDENCE AIC =   432.13578   INDEPENDENCE CAIC =   380.62975
         MODEL AIC =    -3.94227          MODEL CAIC =   -19.39408

  CHI-SQUARE =        2.058 BASED ON     3 DEGREES OF FREEDOM
  PROBABILITY VALUE FOR THE CHI-SQUARE STATISTIC IS      0.56051
  THE NORMAL THEORY RLS CHI-SQUARE FOR THIS ML SOLUTION IS 2.073.

  BENTLER-BONETT NORMED    FIT INDEX=       0.995
  BENTLER-BONETT NONNORMED FIT INDEX=       1.007
  COMPARATIVE FIT INDEX (CFI)      =        1.000
  BOLLEN (IFI)             FIT INDEX=       1.002
  McDonald (MFI)           FIT INDEX=       1.001
  LISREL GFI               FIT INDEX=       0.999
  LISREL AGFI              FIT INDEX=       0.993
  ROOT MEAN SQUARED RESIDUAL (RMR)  =       0.135
  STANDARDIZED RMR                  =       0.013
  ROOT MEAN SQ. ERROR OF APP.(RMSEA)=       0.000
  90% CONFIDENCE INTERVAL OF RMSEA (       0.000,        0.067)

ITERATIVE SUMMARY
         PARAMETER
  ITERATION         ABS CHANGE         ALPHA            FUNCTION
      1             46.584785        1.00000          1509.62793
      2            347.585480        0.50000           180.11301
      3           2043.087040        0.12500           129.47354

     27              0.661826        1.00000             0.06489
     28              0.229193        1.00000             0.00451
     29              0.21823         1.00000             0.00440
     30              0.001692        1.00000             0.00440
     31              0.000150        1.00000             0.00440


  MEASUREMENT EQUATIONS WITH STANDARD ERRORS AND TEST STATISTICS

   SOL1  =V1  =   1.000 F1    + 1.000 E1

   SOL2  =V2  =   1.000 F1    + 1.000 F2    + 1.000 F3    + 1.000 E2

   SOL3  =V3  =   1.000 F1    + 2.446*F2    + 1.768*F3    + 1.000 E3
                                   .316          .316
                                  7.745         5.596

   SOL4  =V4  =   1.000 F1    + 1.850*F2    + 3.869*F3    + 1.000 E4
                                   .300          .475
                                  6.163         8.144

   SOL5  =V5  =   1.000 F1    + 2.030*F2    + 5.591*F3    + 1.000 E5
                                   .451          .772
                                  4.498         7.243
```

```
 TITLE:LATENT GROWTH CURVE :PLOBELM SOLVING  (SLG-1) 30/11/00
EQS/EM386   LICENSEE  EDU.RES. DEP. CHULA
MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

SOL-INT =F1  =   6.863*V999  + 1.000 D1
                   .124
                 55.342

 SLP-LI  =F2  =   -.190*V999  + 1.000 D2
                   .188
                 -1.012

 SLP-QD  =F3  =    .806*V999  + 1.000 D3
                   .151
                  5.328

  VARIANCES OF INDEPENDENT VARIABLES
  ----------------------------------

                E                                D
               ---                              ---

 E1  -  SOL1                3.417*I D1  -SOL-INT             4.000*I
                             .425 I                            .356 I
                            8.049 I                          11.242 I
                                  I                                 I
 E2  -  SOL2                4.362*I D2  -SLP-LI              1.961*I
                             .351 I                            .223 I
                           12.421 I                           8.798 I
                                  I                                 I
 E3  -  SOL3                2.078*I D3  -SLP-QD               .653*I
                            1.239 I                            .106 I
                            1.677 I                           6.134 I
                                  I                                 I
 E4  -  SOL4                6.625*I                                 I
                             .571 I                                 I
                           11.602 I                                 I
                                  I                                 I
 E5  -  SOL5                2.683*I                                 I
                             .977 I                                 I
                            2.747 I                                 I


  COVARIANCE  AMONG INDEPENDENT VARIABLES
  ---------------------------------------

                E                                D
               ---                              ---
                                  I D2  -SLP-LI             -1.214 I
                                  I D1  -SOL-INT                   I
                                  I                                I
                                  I D3  -SLP-QD               .094 I
                                  I D1  -SOL-INT                   I
                                  I                                I
                                  I D3  -SLP-QD              -.740 I
                                  I D2  -SLP-LI                    I
```

```
TITLE:LATENT GROWTH CURVE :PLOBELM SOLVING   (SLG-1) 30/11/00
EQS/EM386    LICENSEE  EDU.RES. DEP. CHULA
MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

STANDARDIZED SOLUTION:                                      R-SQUARED

   SOL1    =V1   = .734 F1 + .679 E1                              .539
   SOL2    =V2   = .743 F1 +  .520 F2 + .300*F3 + .775 E2         .399
   SOL3    =V3   = .714 F1 + 1.223*F2 + .510*F3 + .515 E3         .735
   SOL4    =V4   = .560 F1 + .726*F2  + .875*F3 + .721 E4         .480
   SOL5    =V5   = .525 F1 + .747*F2 + 1.187*F3 + .430 E5         .815
 SOL-INT =F1   = .000*V999  +1.000 D1                             .000
 SLP-LI  =F2   = .000*V999  +1.000 D2                             .000
 SLP-QD  =F3   = .000*V999  +1.000 D3                             .000

CORRELATIONS AMONG INDEPENDENT VARIABLES
  ---------------------------------------

                  E                              D
                 ---                            ---
                           I D2   -SLP-LI                  -.433 I
                           I D1   -SOL-INT                       I
                           I                                     I
                           I D3   -SLP-QD                   .058 I
                           I D1   -SOL-INT                       I
                           I                                     I
                           I D3   -SLP-QD                  -.654 I
                           I D2   -SLP-LI                        I
                           I                                     I
 -------------------------------------------------------------------
                          E N D    O F    M E T H O D
____________________________________________________________________

TITLE:LATENT GROWTH CURVE :PLOBELM SOLVING   (SLG-1) 30/11/00
EQS/EM386    LICENSEE  EDU.RES. DEP. CHULA
MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

  WALD TEST (FOR DROPPING PARAMETERS)
  MULTIVARIATE WALD TEST BY SIMULTANEOUS PROCESS


         CUMULATIVE MULTIVARIATE STATISTICS    UNIVARIATE INCREMENT
         ----------------------------------    --------------------

STEP  PARAMETER CHI-SQUARE D.F. PROBABILITY  CHI-SQUARE PROBABILITY
----  ------------------------------------   ---------- -----------

 1      F2,V999   1.024      1      0.312        1.024       0.312
 2      E3,E3     3.197      2      0.202        2.174       0.140

 ***** NONE OF THE UNIVARIATE LAGRANGE MULTIPLIERS IS SIGNIFICANT,
 ***** THE MULTIVARIATE TEST PROCEDURE WILL NOT BE EXECUTED.

1
  Execution begins at 16:44:04.25
  Execution ends   at 16:44:05.35
  Elapsed time =       1.10 seconds 0
```

1

EQS, A STRUCTURAL EQUATION PROGRAM MULTIVARIATE SOFTWARE, INC.
COPYRIGHT BY P.M. BENTLER VERSION 5.7b (C) 1985 - 1998.

PROGRAM CONTROL INFORMATION

```
/TITLE
Model QUASI-SIMPLEX : PLOBELM SOLVING (SLQ-M1)
/SPECIFICATIONS
 VARIABLES=5; CASES=469;MATRIX=COVARAINCE; ANA=MOMENT;
/LABELS
V1=SOL1; V2=SOL2; V3=SOL3; V4=SOL4; V5=SOL5;
F11=TRUE11; F12=TRUE12; F13=TRUE13; F14=TRUE14; F15=TRUE15;
F16=SOL-INT; F17=SOL-LI; F18=SOL-QD;
/EQUATIONS
V1= F11 + E11;
V2= F12 + E12;
V3= F13 + E13;
V4= F14 + E14;
V5= F15 + E15;
F11= F16 + D11;
F12= F16 + 1F17 + 1F18 + 0.621F11 + D12;
F13= F16 + 1.558*F17 + 1.375*F18 + 0.743F12 + D13;
F14= F16 + 0.242*F17 + 1.289*F18 + 1.379F13 + D14;
F15= F16 + 0.844*F17 + 1.428*F18 + 1.166F14 + D15;
F16=6.886*V999 + D16;
F17=3.086*V999 + D17;
F18=-6.823*V999 + D18;
/VARAINCES
E11=2.226*; E12=3.229*; E13=3.645*; E14=4.454*; E15=6.724*;
D11=4.516*; D12=2.458*; D13=0.605*; D14=6.248*; D15=.195*;
D16=0.629; D17=4.220; D18=1.497;
/COVARAINCES
D16,D17=-0.885; D16,D18=-.104; D17,D18=-2.142;
/MEANS
6.886 7.425 7.830 9.637 10.982
/STANDARD DEVIATIONS
2.714 2.709 2.803 3.535 3.814
/MATRIX
7.366
2.867      7.339
1.217      2.984      7.857
1.957      2.815      3.111     12.496
1.977      3.275      2.673      8.076     14.547
/LMTEST
/WTEST
/TECHNICAL
ITR=300;
/PRINT
FIT=ALL;
/END
```

45 RECORDS OF INPUT MODEL FILE WERE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
TITLE: Model QUASI-SIMPLEX : PLOBELM SOLVING (SLQ-M1)      01/07/00
EQS/EM386   LICENSEE  EDU.RES. DEP. CHULA
  MATRIX CONTAINS SPECIAL VARIABLE V999, THE UNIT CONSTANT COVARIANCE
MATRIX IS IN UPPER TRIANGLE; MEANS ARE IN BOTTOM ROW OF MATRIX
  COVARIANCE/MEAN MATRIX TO BE ANALYZED:
5 VARIABLES (SELECTED FROM 5 VARIABLES), BASED ON   469 CASES.


                  SOL1        SOL2        SOL3        SOL4        SOL5
                  V  1        V  2        V  3        V  4        V  5
      SOL1   V  1   7.366
      SOL2   V  2   2.867   7.339
      SOL3   V  3   1.217   2.984    7.857
      SOL4   V  4   1.957   2.815    3.111    12.496
      SOL5   V  5   1.977   3.275    2.673     8.076     14.547
       V999  V999   6.886   7.425    7.830     9.637     10.982
                     V999
                     V999
       V999  V999    1.000

  BENTLER-WEEKS STRUCTURAL REPRESENTATION:

       NUMBER OF DEPENDENT VARIABLES = 13
           DEPENDENT V'S :      1    2    3    4    5
           DEPENDENT F'S :     11   12   13   14   15   16   17   18

       NUMBER OF INDEPENDENT VARIABLES = 14
           INDEPENDENT V'S :    999
           INDEPENDENT E'S :    11   12   13   14   15
           INDEPENDENT D'S :    11   12   13   14   15   16   17   18
       NUMBER OF FREE PARAMETERS =  19
       NUMBER OF FIXED NONZERO PARAMETERS =  36

  3RD STAGE OF COMPUTATION REQUIRED       7064 WORDS OF MEMORY.
  PROGRAM ALLOCATED     100000 WORDS
  DETERMINANT OF INPUT MATRIX IS    0.29387E+05

TITLE: Model QUASI-SIMPLEX : PLOBELM SOLVING (SLQ-M1)      01/07/00
EQS/EM386   LICENSEE  EDU.RES. DEP. CHULA
MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

PARAMETER        CONDITION CODE
   E15,E15         LINEARLY DEPENDENT ON OTHER PARAMETERS
   E15,E15         VARIANCE OF PARAMETER ESTIMATE IS SET TO ZERO.

  RESIDUAL COVARIANCE/MEAN MATRIX  (S-SIGMA) :
                   SOL1        SOL2        SOL3        SOL4        SOL5
                   V  1        V  2        V  3        V  4        V  5
SOL1    V  1      -0.010
SOL2    V  2      -0.021      -0.045
SOL3    V  3       0.062       0.024       0.047
SOL4    V  4      -0.016      -0.356      -0.029      -0.220
SOL5    V  5      -0.046       0.171       0.025      -0.066       0.093
V999   V999      -0.001       0.002       0.000       0.003       0.000
                          V999
                          V999
       V999  V999         0.000
AVERAGE ABSOLUTE  COVARIANCE  RESIDUALS                     =       0.0590
AVERAGE OFF-DIAGONAL ABSOLUTE  COVARIANCE  RESIDUALS        =       0.0549
```

```
STANDARDIZED RESIDUAL MATRIX:

                SOL1        SOL2        SOL3        SOL4        SOL5
               V   1       V   2       V   3       V   4       V   5
SOL1    V   1     -0.001
SOL2    V   2     -0.003      -0.006
SOL3    V   3      0.008       0.003       0.006
SOL5    V   5     -0.004       0.017       0.002      -0.005       0.006
 V999   V999       0.000       0.001       0.000       0.001       0.000

                          V999
                          V999
        V999  V999        0.000

AVERAGE ABSOLUTE STANDARDIZED RESIDUALS                     =     0.0059
AVERAGE OFF-DIAGONAL ABSOLUTE STANDARDIZED RESIDUALS        =    0.0058


TITLE: Model QUASI-SIMPLEX : PLOBELM SOLVING (SLQ-M1)      01/07/00
EQS/EM386   LICENSEE  EDU.RES. DEP. CHULA
MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

  LARGEST STANDARDIZED RESIDUALS:

     V  4,V  2    V  4,V  4    V  5,V  2    V  3,V  1    V  5,V  5
      -0.037       -0.018        0.017        0.008        0.006

     V  2,V  2    V  3,V  3    V  5,V  4    V  5,V  1    V  3,V  2
      -0.006        0.006       -0.005       -0.004        0.003

     V  4,V  3    V  2,V  1    V  5,V  3    V  4,V  1    V  1,V  1
      -0.003       -0.003        0.002       -0.002       -0.001

     V999,V  4    V999,V  2    V999,V  1    V999,V  3    V999,V  5
       0.001        0.001        0.000        0.000        0.000

 DISTRIBUTION OF STANDARDIZED RESIDUALS

     ----------------------------------------
     !                                      !
 20-                                        -
     !                                      !
     !                                      !
     !                                      !
     !                                      !          RANGE        FREQ PERCENT
 15-                                        -
     !                                      !   1   -0.5  -  --          0    0.00%
     !                *                     !   2   -0.4  -  -0.5        0    0.00%
     !                *                     !   3   -0.3  -  -0.4        0    0.00%
     !                *                     !   4   -0.2  -  -0.3        0    0.00%
 10-                  *                     -   5   -0.1  -  -0.2        0    0.00%
     !                *                     !   6    0.0  -  -0.1       13   61.90%
     !                *  *                  !   7    0.1  -   0.0        8   38.10%
     !                *  *                  !   8    0.2  -   0.1        0    0.00%
     !                *  *                  !   9    0.3  -   0.2        0    0.00%
  5-                  *  *                  -   A    0.4  -   0.3        0    0.00%
     !                *  *                  !   B    0.5  -   0.4        0    0.00%
     !                *  *                  !   C     ++  -   0.5        0    0.00%
     !                *  *                  !  ------------------------------------
     !                *  *                  !          TOTAL              21 100.00%
     ----------------------------------------
       1  2  3  4  5  6  7  8  9  A  B  C     EACH "*" REPRESENTS  1 RESIDUALS
```

```
TITLE: Model QUASI-SIMPLEX : PLOBELM SOLVING (SLQ-M1)      01/07/00
EQS/EM386   LICENSEE  EDU.RES. DEP. CHULA
MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

  GOODNESS OF FIT SUMMARY
INDEPENDENCE MODEL CHI-SQUARE =   452.073 ON  10 DEGREES OF FREEDOM
  INDEPENDENCE AIC =   432.07294   INDEPENDENCE CAIC =   380.56691
        MODEL AIC =     0.38094           MODEL CAIC =    -4.76966

  CHI-SQUARE =         2.107 BASED ON     1 DEGREES OF FREEDOM
  PROBABILITY VALUE FOR THE CHI-SQUARE STATISTIC IS     0.146523
  THE NORMAL THEORY RLS CHI-SQUARE FOR THIS ML SOLUTION IS  2.363.

  BENTLER-BONETT NORMED    FIT INDEX=       0.995
  BENTLER-BONETT NONNORMED FIT INDEX=       0.969
  COMPARATIVE FIT INDEX (CFI)         =       0.997
  BOLLEN (IFI)             FIT INDEX=       0.997
  McDonald (MFI)           FIT INDEX=       0.999
  LISREL GFI               FIT INDEX=       0.998
  LISREL AGFI              FIT INDEX=       0.970
  ROOT MEAN SQUARED RESIDUAL (RMR)   =       0.115
  STANDARDIZED RMR                   =       0.012
  ROOT MEAN SQ. ERROR OF APP.(RMSEA)=       0.049
  90% CONFIDENCE INTERVAL OF RMSEA (       0.000,        0.147)


                       ITERATIVE SUMMARY

                   PARAMETER
  ITERATION        ABS CHANGE        ALPHA              FUNCTION
      1             0.086593       1.00000              0.00511
      2             0.015324       1.00000              0.00509
      3             0.001948       1.00000              0.00509
      4             0.000409       1.00000              0.00509
MEASUREMENT EQUATIONS WITH STANDARD ERRORS AND TEST STATISTICS

SOL1  =V1  =         1.000 F11   +      1.000 E11
SOL2  =V2  =         1.000 F12   +      1.000 E12
SOL3  =V3  =         1.000 F13   +      1.000 E13
SOL4  =V4  =         1.000 F14   +      1.000 E14
SOL5  =V5  =         1.000 F15   +      1.000 E15

CONSTRUCT EQUATIONS WITH STANDARD ERRORS AND TEST STATISTICS

TRUE11  =F11 =    1.000 F16   +    1.000 D11
TRUE12  =F12 =     .621 F11   +    1.000 F16   +    1.000 F17
  +             1.000 F18   +       1.000 D12
TRUE13  =F13 =    .743 F12   +   1.000 F16   +      1.738*F17
                                                      .363
                                                     7.522

            +       1.309*F18   +       1.000 D13
                     .229
                    8.130

TRUE14  =F14 =    1.379 F13   +      1.000 F16   +        .198*F17
                                                          .479
                                                          .377

            +       1.516*F18   +       1.000 D14
                     .612
                    2.613
```

```
TRUE15   =F15 =     1.166 F14    +      1.000 F16    +        .905*F17
                                                              .230
                                                             4.311

              +       1.444*F18    +       1.000 D15
                       .347
                      4.156

SOL-INT =F16 =        6.887*V999   +       1.000 D16
                       .126
                     54.863

SOL-LI   =F17 =       2.947*V999   +       1.000 D17
                      3.024
                       .975

SOL-QD   =F18 =      -6.688*V999   +       1.000 D18
                      3.017
                     -2.217

TITLE: Model QUASI-SIMPLEX : PLOBELM SOLVING (SLQ-M1)       01/07/00
EQS/EM386   LICENSEE  EDU.RES. DEP. CHULA
MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

  VARIANCES OF INDEPENDENT VARIABLES
  ----------------------------------

                   E                                D
                  ---                              ---
E11 -   SOL1                  2.146*I D11 -TRUE11             4.601*I
                               .536 I                          .589 I
                              4.006 I                         7.805 I
                                    I                               I
E12 -   SOL2                  3.331*I D12 -TRUE12             2.400*I
                               .491 I                          .478 I
                              6.786 I                         5.020 I
                                    I                               I
E13 -   SOL3                  3.206*I D13 -TRUE13              .466*I
                              1.330 I                         1.137 I
                              2.410 I                          .410 I
                                    I                               I
E14 -   SOL4                  4.498*I D14 -TRUE14             6.438*I
                               .536 I                         1.167 I
                              8.393 I                         5.516 I
                                    I                               I
E15 -   SOL5                  6.700*I D15 -TRUE15              .206*I
                               .000 I                          .660 I
                        :0000000.000 I                          .313 I
                                    I                               I
                                    I D16 -SOL-INT             .699 I
                                    I                               I
                                    I                               I
                                    I D17 -SOL-LI             4.220 I
                                    I                               I
                                    I                               I
                                    I D18 -SOL-QD             3.497 I
                                    I                               I
                                    I                               I
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
TITLE: Model QUASI-SIMPLEX : PLOBELM SOLVING (SLQ-M1)        01/07/00
EQS/EM386   LICENSEE  EDU.RES. DEP. CHULA
MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

  COVARIANCES AMONG INDEPENDENT VARIABLES
  ---------------------------------------

                  E                                   D
                 ---                                 ---
                               I D17 -SOL-LI                  -.885 I
                               I D16 -SOL-INT                       I
                               I                                    I
                               I                                    I
                               I D18 -SOL-QD                  -.104 I
                               I D16 -SOL-INT                       I
                               I                                    I
                               I                                    I
                               I D18 -SOL-QD                 -2.142 I
                               I D17 -SOL-LI                        I
                               I                                    I

  STANDARDIZED SOLUTION:                                  R-SQUARED
   SOL1   =V1  =   .842 F11   + .539 E11                       .709
   SOL2   =V2  =   .741 F12   + .672 E12                       .549
   SOL3   =V3  =   .768 F13   + .641 E13                       .589
   SOL4   =V4  =   .804 F14   + .595 E14                       .646
   SOL5   =V5  =   .732 F15   + .681 E15                       .536
 TRUE11   =F11 =   .347 F16   + .938 D11                       .120
 TRUE12   =F12 =   .705 F11   + .394 F16   +1.020 F17   + .608 F18
                 + .769 D12                                     .408
 TRUE13   =F13 =   .697 F12   + .370 F16   +1.593*F17   + .808*F18
                 + .318 D13                                     .899
 TRUE14   =F14 =  1.032 F13   + .277 F16   + .095*F17   + .539*F18
                 + .885 D14                                     .217
 TRUE15   =F15 =  1.200 F14   + .285 F16   + .631*F17   + .635*F18
                 + .163 D15                                     .973
 SOL-INT  =F16 =   .000*V999  +1.000 D16                         .000
 SOL-LI   =F17 =   .000*V999  +1.000 D17                         .000
 SOL-QD   =F18 =   .000*V999  +1.000 D18                         .000

  CORRELATIONS AMONG INDEPENDENT VARIABLES
  ---------------------------------------

                  E                                   D
                 ---                                 ---
                               I D17 -SOL-LI                  -.601 I
                               I D16 -SOL-INT                       I
                               I                                    I
                               I D18 -SOL-QD                  -.322I
                               I D16 -SOL-INT                       I
                               I                                    I
                               I D18 -SOL-QD                  -.970 I
                               I D17 -SOL-LI                        I
                               I                                    I

 ------------------------------------------------------------------------
-                      E N D    O F    M E T H O D
 ------------------------------------------------------------------------
```

TITLE: Model QUASI-SIMPLEX : PLOBELM SOLVING (SLQ-M1) 01/07/00
EQS/EM386 LICENSEE EDU.RES. DEP. CHULA
MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

WALD TEST (FOR DROPPING PARAMETERS)

*** WARNING *** TEST RESULTS MAY NOT BE APPROPRIATE DUE TO CONDITION CODE

MULTIVARIATE WALD TEST BY SIMULTANEOUS PROCESS

CUMULATIVE MULTIVARIATE STATISTICS					UNIVARIATE INCREMENT	
STEP	PARAMETER	CHI-SQUARE	D.F.	PROBABILITY	CHI-SQUARE	PROBABILITY
1	F14,F17	0.077	1	0.781	0.077	0.781
2	D15,D15	0.156	2	0.925	0.079	0.779

TITLE: Model QUASI-SIMPLEX : PLOBELM SOLVING (SLQ-M1) 01/07/00
EQS/EM386 LICENSEE EDU.RES. DEP. CHULA
MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

LAGRANGIAN MULTIPLIER TEST REQUIRES 33231 WORDS OF MEMORY.
PROGRAM ALLOCATES 100000 WORDS.
LAGRANGE MULTIPLIER TEST (FOR ADDING PARAMETERS)

*** WARNING *** TEST RESULTS MAY NOT BE APPROPRIATE DUE TO CONDITION CODE

ORDERED UNIVARIATE TEST STATISTICS:

NO	CODE		PARAMETER	CHI-SQUARE	PROBABILITY	PARAMETER CHANGE
1	2	10	D15,D12	2.363	0.124	0.788
2	2	10	D17,D12	2.349	0.125	0.938
3	2	22	F16,F12	2.332	0.127	0.408
4	2	22	F18,F12	2.209	0.137	0.246
5	2	22	F11,F13	2.191	0.139	1.800
6	2	0	D18,D18	2.175	0.140	1.186
7	2	22	F11,F18	2.175	0.140	-3.635
8	2	20	V2,F15	2.128	0.145	-0.313
9	2	20	V2,F14	2.114	0.146	-0.374
10	2	10	D18,D12	2.005	0.157	0.531
134	2	0	F15,D15	0.000	1.000	0.000
135	2	20	V4,F17	0.000	1.000	0.000
136	2	20	V5,F17	0.000	1.000	0.000
137	2	20	V4,F18	0.000	1.000	0.000
138	2	20	V3,F17	0.000	1.000	0.000
139	2	20	V3,F18	0.000	1.000	0.000
140	2	20	V5,F18	0.000	1.000	0.000

***** NONE OF THE UNIVARIATE LAGRANGE MULTIPLIERS IS SIGNIFICANT,
***** THE MULTIVARIATE TEST PROCEDURE WILL NOT BE EXECUTED.

1

Execution begins at 01:17:44.71
Execution ends at 01:17:45.42
Elapsed time = 0.71 seconds

```
1
 EQS, A STRUCTURAL EQUATION PROGRAM     MULTIVARIATE SOFTWARE, INC.
 COPYRIGHT BY P.M. BENTLER              VERSION 5.7b (C) 1985 - 1998.

   PROGRAM CONTROL INFORMATION

  /TITLE
 Model LATENT GROWTH CURVE : CALCULATION & SOLVING(c1SL-G41)
  /SPECIFICATIONS
   VARIABLES=10; CASES=469; MATRIX=CORRELATION; ANA=MOMENT;
  /LABELS
 V1=CAL1; V2=CAL2; V3=CAL3; V4=CAL4; V5=CAL5; F1=CAL-INT;
  F2=CAL-SLP; V6=SOL1; V7=SOL2; V8=SOL3; V9=SOL4; V10=SOL5;
  F3=SOL-INT; F4=SLP-LI; F5=SLP-QD;
  /EQUATIONS
  V1= F1 + E1;
  V2= F1 + 1F2 + E2;
  V3= F1 + 2.227F2 + E3;
  V4= F1 + 3.744F2 + E4;
  V5= F1 + 5.2264F2 + E5;
  F1=9.406V999 + D1;
  F2=1.555V999 + D2;
  V6= F3 + E6;
  V7= F3 + 1F4 + 1F5 + E7;
  V8= F3 + 2.446F4 + 1.768F5 + E8;
  V9= F3 + 1.850F4 + 3.869*F5 + E9;
  V10= F3 + 2.030F4 + 5.591F5 + E10;
  F3=6.863V999 + D3;
  F4=-0.190V999 + D4;
  F5=0.806V999 + D5;
  /VARAINCES
  E1=4.539*;E2=8.177*;E3=9.121*;E4=11.046*; E5=0.452*;
  D1=6.106*;D2=1.028*;
  E6=3.417;E7=4.362;E8=2.078;E9=6.625*;E10=2.683*;
  D3=4.000*; D4=1.961*; D5=0.653*;
   /COVARAINCE
  E1,E4=-1.917;E3,E2=4.154;E2,E4=1.651; E3,E4=3.661;
  D1,D2=*;D3,D4=*; D3,D5=*; D5,D4=*;
  D4,D1=1*; D4,D2=1*; D5,D1=1*;D5,D2=1*; D3,D1=1*; D3,D2=-.066*;
  /MEANS
  9.403 10.991 12.915 15.193 17.536 6.886 7.425 7.830 9.637 10.982
  /STANDARD DEVIATIONS
  3.244 3.855 4.583 5.601 5.714 2.714 2.709 2.803 3.535 3.814
  /MATRIX
   1.000
   0.455 1.000
   0.393 0.680 1.000
   0.209 0.523 0.690 1.000
   0.274 0.454 0.626 0.786 1.000
   0.208 0.130 0.113 0.133 0.098 1.00
   0.287 0.201 0.240 0.144 0.144 0.390 1.00
   0.199 0.101 0.164 0.161 0.153 0.160 0.393 1.00
   0.278 0.463 0.549 0.613 0.547 0.204 0.294 0.314 1.00
   0.302 0.461 0.487 0.516 0.562 0.191 0.317 0.250 0.599 1.00
  /LMTEST
  /WTEST
  /TECHNICAL
  ITR=300;
```

```
TITLE: Model LATENT GROWTH CURVE : CALCULATION & SOLVING (C1SL-G41)
01/09/01       PAGE :  2
 EQS/EM386  LICENSEE Edu. Res. Dep. CHULA
    53  /PRINT
    54  FIT=ALL;
    55  /END

  TITLE: Model LATENT GROWTH CURVE : CALCULATION & SOLVING(C1SL-G41)
01/09/01       PAGE :  3
 EQS/EM386  LICENSEE Edu. Res. Dep. CHULA
  MATRIX CONTAINS SPECIAL VARIABLE V999, THE UNIT CONSTANT
COVARIANCE MATRIX IS IN UPPER TRIANGLE; MEANS ARE IN BOTTOM ROW OF
MATRIX
  COVARIANCE/MEAN MATRIX TO BE ANALYZED:
    10 VARIABLES (SELECTED FROM  10 VARIABLES), BASED ON   469 CASES.

       CAL1        CAL2       CAL3       CAL4       CAL5
       V  1        V  2       V  3       V  4       V  5
CAL1   V  1      10.524
CAL2   V  2       5.690     14.861
CAL3   V  3       5.843     12.014     21.004
CAL4   V  4       3.797     11.293     17.712     31.371
CAL5   V  5       5.079     10.000     16.393     25.155     32.650
SOL1   V  6       1.831      1.360      1.406      2.022      1.520
SOL2   V  7       2.522      2.099      2.980      2.185      2.229
SOL3   V  8       1.809      1.091      2.107      2.528      2.451
SOL4   V  9       3.188      6.309      8.894     12.137     11.049
SOL5   V 10       3.737      6.778      8.513     11.023     12.248
V999  V999       9.403     10.991     12.915     15.193     17.536

        SOL1        SOL2       SOL3       SOL4       SOL5
     V  6        V  7       V  8       V  9       V 10
SOL1   V  6       7.366
SOL2   V  7       2.867      7.339
SOL3   V  8       1.217      2.984      7.857
SOL4   V  9       1.957      2.815      3.111     12.496
SOL5   V 10       1.977      3.275      2.673      8.076     14.547
 V999  V999       6.886      7.425      7.830      9.637     10.982
                          V999
                         V999
        V999  V999       1.000

  BENTLER-WEEKS STRUCTURAL REPRESENTATION:
        NUMBER OF DEPENDENT VARIABLES = 15
DEPENDENT V'S :        1    2    3    4    5    6    7    8    9   10
            DEPENDENT F'S :        1    2    3    4    5

        NUMBER OF INDEPENDENT VARIABLES = 16
            INDEPENDENT V'S :    999
INDEPENDENT E'S :        1    2    3    4    5    6    7    8    9   10
            INDEPENDENT D'S :     1    2    3    4    5
        NUMBER OF FREE PARAMETERS =  23
        NUMBER OF FIXED NONZERO PARAMETERS =  49

  3RD STAGE OF COMPUTATION REQUIRED       9699 WORDS OF MEMORY.
  PROGRAM ALLOCATED    100000 WORDS

  DETERMINANT OF INPUT MATRIX IS   0.33635E+10
```

```
TITLE: Model LATENT GROWTH CURVE : CALCULATION & SOLVING(C1SL-G41)
01/09/01        PAGE :  4
 EQS/EM386  LICENSEE Edu. Res. Dep. CHULA
MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)
 MATRIX SIGMA_3S MAY NOT BE POSITIVE DEFINITE.
  PARAMETER ESTIMATES APPEAR IN ORDER,
  NO SPECIAL PROBLEMS WERE ENCOUNTERED DURING OPTIMIZATION.

  RESIDUAL COVARIANCE/MEAN MATRIX  (S-SIGMA) :

       CAL1       CAL2       CAL3       CAL4       CAL5
       V  1       V  2       V  3       V  4       V  5
CAL1   V  1     -0.294
CAL2   V  2     -0.070     0.074
CAL3   V  3      0.181     0.157      0.209
CAL4   V  4      0.175     0.616      0.747      2.280
CAL5   V  5     -0.341    -0.318      0.063      1.392     -0.397
SOL1   V  6     -0.136    -0.517     -0.363      0.389      0.019
SOL2   V  7      0.473    -0.069      0.667     -0.307     -0.438
SOL3   V  8      0.115    -0.766      0.050      0.224     -0.094
SOL4   V  9     -0.547     1.411      2.569      4.047      1.234
SOL5   V 10     -0.891     0.478      0.160      0.133     -1.121
V999  V999     -0.003     0.030      0.046     -0.035      0.003
        SOL1       SOL2       SOL3       SOL4       SOL5
        V  6       V  7       V  8       V  9       V 10
SOL1   V  6      0.006
SOL2   V  7      0.003     0.087
SOL3   V  8     -0.011     0.041     -0.014
SOL4   V  9     -0.201    -0.068     -0.036      0.787
SOL5   V 10     -0.106     0.403     -0.102      0.318     -0.806
V999  V999      0.023    -0.054      0.007     -0.226     -0.002
                          V999
                         V999
      V999  V999         0.000

  AVERAGE ABSOLUTE  COVARIANCE  RESIDUALS      =        0.4235
 AVERAGE OFF-DIAGONAL ABSOLUTE  COVARIANCE  RESIDUALS    =     0.4182

  STANDARDIZED RESIDUAL MATRIX:
             CAL1       CAL2       CAL3       CAL4       CAL5
             V  1       V  2       V  3       V  4       V  5
CAL1   V  1     -0.028
CAL2   V  2     -0.006     0.005
CAL3   V  3      0.012     0.009      0.010
CAL4   V  4      0.010     0.029      0.029      0.073
CAL5   V  5     -0.018    -0.014      0.002      0.044     -0.012
SOL1   V  6     -0.015    -0.049     -0.029      0.026      0.001
SOL2   V  7      0.054    -0.007      0.054     -0.020     -0.028
SOL3   V  8      0.013    -0.071      0.004      0.014     -0.006
SOL4   V  9     -0.048     0.104      0.159      0.204      0.061
SOL5   V 10     -0.072     0.033      0.009      0.006     -0.051
V999  V999     -0.001     0.008      0.010     -0.006      0.001
      SOL1       SOL2       SOL3       SOL4       SOL5
      V  6       V  7       V  8       V  9       V 10
SOL1   V  6      0.001
SOL2   V  7      0.001     0.012
SOL3   V  8     -0.001     0.005     -0.002
SOL4   V  9     -0.021    -0.007     -0.004      0.063
SOL5   V 10     -0.010     0.039     -0.010      0.024     -0.055
V999  V999      0.008    -0.020      0.002     -0.064      0.000
```

```
                          V999
        V999  V999        0.000

        AVERAGE ABSOLUTE STANDARDIZED RESIDUALS        =          0.0275
AVERAGE OFF-DIAGONAL ABSOLUTE STANDARDIZED RESIDUALS      =          0.0282


TITLE: Model LATENT GROWTH CURVE : CALCULATION & SOLVING(C1SL-G41)
01/09/01        PAGE :  5
 EQS/EM386  LICENSEE Edu. Res. Dep. CHULA

  MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

  LARGEST STANDARDIZED RESIDUALS:
     V  9,V  4    V  9,V  3    V  9,V  2    V  4,V  4    V 10,V  1
       0.204        0.159        0.104        0.073       -0.072

     V  8,V  2    V999,V  9    V  9,V  9    V  9,V  5    V 10,V 10
      -0.071       -0.064        0.063        0.061       -0.055

     V  7,V  1    V  7,V  3    V 10,V  5    V  6,V  2    V  9,V  1
       0.054        0.054       -0.051       -0.049       -0.048

     V  5,V  4    V 10,V  7    V 10,V  2    V  6,V  3    V  4,V  3
       0.044        0.039        0.033       -0.029        0.029


  DISTRIBUTION OF STANDARDIZED RESIDUALS
    ----------------------------------------
    !                                      !
  40-                                      -
    !                                      !
    !                                      !
    !                    *                 !
    !                    *                 !            RANGE      FREQ PERCENT
  30-                 *  *                 -
    !                 *  *                 !     1  -0.5  -   --       0   0.00%
    !                 *  *                 !     2  -0.4  -  -0.5      0   0.00%
    !                 *  *                 !     3  -0.3  -  -0.4      0   0.00%
    !                 *  *                 !     4  -0.2  -  -0.3      0   0.00%
  20-                 *  *                 -     5  -0.1  -  -0.2      0   0.00%
    !                 *  *                 !     6   0.0  -  -0.1     30  45.45%
    !                 *  *                 !     7   0.1  -   0.0     33  50.00%
    !                 *  *                 !     8   0.2  -   0.1      2   3.03%
    !                 *  *                 !     9   0.3  -   0.2      1   1.52%
  10-                 *  *                 -     A   0.4  -   0.3      0   0.00%
    !                 *  *                 !     B   0.5  -   0.4      0   0.00%
    !                 *  *                 !     C    ++  -   0.5      0   0.00%
    !                 *  *                 !    -------------------------------
    !                 *  *  *  *           !             TOTAL          66 100.00%
    ----------------------------------------
       1  2  3  4  5  6  7  8  9  A  B  C       EACH "*" REPRESENTS  2 RESIDUALS

TITLE: Model LATENT GROWTH CURVE : CALCULATION & SOLVING(C1SL-G41)
01/09/01        PAGE :  6
 EQS/EM386  LICENSEE Edu. Res. Dep. CHULA
  MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

  GOODNESS OF FIT SUMMARY
  INDEPENDENCE MODEL CHI-SQUARE =  2034.262 ON   45 DEGREES OF FREEDOM

  INDEPENDENCE AIC =  1944.26175    INDEPENDENCE CAIC =  1712.48462
         MODEL AIC =    14.03463           MODEL CAIC =  -202.29069
```

```
 CHI-SQUARE =        98.035 BASED ON     42 DEGREES OF FREEDOM
 PROBABILITY VALUE FOR THE CHI-SQUARE STATISTIC IS LESS THAN 0.001
THE NORMAL THEORY RLS CHI-SQUARE FOR THIS ML SOLUTION IS 96.179.

 BENTLER-BONETT NORMED     FIT INDEX=       0.952
 BENTLER-BONETT NONNORMED FIT INDEX=        0.970
 COMPARATIVE FIT INDEX (CFI)       =        0.972
 BOLLEN (IFI)              FIT INDEX=       0.972
 McDonald (MFI)            FIT INDEX=       0.942
 LISREL GFI                FIT INDEX=       0.962
 LISREL AGFI               FIT INDEX=       0.950
 ROOT MEAN SQUARED RESIDUAL (RMR)  =        0.870
 STANDARDIZED RMR                  =        0.049
 ROOT MEAN SQ. ERROR OF APP.(RMSEA)=        0.053
 90% CONFIDENCE INTERVAL OF RMSEA (       0.040,        0.067)

                     ITERATIVE SUMMARY

                    PARAMETER
 ITERATION          ABS CHANGE         ALPHA                FUNCTION
     1               1.406325         1.00000               1.13741
     2               0.615638         1.00000               0.24885
     3               0.238063         1.00000               0.21097
     4               0.040298         1.00000               0.20956
     5               0.010974         1.00000               0.20948
     6               0.002327         1.00000               0.20948
     7               0.000687         1.00000               0.20948

TITLE: Model LATENT GROWTH CURVE : CALCULATION & SOLVING(C1SL-G41)
01/09/01        PAGE :  7
 EQS/EM386  LICENSEE Edu. Res. Dep. CHULA

 MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

 MEASUREMENT EQUATIONS WITH STANDARD ERRORS AND TEST STATISTICS
CAL1  =V1   =   1.000 F1    + 1.000 E1
CAL2  =V2   =   1.000 F1    + 1.000 F2    + 1.000 E2
CAL3  =V3   =   1.000 F1    + 2.227 F2    + 1.000 E3
CAL4  =V4   =   1.000 F1    + 3.744 F2    + 1.000 E4
CAL5  =V5   =   1.000 F1    + 5.226 F2    + 1.000 E5
SOL1  =V6   =   1.000 F3    + 1.000 E6
SOL2  =V7   =   1.000 F3    + 1.000 F4    + 1.000 F5    + 1.000 E7
SOL3  =V8   =   1.000 F3    + 2.446 F4    + 1.768 F5    + 1.000 E8
SOL4  =V9   =   1.000 F3    + 1.850 F4    + 4.158*F5    + 1.000 E9
SOL5  =V10  =   1.000 F3    + 2.030 F4    + 5.591 F5    + 1.000 E10

TITLE: Model LATENT GROWTH CURVE : CALCULATION & SOLVING(C1SL-G41)
01/09/01        PAGE :  8
 EQS/EM386  LICENSEE Edu. Res. Dep. CHULA
 MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

 CONSTRUCT EQUATIONS WITH STANDARD ERRORS AND TEST STATISTICS

 CAL-INT =F1   =   9.406 V999   + 1.000 D1
CAL-SLP =F2   =   1.555 V999   + 1.000 D2
SOL-INT =F3   =   6.863 V999   + 1.000 D3
SLP-LI  =F4   =   -.190 V999   + 1.000 D4
SLP-QD  =F5   =    .806 V999   + 1.000 D5
```

```
TITLE: Model LATENT GROWTH CURVE : CALCULATION & SOLVING(C1SL-G41)
01/09/01        PAGE :  9
 EQS/EM386  LICENSEE Edu. Res. Dep. CHULA
  MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

  VARIANCES OF INDEPENDENT VARIABLES
  ----------------------------------

                   E                               D
                  ---                             ---

 E1  -  CAL1                4.977*I D1  -CAL-INT              5.841*I
                             .597 I                            .676 I
                            8.333 I                           8.641 I
                                  I                                 I
 E2  -  CAL2                8.154*I D2  -CAL-SLP               .953*I
                             .478 I                            .087 I
                           17.045 I                          10.945 I
                                  I                                 I
 E3  -  CAL3               10.587*I D3  -SOL-INT              3.943*I
                             .514 I                            .436 I
                           20.609 I                           9.034 I
                                  I                                 I
 E4  -  CAL4               10.497*I D4  -SLP-LI               1.881*I
                             .659 I                            .204 I
                           15.926 I                           9.232 I
                                  I                                 I
 E5  -  CAL5                2.021*I D5  -SLP-QD                .548*I
                             .924 I                            .062 I
                            2.187 I                           8.794 I
                                  I                                 I
 E6  -  SOL1                3.417 I                                 I
                                  I                                 I
 E7  -  SOL2                4.362 I                                 I
                                  I                                 I
 E8  -  SOL3                2.078 I                                 I
                                  I                                 I
 E9  -  SOL4                5.535*I                                 I
                             .446 I                                 I
                           12.405 I                                 I
                                  I                                 I
 E10 -  SOL5                5.163*I                                 I
                             .631 I                                 I
                            8.182 I                                 I
                                  I                                 I

TITLE: Model LATENT GROWTH CURVE : CALCULATION & SOLVING(C1SL-G41)
01/09/01        PAGE :  10
 EQS/EM386  LICENSEE Edu. Res. Dep. CHULA
  MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

  COVARIANCES AMONG INDEPENDENT VARIABLES
  ---------------------------------------

                   E                               D
                  ---                             ---

 E4  -  CAL4               -1.917 I D2  -CAL-SLP              -.081*I
                                  I D1  -CAL-INT               .171 I
                                  I                           -.473 I
                                  I                                 I
 E3  -  CAL3                4.154 I D3  -SOL-INT              1.967*I
                                  I D1  -CAL-INT               .372 I
                                  I                           5.281 I
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                                  I                                I
E4  -  CAL4              1.651   I D4   -SLP-LI              -.617*I
                                  I D1   -CAL-INT              .248 I
                                  I                          -2.488 I
                                  I                                I
E4  -  CAL4              3.661   I D5   -SLP-QD               .700*I
                                  I D1   -CAL-INT              .134 I
                                  I                           5.218 I
                                  I                                I
                                  I D3   -SOL-INT             -.089*I
                                  I D2   -CAL-SLP              .129 I
                                  I                           -.692 I
                                  I                                I
                                  I D4   -SLP-LI              -.169*I
                                  I D2   -CAL-SLP              .088 I
                                  I                          -1.915 I
                                  I                                I
                                  I D5   -SLP-QD               .377*I
                                  I D2   -CAL-SLP              .050 I
                                  I                           7.570 I
                                  I                                I
                                  I D4   -SLP-LI             -1.179*I
                                  I D3   -SOL-INT              .236 I
                                  I                          -4.988 I
                                  I                                I
                                  I D5   -SLP-QD               .095*I
                                  I D3   -SOL-INT              .111 I
                                  I                            .858 I
                                  I                                I
                                  I D5   -SLP-QD              -.658*I
                                  I D4   -SLP-LI               .091 I
                                  I                          -7.188 I
                                  I                                I

TITLE: Model LATENT GROWTH CURVE : CALCULATION & SOLVING(C1SL-G41)
01/09/01        PAGE :  11
 EQS/EM386  LICENSEE Edu. Res. Dep. CHULA
   MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

  STANDARDIZED SOLUTION:                                      R-SQUARED


   CAL1   =V1   =    .735 F1    +  .678 E1                          .540
   CAL2   =V2   =    .629 F1    +  .254 F2   +  .743 E2             .449
   CAL3   =V3   =    .530 F1    +  .477 F2   +  .714 E3             .491
   CAL4   =V4   =    .448 F1    +  .678 F2   +  .601 E4             .639
   CAL5   =V5   =    .420 F1    +  .887 F2   +  .247 E5             .939
   SOL1   =V6   =    .732 F3    +  .681 E6                          .536
   SOL2   =V7   =    .737 F3    +  .509 F4  +  .275 F5  +  .776 E7  .399
   SOL3   =V8   =    .708 F3    + 1.196 F4  +  .467 F5  +  .514 E8  .736
   SOL4   =V9   =    .580 F3    +  .741 F4  +  .900*F5  +  .687 E9  .527
   SOL5   =V10  =    .507 F3    +  .710 F4  + 1.057 F5  +  .580 E10 .664
 CAL-INT =F1    =    .000 V999  + 1.000 D1                          .000
 CAL-SLP =F2    =    .000 V999  + 1.000 D2                          .000
 SOL-INT =F3    =    .000 V999  + 1.000 D3                          .000
 SLP-LI  =F4    =    .000 V999  + 1.000 D4                          .000
 SLP-QD  =F5    =    .000 V999  + 1.000 D5                          .000
```

```
TITLE: Model LATENT GROWTH CURVE : CALCULATION & SOLVING(ClSL-G41)
01/09/01        PAGE :   12
 EQS/EM386  LICENSEE Edu. Res. Dep. CHULA
  MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

  CORRELATIONS AMONG INDEPENDENT VARIABLES
  ---------------------------------------

                    E                                 D
                   ---                               ---

 E4   -   CAL4              -.265 I D2   -CAL-SLP             -.034*I
                                  I D1   -CAL-INT                   I
                                  I                                 I
 E3   -   CAL3               .447 I D3   -SOL-INT              .410*I
                                  I D1   -CAL-INT                   I
                                  I                                 I
 E4   -   CAL4               .178 I D4   -SLP-LI              -.186*I
                                  I D1   -CAL-INT                   I
                                  I                                 I
 E4   -   CAL4               .347 I D5   -SLP-QD               .391*I
                                  I D1   -CAL-INT                   I
                                  I                                 I
                                  I D3   -SOL-INT             -.046*I
                                  I D2   -CAL-SLP                   I
                                  I                                 I
                                  I D4   -SLP-LI              -.126*I
                                  I D2   -CAL-SLP                   I
                                  I                                 I
                                  I D5   -SLP-QD               .521*I
                                  I D2   -CAL-SLP                   I
                                  I                                 I
                                  I D4   -SLP-LI              -.433*I
                                  I D3   -SOL-INT                   I
                                  I                                 I
                                  I D5   -SLP-QD               .065*I
                                  I D3   -SOL-INT                   I
                                  I                                 I
                                  I D5   -SLP-QD              -.647*I
                                  I D4   -SLP-LI                    I
                                  I                                 I

 ----------------------------------------------------------------------
                       E N D    O F    M E T H O D
 ----------------------------------------------------------------------

TITLE: Model LATENT GROWTH CURVE : CALCULATION & SOLVING(ClSL-G41)
01/09/01        PAGE :   13
 EQS/EM386  LICENSEE Edu. Res. Dep. CHULA
  MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)

  WALD TEST (FOR DROPPING PARAMETERS)
  MULTIVARIATE WALD TEST BY SIMULTANEOUS PROCESS

  CUMULATIVE MULTIVARIATE STATISTICS             UNIVARIATE INCREMENT
 ----------------------------------             --------------------
STEP  PARAMETER   CHI-SQUARE  D.F.  PROBABILITY  CHI-SQUARE  PROBABILITY
 ----  ----------  ----------  ----  -----------  --------   -----------
   1     D2,D1       0.223      1      0.637       0.223       0.637
   2     D3,D2       0.582      2      0.747       0.359       0.549
   3     D5,D3       2.026      3      0.567      1.444       0.230
```

```
TITLE: Model LATENT GROWTH CURVE : CALCULATION & SOLVING(C1SL-G41)
01/09/01        PAGE :  14
 EQS/EM386  LICENSEE Edu. Res. Dep. CHULA
  MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)


  LAGRANGIAN MULTIPLIER TEST REQUIRES    24055 WORDS OF MEMORY.
  PROGRAM ALLOCATES   100000 WORDS.


  LAGRANGE MULTIPLIER TEST (FOR ADDING PARAMETERS)

                ORDERED UNIVARIATE TEST STATISTICS:

   NO     CODE    PARAMETER    CHI-SQUARE    PROBABILITY  PARAMETER CHANGE
   --     ----    ---------    ----------    -----------  ----------------

    1     2   0     V9,F3        12.406         0.000            -0.110
    2     2  11     V9,V999      12.260         0.000            -0.782
    3     2  20     V9,F1         9.906         0.002            -0.083
    4     2  20     V2,F4         4.344         0.037            -0.245
    5     2  20     V1,F4         3.585         0.058             0.323
    6     2  20     V2,F5         1.936         0.164             0.171
    7     2  20     V1,F5         1.822         0.177            -0.190
    8     2  20     V7,F2         1.113         0.291            -0.063
    9     2   0     E4,E3         0.977         0.323            -0.507
   10     2  20     V9,F2         0.852         0.356            -0.175

   93     2   0     F5,D5         0.000         1.000             0.000
   94     2   0     F4,D4         0.000         1.000             0.000
   95     2   0     F3,D3         0.000         1.000             0.000
   96     2   0     F2,D2         0.000         1.000             0.000
   97     2   0     F1,D1         0.000         1.000             0.000
TITLE: Model LATENT GROWTH CURVE : CALCULATION & SOLVING(C1SL-G41)
01/09/01        PAGE :  15
 EQS/EM386  LICENSEE Edu. Res. Dep. CHULA

  MAXIMUM LIKELIHOOD SOLUTION (NORMAL DISTRIBUTION THEORY)
MULTIVARIATE LAGRANGE MULTIPLIER TEST BY SIMULTANEOUS PROCESS IN STAGE 1

  PARAMETER SETS (SUBMATRICES) ACTIVE AT THIS STAGE ARE:

     PVV PFV PFF PDD GVV GVF GFV GFF BVF BFF

CUMULATIVE MULTIVARIATE STATISTICS              UNIVARIATE INCREMENT
----------------------------------              --------------------

STEP  PARAMETER  CHI-SQUARE  D.F.  PROBABILITY   CHI-SQUARE  PROBABILITY
  ---- ----------  ----------  ----  -----------   --------  -----------

1     V9,F3        12.406      1       0.000        12.406      0.000
2     V2,F4        16.711      2       0.000         4.305      0.038
1
  Execution begins at 00:20:25.49
  Execution ends   at 00:20:26.65
  Elapsed time =       1.16 seconds
```

ภาคผนวก ค

คำสั่งและผลการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับ
ด้วยโปรแกรม HLM 4.01

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CAL-LIN(unct)

```
*************************************************
*     H  H L     M     M     22             *
*     H  H L     MM MM       2 2                 *
*     HHHHH      L     MMM 2     VERSION 4.01         *
*     H   HL     M     M     2              *
*     H   HLLLLL M     M     222                 *
*************************************************
```

SPECIFICATIONS FOR THIS HLM RUN   Mon May 29 05.28 29 2000

Problem Title: CAL-GROWTH (LINEAR)-UNCENTERED
The data source for this run = A:\MCAL2.ssm
Output file name = a:\CAL-LIN(unct).out
The maximum number of level-2 units =469
The maximum number of level-2 iterations =300
Method of estimatuion: restricted maximum likelihood
Weighting Specification

	Weighting?	Weight Variable Name	Normalized?
Level 1	no		no
Level 2	no		no

The outcome variable is SCORE
The model specified for the fixed effects was:

Level-1 Coefficients	Level-2 Predictors
INTRCPT1, B0	INTRCPT2, G00
TIME slope, B1	INTRCPT2, G10

The model specified for the covariance components was:

Sigma squared (constant across level-2 units)
Tau dimensions
INTRCPT1
TIME slope

Summary of the model specified (in equation format)

```
Level-1 Model
    Y=B0+B1*(TIME)+R
Level-2 Model
    B0 =G00+U0
    B1 =G10+U1
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CAL-LIN(unct)

□ Level-1 OLS regressions

Level-2 Unit	INTRCPT1	TIME slope
001	9.60000	1.00000
002	11.8000	0.80000
003	16.8000	-1.1000
004	9.20000	1.60000
005	7.70000	2.50000
006	9.80000	2.40000
007	3.00000	3.00000
008	7.90000	1.30000
009	7.10000	2.10000
010	9.70000	1.90000

The average OLS level-1 coefficient for INTRCPT1 = 7.42992
The average OLS level-1 coefficient for TIME = 1.80884

STARTING VALUES

----

sigma(0)-squared = 7.19760

Tau(0)

INTRCPT1	0.18455	-1.23285
TIME	-1.23285	1.49652

The outcome variable is SCORE

Estimation of fixed effects
(Based on starting values of covariance components)

Fixed Effect	Coefficient	Standard Error	T-ratio	P-value
For INTRCPT1, B0				
INTRCPT2, G00	7.429122	0.175193	42.409	0.000
For TIME slope, B1				
INTRCPT2, G10	1.810271	0.069529	26.036	0.000

The value of the likelihood function at iteration1 = -6.147859E+003
The value of the likelihood function at iteration2 = -6.147847E+003
The value of the likelihood function at iteration3 = -6.147859E+003

The value of the likelihood function at iteration8 = -6.147832E+003
The value of the likelihood function at iteration9 = -6.147832E+003

Iterations stopped due to small change in likelihood function
******** ITERATION 10 ********

CAL-LIN(unct)

sigma(0)-squared = 7.81888

Tau

INTRCPT1	0.35204	-1.30531
TIME	-1.30531	1.52612

Tau (as correlations)

INTRCPT1	1.000	-0.419
TIME	-0.419	1.0000

Random level-1 Coefficients	Reliability estimate
INTRCPT1, B0	0.436
TIME , B1	0.665

The value of the likelihood function at iteration10 = -6.147832E+003
The outcome variable is SCORE

Final estimation of fixed effects :

Fixed Effect	Coefficients	Standard Error	T-ratio	P-value
For INTRCPT1, B0				
INTRCPT2, G00	7.429091	0.176164	42.175	0.000
For TIME slope, B1				
INTRCPT2, G10	1.810298	0.069967	25.874	0.000

Final estimation of variance components :

Random Effect	Standard Deviation	Variance Component	df	Chi-square	P-value
INTRCPT1, U0	2.52032	6.35204	468	828.91227	0.000
TIME slope, U1	1.23536	1.52612	468	1415.17846	0.000
Level-1, R	2.68120	7.81888			

Statistics for current covariance components model

Deviance = 18157.66337
Number of estimate parameters = 4

Test of homogeneity of level-1 variance

Chi-square statistic = 482.10575
Number of degree of freedom = 468
P-value = 0.305

SOL-Q(un)

```
**************************************************
*     H   H L      M     M      22              *
*     H   H L      MM MM        2 2                  *
*     HHHHH        L     MMM 2      VERSION 4.01          *
*     H    HL      M     M      2               *
*     H    HLLLLL M     M      222                  *
**************************************************
```

SPECIFICATIONS FOR THIS HLM RUN   Mon May 29 06.37 16 2000

Problem Title: **SOL-QUA** (UNCENTERED)
The data source for this run = A:\msol2.ssm
Output file name   = A:\SOL-Q(UN).out
The maximum number of level-2 units =469
The maximum number of level-2 iterations =300
Method of estimatuion: restricted maximum likelihood
Weighting Specification

	Weighting?	Weight Variable Name	Normalized?
Level 1	no		no
Level 2	no		no

The outcome variable is SCORE
The model specified for the fixed effects was:

Level-1 Coefficients	Level-2 Predictors
INTRCPT1, B0	INTRCPT2, G00
TIME slope, B1	INTRCPT2, G10
TIME*2 slope, B2	INTRCPT2, G20

The model specified for the covariance components was:

Sigma squared (constant across level-2 units)
Tau dimensions
INTRCPT1
TIME slope
TIME*2 slope

Summary of the model specified (in equation format)

Level-1 Model
Y=B0+B1*(TIME)+ B2*(TIME*2)+R

SOL-Q(นน)

Level-2 Model
B0 =G00+U0
B1 =G10+U1
B2 =G20+U2

□ Level-1 OLS regressions

Level-2 Unit	INTRCPT1	TIME slope	TIME*2 slope
001	-3.20000	8.65714	-1.14286
002	9.20000	-2.81429	0.78571
003	-9.80000	12.24091	-1.70455
004	-11.6000	12.62857	-1.57143
005	0.80000	4.17143	-0.42857
006	17.60000	-7.30000	1.50000
007	11.41818	-2.76364	0.45455
008	-7.40000	10.24286	-1.35714
009	-13.0000	14.72857	-2.07143
010	13.00000	-2.75714	0.64286

The average OLS level-1 coefficient for INTRCPT1 = 7.17724
The average OLS level-1 coefficient for TIME = -0.44879
The average OLS level-1 coefficient for TIME*2 = 0.25108

STARTING VALUES
----

sigma(0)-squared = 5.14118

Tau(0)

INTRCPT1	9.99677	-5.09039	0.64268
TIME	-5.09039	3.30059	-0.39682
TIME*2	0.64268	-0.39682	0.05084

The outcome variable is SCORE

Estimation of fixed effects
(Based on starting values of covariance components)

Fixed Effect	Coefficient	Standard Error	T-ratio	P-value
For INTRCPT1, B0				
INTRCPT2, G00	7.095948	0.270682	26.215	0.000
For TIME slope, B1				
INTRCPT2, G10	-0.394688	0.1932281	-2.042	0.041
For TIME slope, B1				
INTRCPT2, G10	0.242956	0.030364	8.002	0.000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SOL-Q(un)

The value of the likelihood function at iteration1 = -5.661332E+003
The value of the likelihood function at iteration2 = -5.654175E+003
The value of the likelihood function at iteration3 = -5.652490E+003

The value of the likelihood function at iteration234 = -5.632459E+003
The value of the likelihood function at iteration235 = -5.632453E+003

Iterations stopped due to small change in likelihood function
******** ITERATION 236 ********

sigma(0)-squared = 5.15821

Tau

INTRCPT1	7.29642	-4.13346	0.62997
TIME	-4.13346	3.52064	-0.57048
TIME*2	0.62997	-0.57048	0.10876

Tau (as correlations)

INTRCPT1	1.000	-0.816	0.706
TIME	-0.816	1.000	-0.922
TIME*2	0.706	-0.922	1.000

Random level-1 Coefficients	Reliability estimate
INTRCPT1, B0	0.227
TIME , B1	0.194
TIME*2, B2	0.216

The value of the likelihood function at iteration236 = -5.632453E+003
The outcome variable is SCORE

Final estimation of fixed effects :

Fixed Effect	Coefficients	Standard Error	T-ratio	P-value
For INTRCPT1, B0				
INTRCPT2, G00	7.096440	0.260164	27.277	0.000
For TIME slope, B1				
INTRCPT2, G10	-0.396254	0.195003	-2.032	0.000
For TIME slope, B2				
INTRCPT2, G20	0.243477	0.032468	7.499	0.000

SOL-Q(un)

Final estimation of variance components :

Random Effect	Standard Deviation	Variance Component	df	Chi-square	P-value
INTRCPT1, U0	2.70119	7.29642	468	607.72594	0.000
TIME slope, U1	1.87634	3.52064	468	584.59040	0.000
TIME*2, slope, U2	0.32978	0.10876	468	604.63417	0.000
Level-1, R	2.27117	5.15821			

Statistics for current covariance components model

Deviance = 11264.90647
Number of estimate parameters = 7

Test of homogeneity of level-1 variance

Chi-square statistic = 359.44942
Number of degree of freedom = 468
P-value > 0.500

ภาคผนวก ง

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบความตรงของคุณลักษณะข้อสอบ (Item Sspecification)
และแบบสอบคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ผลการวิเคราะห์คุณภาพรายข้อของแบบสอบคณิตศาสตร์ 5 ฉบับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญที่พิจารณาความตรงของแบบสอบ

1. **อาจารย์วรรณดี ชุณหวุฒิยานนท์** ตำแหน่งศึกษานิเทศก์ระดับ 7 หน่วยศึกษานิเทศ กรมสามัญศึกษา วุฒิการศึกษาปริญญาโทสาขาการวัดผลทางการศึกษา (กศ.ม.) ปริญญาตรีคณะศึกษาศาสตร์ วิชาเอกคณิตศาสตร์ (กศ.บ.) ประสบการณ์เคยเป็นครู ผู้สอนวิชาคณิตศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา 14 ปี

2. **อาจารย์พิมลรัตน์ สภานุชาติ** ตำแหน่งศึกษานิเทศก์ระดับ 7 หน่วยศึกษานิเทศ กรมสามัญศึกษา วุฒิการศึกษาปริญญาโทสาขาการวัดผลทางการศึกษา (กศ.ม.) ปริญญาตรีวิชาเอกคณิตศาสตร์(กศ.บ.) ประสบการณ์เคยเป็นครูผู้สอนวิชาคณิตศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา 12 ปี

3. **อาจารย์รัชนี ชูวิเชียร** ตำแหน่งอาจารย์ 2 ระดับ 7 โงเรียนรัตนโกสินทร์สมโภช บางเขน เขตบางเขน เป็นครูผู้สอนวิชาคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-3 ประสบการณ์การสอนวิชาคณิตศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา 24 ปี ตำแหน่งวุฒิการศึกษาปริญญาตรีคณะศึกษาศาสตร์ วิชาเอกคณิตศาสตร์(กศ.บ.) เคยศึกษาในระดับปริญญาโทสาขาการวัดผลการศึกษา

4. **อาจารย์ปณยา แพร่เจริญวัฒนา** ตำแหน่งอาจารย์ 2 ระดับ 6 โรงเรียนประชาราษฎร์อุปถัมภ์ เขตห้วยขวาง เป็นครูผู้สอนวิชาคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-3 ประสบการณ์เคยเป็นครูผู้สอนวิชาคณิตศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา 12 ปี วุฒิการศึกษาปริญญาโทสาขาการวัดผลทางการศึกษา (กศ.ม.) ปริญญาตรีคณะศึกษาศาสตร์ วิชาเอกการวัดผลการศึกษา วิชาโทคณิตศาสตร์ (ศษ.บ.)

5. **อาจารย์ธนเดช สุขเจริญ** ตำแหน่งอาจารย์ 2 ระดับ 7 โงเรียนวัดศรัทธาธรรม จังหวัดสมุทรสงคราม เป็นครูผู้สอนวิชาคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-3 ประสบการณ์เป็นครูผู้สอนวิชาคณิตศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา 5 ปี ตำแหน่งวุฒิการศึกษาปริญญาตรีวิชาเอกคณิตศาสตร์ (ค.บ.)

6. **อาจารย์ลำใย สนั่นรัมย์** ตำแหน่งนักวิชาการสอบ 5 สำนักงานทดสอบทางการศึกษา กรมวิชาการ วุฒิการศึกษาปริญญาโทสาขาการวัดผลการศึกษา (กศ.ม.) ปริญญาตรีคณะศึกษาศาสตร์ วิชาเอกคณิตศาสตร์ (ศษ.บ.) ประสบการณ์การสร้างและพัฒนาแบบวัดทางคณิตศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ในการตรวจสอบคุณภาพการศึกษาของกระทรวงศึกษาธิการ ตั้งแต่ปีการศึกษา 2535

แบบสอบคณิตศาสตร์ ฉบับที่ 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ข้อ	ความยาก	อำนาจจำแนก	ข้อ	ความยาก	อำนาจจำแนก
1	0.77	0.51	31	0.46	0.21
2	0.56	0.20	32	0.60	0.26
3	0.74	0.40	33	0.75	0.25
4	0.72	0.68	34	0.60	0.19
5	0.33	0.54	35	0.32	0.30
6	0.76	0.20	36	0.36	0.22
7	0.65	0.41	37	0.62	0.47
8	0.46	0.27	38	0.61	0.28
9	0.55	0.18	39	0.51	0.26
10	0.36	0.24	40	0.47	0.27
11	0.72	0.23	41	0.60	0.22
12	0.54	0.33	42	0.59	0.36
13	0.48	0.38	43	0.35	0.60
14	0.55	0.22	44	0.59	0.40
15	0.55	0.20	45	0.48	0.43
16	0.65	0.18	46	0.48	0.23
17	0.58	0.49	47	0.26	0.52
18	0.61	0.26	48	0.43	0.33
19	0.49	0.35	49	0.38	0.24
20	0.71	0.23	50	0.46	0.33
21	0.35	0.25	51	0.62	0.21
22	0.49	0.56	52	0.46	0.27
23	0.73	0.27	53	0.50	0.21
24	0.69	0.51	54	0.39	0.37
25	0.45	0.48	55	0.38	0.37
26	0.39	0.38			
27	0.41	0.40			
28	0.54	0.58			
29	0.52	0.61			
30	0.40	0.44			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบสอบคณิตศาสตร์ ฉบับที่ 2 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ข้อ	ความยาก	อำนาจจำแนก	ข้อ	ความยาก	อำนาจจำแนก
1	0.71	0.42	31	0.38	0.21
2	0.48	0.25	32	0.54	0.31
3	0.64	0.42	33	0.69	0.21
4	0.70	0.48	34	0.53	0.22
5	0.26	0.34	35	0.31	0.36
6	0.56	0.25	36	0.34	0.23
7	0.61	0.36	37	0.52	0.37
8	0.46	0.37	38	0.51	0.25
9	0.54	0.22	39	0.53	0.36
10	0.42	0.28	40	0.47	0.29
11	0.62	0.33	41	0.61	0.22
12	0.44	0.34	42	0.59	0.36
13	0.41	0.38	43	0.37	0.61
14	0.52	0.22	44	0.49	0.44
15	0.35	0.24	45	0.41	0.41
16	0.45	0.21	46	0.28	0.23
17	0.52	0.42	47	0.32	0.32
18	0.69	0.28	48	0.41	0.31
19	0.44	0.32	49	0.28	0.29
20	0.71	0.26	50	0.45	0.33
21	0.25	0.25	51	0.65	0.21
22	0.43	0.36	52	0.36	0.26
23	0.70	0.27	53	0.40	0.19
24	0.69	0.41	54	0.31	0.27
25	0.45	0.48	55	0.29	0.31
26	0.34	0.36			
27	0.26	0.41			
28	0.52	0.52			
29	0.51	0.41			
30	0.32	0.42			

แบบสอบคณิตศาสตร์ ฉบับที่ 3 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ข้อ	ความยาก	อำนาจจำแนก	ข้อ	ความยาก	อำนาจจำแนก
1	0.76	0.24	31	0.56	0.25
2	0.74	0.65	32	0.48	0.41
3	0.74	0.59	33	0.62	0.22
4	0.72	0.61	34	0.48	0.24
5	0.63	0.51	35	0.44	0.20
6	0.59	0.19	36	0.51	0.30
7	0.67	0.23	37	0.49	0.31
8	0.63	0.30	38	0.54	0.20
9	0.63	0.37	39	0.50	0.40
10	0.45	0.25	40	0.48	0.41
11	0.60	0.20	41	0.44	0.21
12	0.61	0.39	42	0.45	0.28
13	0.54	0.27	43	0.42	0.32
14	0.66	0.30	44	0.43	0.23
15	0.41	0.24	45	0.51	0.33
16	0.59	0.22	46	0.51	0.33
17	0.73	0.31	47	0.45	0.39
18	0.55	0.32	48	0.56	0.26
19	0.47	0.28	49	0.40	0.30
20	0.61	0.21	50	0.54	0.47
21	0.41	0.23	51	0.58	0.21
22	0.51	0.26	52	0.50	0.25
23	0.61	0.26	53	0.51	0.33
24	0.56	0.23	54	0.44	0.37
25	0.47	0.22	55	0.53	0.25
26	0.44	0.31			
27	0.55	0.26			
28	0.46	0.45			
29	0.46	0.56			
30	043	0.34			

แบบสอบคณิตศาสตร์ ฉบับที่ 4 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ข้อ	ความยาก	อำนาจจำแนก	ข้อ	ความยาก	อำนาจจำแนก
1	0.70	0.31	31	0.40	0.50
2	0.49	0.24	32	0.52	0.35
3	0.61	0.22	33	0.73	0.60
4	0.58	0.46	34	0.67	0.55
5	0.54	0.64	35	0.47	0.54
6	0.72	0.22	36	0.49	0.22
7	0.70	0.27	37	0.58	0.27
8	0.64	0.26	38	0.27	0.21
9	0.49	0.21	39	0.30	0.31
10	0.29	0.37	40	0.62	0.66
11	0.77	0.20	41	0.65	0.58
12	0.65	0.46	42	0.72	0.24
13	0.45	0.19	43	0.30	0.28
14	0.55	0.41	44	0.61	0.60
15	0.52	0.20	45	0.48	0.27
16	0.75	0.31	46	0.64	0.35
17	0.49	0.21	47	0.40	0.63
18	0.62	0.28	48	0.52	0.26
19	0.35	0.34	49	0.67	0.68
20	0.64	0.41	50	0.46	0.67
21	0.24	0.35	51	0.52	0.26
22	0.62	0.42	52	0.53	0.33
23	0.70	0.43	53	0.52	0.21
24	0.37	0.21	54	0.20	0.28
25	0.40	0.40	55	0.48	0.28
26	0.24	0.35			
27	0.62	0.42			
28	0.71	0.43			
29	0.21	0.21			
30	0.40	0.40			

แบบสอบคณิตศาสตร์ ฉบับที่ 5 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ข้อ	ความยาก	อำนาจจำแนก	ข้อ	ความยาก	อำนาจจำแนก
1	0.78	0.37	31	0.49	0.44
2	0.69	0.47	32	0.53	0.54
3	0.73	0.34	33	0.66	0.23
4	0.69	0.40	34	0.68	0.39
5	0.42	0.31	35	0.31	0.36
6	0.68	0.18	36	0.44	0.45
7	0.75	0.23	37	0.73	0.20
8	0.61	0.26	38	0.69	0.19
9	0.76	0.25	39	0.48	0.22
10	0.43	0.28	40	0.46	0.27
11	0.73	0.40	41	0.35	0.34
12	0.51	0.33	42	0.77	0.35
13	0.57	0.37	43	0.36	0.47
14	0.63	0.42	44	0.57	0.40
15	0.47	0.40	45	0.77	0.36
16	0.73	0.31	46	0.48	0.50
17	0.51	0.50	47	0.34	0.25
18	0.65	0.24	48	0.41	0.30
19	0.49	0.25	49	0.45	0.27
20	0.43	0.50	50	0.52	0.47
21	0.41	0.38	51	0.67	0.42
22	0.52	0.20	52	0.59	0.28
23	0.74	0.44	53	0.56	0.20
24	0.67	0.23	54	0.31	0.25
25	0.53	0.19	55	0.48	0.20
26	0.47	0.23			
27	0.62	0.42			
28	0.54	0.22			
29	0.39	0.21			
30	0.41	0.21			

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้วิจัย

นางสาวสมถวิล วิจิตรวรรณา เกิดวันที่ 16 ธันวาคม พ.ศ. 2499 ที่อำเภอป้อมปราบศัตรูพ่าย จังหวัดพระนคร สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาตอนต้นที่โรงเรียนเชิดบุญชาติศึกษา ระดับประถมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนวัดดาวคนอง ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นที่โรงเรียนบางปะกอกวิทยาคม ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนสตรีศรีสุริโยทัย ระดับประกาศนียบัตรการศึกษาชั้นสูง (ป.กศ.สูง) วิชาเอกคณิตศาสตร์ วิชาโทวิทยาศาสตร์และภาษาไทย จากวิทยาลัยครูจันทรเกษม รับราชการครั้งแรกตำแหน่งครูตรีเมื่อปีการศึกษา 2518 สอนระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนศรีศรัทธาธรรม องค์บริหารบริหารส่วนจังหวัดสมุทรสงคราม ลาศึกษาต่อระดับปริญญาตรีคณะศึกษาศาสตร์ วิชาเอกคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (กศบ. เกียรตินิยมอันดับ 2) และระดับปริญญาโทสาขาการวัดผลการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (กศม.) สำเร็จการศึกษาในพ.ศ. 2524 สอบเลื่อนตำแหน่งเป็นนักวิชาการศึกษา งานวิจัยผลการศึกษาตามหลักสูตร กองวิชาการ สำนักงานคณะกรรมการการประถมศึกษาแห่งชาติ ในปี พ.ศ. 2525 ได้รับคัดเลือกเป็นข้าราชการดีเด่นของกระทรวงศึกษาธิการ ในปี พ.ศ. 2530 สอบได้ทุนฝึกอบรมการวัดผลการศึกษาที่ประเทศญี่ปุ่นเป็นเวลา 1 ปี 6 เดือน ระหว่างปี พ.ศ. 2532-2534 สอบคัดเลือกเป็นอาจารย์ระดับ 7 ศูนย์วิจัยและพัฒนาแบบทดสอบ สำนักทะเบียนและวัดผล มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ในปีพ.ศ.2535 และปีการศึกษา 2539-2543 ศึกษาระดับปริญญาเอกสาขาการวัดและประเมินผลการศึกษา ภาควิชาวิจัยการศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย