อิทธิพลของความสัมพันธ์ระหว่างมิติและวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีต่อค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ความแม่นยำ และความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง

นางสาววิภาพรรณ มักขุนทด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา
คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF MULTIDIMENSIONALITY AND RELIABILITY ESTIMATION METHODS ON MULTIDIMENSIONAL RELIABILITY ACCURACY AND PRECISION OF ESTIMATED RELIABILITY COEFFICIENT

Miss Wiphaphan Mukkhuntod

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Education Program in Educational Measurement and Evaluation
Department of Educational Research and Psychology
Faculty of Education
Chulalongkorn University
Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของความสัมพันธ์ระหว่างมิติและวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีต่อค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ความแม่นยำและความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง
โดย	นางสาววิภาพรรณ มักขุนทด
สาขาวิชา	การวัดและประเมินผลการศึกษา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฏฐภรณ์ หลาวทอง

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะครุศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บัญชา ชลาภิรมย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย กาญจนวาสี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฏฐภรณ์ หลาวทอง)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สังวรณ์ งัดกระโทก)

วิภาพรรณ มักขุนทด : อิทธิพลของความสัมพันธ์ระหว่างมิติและวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีต่อค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ความแม่นยำ และความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง (EFFECTS OF MULTIDIMENSIONALITY AND RELIABILITY ESTIMATION METHODS ON MULTIDIMENSIONAL RELIABILITY ACCURACY AND PRECISION OF ESTIMATED RELIABILITY COEFFICIENT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.ณัฏฐภรณ์ หลาวทอง, 223 หน้า.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 3 ประการ คือ (1) ศึกษาค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยง 5 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน (2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงวิธีต่าง ๆ ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน และ(3) ศึกษาระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่สามารถใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคแทนการวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ข้อมูลสำหรับการศึกษาเป็นข้อมูลจำลองจากวิธีการมอนติคาร์โล ภายใต้สถานการณ์จำลอง จำนวน 25 สถานการณ์ คือ วิธีการประมาณค่าความเที่ยงมี 5 วิธี และระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติมี 5 ระดับ ซึ่งในแต่ละสถานการณ์กระทำซ้ำจำนวนทั้งสิ้น 1000 รอบ

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

(1) เมื่อศึกษาค่าประมาณความเที่ยงพบว่า ในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่ำ (r=0.10 และ r=0.30) วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ มีค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค และ เมื่อระดับสัมพันธ์ระหว่างมิติเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค และ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง มีค่าประมาณความเที่ยงสูงขึ้น

(2) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการประมาณค่าความเที่ยงพบว่า ในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่ำ (r=0.10 และ r=0.30) วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ มีประสิทธิภาพในด้านความแม่นยำ และ ความถูกต้องสูงกว่าวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค และ เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค มีประสิทธิภาพในด้านความแม่นยำ และ ความถูกต้องสูงขึ้น แต่จะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง มีประสิทธิภาพในด้านความแม่นยำลดลง

(3) วิธีการประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค สามารถใช้แทนวิธีการประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างมิติมีค่า r=0.90 เมื่อ r คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างมิติ เพราะว่าค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค มีค่าใกล้เคียงกับค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีการประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ยกเว้นค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง

ภาควิชา วิจัยและจิตวิทยาการศึกษา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา การวัดและประเมินผลการศึกษา ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558

5783871027 : MAJOR EDUCATIONAL MEASUREMENT AND EVALUATION
KEYWORDS: MULTIDIMENSIONALITY, MULTIDIMENSIONAL RELIABILITY ESTIMATION METHOD, CONSTRUCT RELIABILITY COEFFICIENT, MULTIDIMENSIONAL OMEGA COEFFICIENT, STRATIFIED ALPHA COEFFICIENT

WIPHAPHAN MUKKHUNTOD: EFFECTS OF MULTIDIMENSIONALITY AND RELIABILITY ESTIMATION METHODS ON MULTIDIMENSIONAL RELIABILITY ACCURACY AND PRECISION OF ESTIMATED RELIABILITY COEFFICIENT. ADVISOR: ASST. PROF. NUTTAPORN LAWTHONG, Ph.D., 223 pp.

The purposes of this research were 1) to study reliability coefficients obtained from 5 different reliability estimation methods consist of construct reliability coefficient, multidimensional omega coefficient, maximal reliability coefficient, stratified alpha coefficien and Cronbach's alpha coefficient under multidimensional measurement and 5 different multidimensionality levels. 2) to compare the efficiency of reliability estimation between multidimensional reliability estimation methods and Cronbach's alpha method under multidimensional measurement and 5 different multidimensionality levels, and 3) to study at which multidimensionality level Cronbach's alpha method and multidimensional reliability estimation methods can be used interchange. The data was generated using Monte Carlo method under 25 simulation conditions under 5 different reliability estimation methods and5 different multidimensionality levels which each situation condition was repeated 1000 times.

Summarized results of the research were:

(1) When comparing reliability coefficients obtained from 5 different reliability estimation methods, multidimensional methods had value higher than Cronbach's alpha coefficient when multidimensionality was small (0.1 and 0.3). In considering the trend of multidimensionality levels were increased, reliability value of Cronbach's alpha coefficient and construct reliability coefficient were likely to have higher value.

(2) When comparing the efficiency of reliability estimation obtained from multidimensional reliability estimation methods and Cronbach's alpha method, multidimensional reliability estimation methods had more accuracy value and precision value than Cronbach's alpha method. When multidimensionality levels increased, accuracy value and precision value of Cronbach's alpha method were likely to provide higher value but precision value of construct reliability coefficient were greater.

(3) Cronbach's alpha method and multidimensional reliability estimation methods when multidimensionality was greater (0.9) because reliability coefficient from Cronbach' s alpha method had value closed to those from multidimensional reliability estimation methods except construct reliability coefficient.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department:	Educational Research and Psychology	Student's Signature	.....
		Advisor's Signature	.....
Field of Study:	Educational Measurement and Evaluation		
Academic Year:	2015		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความเมตตา กรุณา และ เอาใจใส่อย่างดียิ่ง จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฏฐภรณ์ หลาวทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ และ เป็นกำลังใจที่ดี แก่ผู้วิจัยเสมอมา ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้ มีความ สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และ ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย กาญจนวาสี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สังวรณ์ งัดกระโทก กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่า ให้ข้อคิด ข้อเสนอแนะ อันเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ทั้งใน ด้านเนื้อหา และ คุณค่าทางวิชาการมากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ดร. สิวะโชติ ศรีสุทธิยากร ที่ได้ให้คำแนะนำ และ ความรู้พื้นฐานที่ สำคัญสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนชี้แนะแนวทางในการแก้ไข และ ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษาทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ ประสบการณ์ และ กำลังใจ ตลอดระยะเวลาที่ได้เข้า มาศึกษา

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา และ กำลังใจที่ดีตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณพี่อนุสรณ์ เกิดศรี คุณพี่ณภัทร ชัยมงคล คุณพี่พุทธิราภรณ์ หังสวนัส คุณพี่วรัญญา รุมแสง นายเฉลิมศักดิ์ มะลิงาม นางสาวชนิสรา สงวนไว้ นายชัยณรงค์ ขำบัณฑิต และ อีกหลายท่านที่ไม่ได้เอ่ยนาม ณ ที่นี้ ที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อเรือตรี วิเชียร มักขุนทด และ คุณแม่ยุพิน มักขุนทด ที่ได้เลี้ยง ดู ให้ความรักเอาใจใส่ และดูแลผู้วิจัยเป็นอย่างดี จนประสบความสำเร็จทางการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

คำถามการวิจัย 8

วัตถุประสงค์การวิจัย 8

สมมติฐานการวิจัย 8

ขอบเขตของการวิจัย 11

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 12

ประโยชน์ที่ได้รับ 14

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 16

ตอนที่ 1 แนวคิดเกี่ยวกับความเที่ยง 16

ตอนที่ 2 แนวคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์พหุมิติ 58

ตอนที่ 3 การจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล 68

ตอนที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย 79

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 80

ตอนที่ 1 สถานการณ์จำลองที่ใช้ในการวิจัย 82

ตอนที่ 2 การจำลองข้อมูลในการวิจัย 86

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

ตอนที่ 3 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลจำลอง 87
ตอนที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล 98
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 104
ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ค่าประมาณความเที่ยง 104
ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยง 116
ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่สามารถใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคแทนวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 123
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 124
สรุปผลการวิจัย 125
อภิปรายผลการวิจัย 127
ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้ 131
ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป 132
รายการอ้างอิง 133
ภาคผนวก ก คำสั่งที่ใช้ในการศึกษาด้วยวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โลด้วยโปรแกรม R 140
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ด้วยโปรแกรม R 146
ภาคผนวก ค การประมาณค่าความเที่ยงด้วยโปรแกรม R 166
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 223

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ประเภทของความเที่ยง 18

ตารางที่ 2 การสังเคราะห์งานวิจัยต่างประเทศที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆในการประมาณค่าความเที่ยง 32

ตารางที่ 3 การสังเคราะห์งานวิจัยเกี่ยวกับการประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 38

ตารางที่ 4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง 40

ตารางที่ 5 สถานการณ์จำลองที่ใช้ในการวิจัย 85

ตารางที่ 6 ดัชนีวัดความสอดคล้องโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ 88

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.1 90

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.3 91

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.5 93

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.7 95

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.9 97

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ย (*M*) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (*SD*) ของค่าประมาณความเที่ยง 107

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.1 109

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของวิธีประมาณค่าความเที่ยง ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.1 110

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.3 111

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของวิธีประมาณค่าความเที่ยง ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.3 111

ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.5 112

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของวิธีประมาณค่าความเที่ยง ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.5 113

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.7 114

ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของวิธีประมาณค่าความเที่ยง ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.7 114

ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับความสัมพันธ์ ระหว่างมิติเท่ากับ 0.9 115

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของวิธีประมาณค่าความเที่ยง ที่ระดับ ความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.9 116

ตารางที่ 23 ความลำเอียงสัมพัทธ์ (RB) และ สัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (CV) ของค่าประมาณความเที่ยง 121

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แนวคิดเอกมิติและพหุมิติ 60
ภาพที่ 2 ขั้นตอนการจำลอง 69
ภาพที่ 3 การแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม 70
ภาพที่ 4 ส่วนประกอบของคำสั่งในโปรแกรม R 74
ภาพที่ 5 วิธีการเขียนคำสั่งหลายคำสั่งในโปรแกรม R 75
ภาพที่ 6 วิธีการเขียนคำสั่งสร้างเมทริกซ์) 76
ภาพที่ 7 วิธีการใช้คำสั่งขอความช่วยเหลือ (Help) 77
ภาพที่ 8 กรอบแนวคิดในการวิจัย 79
ภาพที่ 9 โมเดลการวัดในประชากร (Population measurement model) 83
ภาพที่ 10 โมเดลการวัดที่สร้างขึ้น 87
ภาพที่ 11 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ เท่ากับ 0.1 90
ภาพที่ 12 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ เท่ากับ 0.3 92
ภาพที่ 13 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ เท่ากับ 0.5 94
ภาพที่ 14 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ เท่ากับ 0.7 96
ภาพที่ 15 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ เท่ากับ 0.9 98

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 16 ขั้นตอนการจำลองข้อมูล 102
ภาพที่ 17 ขั้นตอนการประมาณค่าจากข้อมูลจำลอง 103
ภาพที่ 18 ค่าประมาณความเที่ยง 108
ภาพที่ 19 ความลำเอียงสัมพัทธ์ (RB) ของค่าประมาณความเที่ยง 122
ภาพที่ 20 สัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (CV)..... 122

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความเที่ยง (Reliability) เป็นคุณลักษณะสำคัญคุณลักษณะหนึ่งของเครื่องมือวัดผลที่มีคุณภาพ สำหรับความหมายเกี่ยวกับความเที่ยงในด้านการวัดผลนั้น นักวัดผลหลายท่านได้ให้ความหมายไว้แตกต่างกัน โดยสามารถสรุปความหมายของความเที่ยงออกเป็น 3 ความหมาย ดังนี้ ความหมายแรก ความเที่ยง คือ ลักษณะที่แสดงให้เห็นถึงความคงเส้นคงวา หรือ ความสอดคล้องกันของผลการวัดในแต่ละครั้ง โดยใช้เครื่องมือวัดชนิดเดิม (Anastasi, 1976; Cortina, 1993; Ebel, 1965; Grounlund, 1976; Mehrens & Lahman, 1984; กังวล เทียนกัณฑ์เทศน์, 2540; โชติกา ภาษีผล, 2554; เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี, 2552; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) ความหมายที่สอง ความเที่ยง คือ อัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนของคะแนนจริง (T) กับ ความแปรปรวนของคะแนนที่สังเกตได้ (X) (Kerlinger, 1973; Osburn, 2000; โชติกา ภาษีผล, 2554; เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี, 2552; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) หรือเท่ากับ อัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนของคะแนนจริง (T) กับ ผลรวมของความแปรปรวนของคะแนนจริง (T) และ ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (E) (Lord & Novick, 1968) และ ความหมายสุดท้ายความเที่ยง คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนจากแบบสอบคู่ขนาน 2 ชุด โดยกลุ่มผู้สอบกลุ่มเดียวกัน มีวิธีดำเนินการสอบที่เป็นอิสระจากกัน แต่ต้องมีมาตรฐานในการดำเนินการสอบเดียวกัน (Allen & Yen, 1979; Ebel, 1965; โชติกา ภาษีผล, 2554; ณัฏฐภรณ์ หลาวทอง, 2559; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) นักวัดผลส่วนใหญ่ แบ่งประเภทของความเที่ยง ออกเป็น 4 ประเภท ประเภทแรก ความเที่ยงแบบความคงที่ (Measure of stability) ประเภทที่สอง ความเที่ยงแบบความสมมูล (Measure of equivalence) ประเภทที่สาม ความเที่ยงแบบความคงที่ และ สมมูล (Measure of stability and equivalence) และ ประเภทสุดท้าย ความเที่ยงแบบความสอดคล้องภายใน (Measure of internal consistency) (กังวล เทียนกัณฑ์เทศน์, 2540; โชติกา ภาษีผล, 2554; ณัฏฐภรณ์ หลาวทอง, 2559; เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี, 2552; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) ความเที่ยงแต่ละประเภทมีข้อจำกัด, ข้อตกลงเบื้องต้น และ วิธีการประมาณค่าที่แตกต่างกัน จึงทำให้ผลการประมาณค่าความเที่ยงมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่เหมาะสมจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าความเที่ยง และ ทำให้ค่าความเที่ยงที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความเที่ยงที่แท้จริง (True reliability)

ในปัจจุบันปรากฏว่า นักวิจัยบางส่วนเลือกใช้วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่ไม่เหมาะสม และปราศจากการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น หรือ ข้อจำกัดของแต่ละวิธีประมาณค่าความเที่ยง วิธีประมาณค่าความเที่ยง โดยใช้วิธีของ คูเดอร์-ริชาร์ดสัน (Kuder-Richardson's Method) ที่ประกอบด้วยสูตร KR-20 และ KR-21 วิธีนี้เป็นวิธีที่นักวิจัยบางส่วนเลือกใช้ไม่เหมาะสมกับคุณลักษณะของเครื่องมือวัด เนื่องจากก่อนการวิเคราะห์ผล ไม่มีการพิจารณาค่าความยาก (Difficulty index) และ ค่าอำนาจจำแนก (Discriminant index) ของเครื่องมือวัด อันเป็นข้อตกลงเบื้องต้นของวิธีประมาณค่าความเที่ยงของวิธีนี้ แต่ถ้าเครื่องมือวัดไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นดังกล่าว จะส่งผลให้ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้คลาดเคลื่อนไปจากค่าความเที่ยงที่แท้เป็นจริง (True reliability) เช่น การเลือกใช้ค่า KR-21 สำหรับรายงานผลการพัฒนาแบบสอบในชั้นเรียน ค่าความเที่ยงที่ได้เป็นค่าที่ต่ำกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Underestimation) เพราะข้อสอบทุกข้อในแบบสอบ มีแนวโน้มที่จะมีความยากง่ายไม่เท่ากัน จึงเป็นการเลือกใช้วิธีประมาณค่าที่ไม่เหมาะสม อีกหนึ่งวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีปัญหา คือ วิธีประมาณค่าความเที่ยง โดยใช้ค่าประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่นิยมใช้ในการประมาณค่าความเที่ยงของเครื่องมือวัดด้านพฤติกรรมศาสตร์ และด้านสังคมศาสตร์ ไม่ว่าเครื่องมือวัด จะมีกี่องค์ประกอบก็ตาม ข้อตกลงเบื้องต้นของค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค คือ 1) แบบสอบถูกแบ่งออกเป็น k ส่วน แต่ละส่วนอาจเป็นกลุ่มข้อสอบ หรือข้อสอบแต่ละข้อก็ได้ และ แต่ละส่วนจะต้องมีความทัดเทียมกัน (τ - equivalent) (Lord & Novic, 1968 cited in Kamata, Turhan & Darandari, 2003; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) และ 2) การวัดจะต้องมุ่งวัดเพียงคุณลักษณะเดียว (One-trait) หรือเรียกว่า เป็นการวัดแบบเอกมิติ (Unidimensional measurement) (Cortina, 1993; Green et al., 1977 cited in Widhiarso, 2007; Raykov, 1997; 2001; Widhiarso & Ravand, 2014; Sijtsma, 2009; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) ภายใต้ข้อตกลงเบื้องต้นดังกล่าว จะทำให้ค่าความเที่ยงที่ได้จะเป็นค่าที่ถูกต้อง หรือ ใกล้เคียงกับค่าความเที่ยงที่แท้จริง (True reliability) แต่หากไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นแม้ข้อใดข้อหนึ่ง อาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าความเที่ยง เห็นได้ชัดจากงานวิจัยที่ประมาณค่าความเที่ยง โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค พบว่า เมื่อการวัดเป็นแบบคะแนนจริงสหสัมพันธ์ (Congeneric) ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จะใกล้เคียงกับค่าความเที่ยงที่แท้จริงน้อยกว่าค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากการวัดแบบคู่ขนาน (Parallel) และ การวัดแบบคะแนนจริงสมมูล หรือ ทัดเทียมกัน (Tau-equivalent) (Osburn, 2000; Raykov, 2001; Widhiarso; 2007) แต่ในความเป็นจริงการวัดส่วนใหญ่

จะเป็นการวัดแบบคะแนนจริงสหสัมพันธ์ (Congeneric) ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคจะให้ผลการประมาณค่าความเที่ยงที่ไม่ถูกต้อง หรือ ไม่ใกล้เคียงกับค่าความเที่ยงที่แท้จริง

ปัญหาอีกประการหนึ่งในการประมาณค่าความเที่ยง คือ เครื่องมือวัดด้านพฤติกรรมศาสตร์ และ ด้านสังคมศาสตร์ มีค่าความเที่ยงต่ำกว่าเครื่องมือวัดทางกายภาพ เนื่องจากการวัดทั้งสองด้านเป็นการวัดที่ไม่สามารถวัดได้โดยตรง ต้องวัดจากพฤติกรรมที่คาดว่าเป็นตัวแทนของคุณลักษณะที่ต้องการวัด และ เกิดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random errors) หรือ เกิดความคลาดเคลื่อนแบบไม่เป็นระบบ (Non-systematic error) ได้ง่ายกว่าการวัดทางกายภาพ (สาขาวิชาการศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2545) ปัจจุบันแนวโน้มของการวัดด้านพฤติกรรมศาสตร์ และ ด้านสังคมศาสตร์จะเป็นการวัดแบบพหุมิติ (Multidimensional measurement) มากกว่าเอกมิติ ด้วยสาเหตุที่สำคัญ คือ โครงสร้างของตัวแปรในด้านดังกล่าว โดยธรรมชาติ มักจะประกอบด้วยหลายองค์ประกอบย่อย หรือ หลายข้อคำถาม อันเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมการเกิดพหุมิติในการวัด (Ackerman, Gierl & Walker, 2003; Brunner & SÜß, 2005; Widhiarso, 2007; Widhiarso & Ravand, 2014; Drolet & Morrison, 2001; ชัยวิชิต เชียรชนะ, 2552) การใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคภายใต้การวัดแบบพหุมิติ จึงไม่เหมาะสม เนื่องจากในเชิงทฤษฎี ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคมีแนวโน้มที่จะให้ค่าประมาณความเที่ยงต่ำกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Underestimation) ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ (Osburn, 2000; Kamata et al., 2003; Zinbarge , Revelle, Yovel, & Li, 2005; Widhiarso, 2007; Revelle & Zinbarg, 2008; Margono, 2015) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดการรับรู้ความสามารถของตนเอง (Self-efficacy) ของนักกีฬาในวิทยาลัย โดยเครื่องมือวัดจะประกอบ มิติของการรับรู้ความสามารถของตนเอง (Self-efficacy) 3 มิติ คือ ความแข็งแรง, วิชาการ และ การใช้ชีวิตทางสังคม พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค มีค่าประมาณความเที่ยงต่ำกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Underestimation) (Czerniack, 2002 cited in Kamata et al., 2003) ด้วยเหตุนี้ จึงมีความจำเป็นต้องมีวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ (Multidimensional reliability estimation methods)

ในปัจจุบันวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติมีหลายวิธี โดยวิธีประมาณค่าที่แตกต่างกันย่อมให้ค่าประมาณความเที่ยงแตกต่างกัน แม้ว่าจะคำนวณจากข้อมูลชุดเดียวกัน Widhiarso & Ravand (2014) จัดกลุ่มวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรก คือ วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่อิงโมเดลการวัดแบบดั้งเดิม (Classical measurement model based approaches: CTT) วิธีประมาณค่าความเที่ยงในกลุ่มนี้ เช่น วิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่ง

ชั้น (Stratified alpha coefficient) จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์นี้เหมาะสำหรับการประมาณค่าความเที่ยง ภายใต้สถานการณ์การวัดที่มีหลายการทดสอบย่อย (Osburn, 2000; Kamata et al., 2003; Widhiarso, 2007; Widhiarso & Ravand, 2014) และ เหมาะสำหรับการประมาณค่าความเที่ยงที่มีความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่ำ (Osburn, 2000) วิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบ (Composite reliability coefficient) จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์นี้เหมาะสำหรับการประมาณค่าความเที่ยง ภายใต้สถานการณ์การวัดที่ประกอบด้วยโครงสร้างอิสระ (Brunner & SÜß, 2005; Widhirso, 2007; Widhirso & Ravand, 2014) และ วิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์เบต้า (Beta coefficient) จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์นี้ไม่เหมาะสมสำหรับสถานการณ์ที่เป็นการวัดแบบพหุมิติ เนื่องจากให้ค่าประมาณความเที่ยงที่ต่ำกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Underestimation) และ ต่ำกว่าค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Zinbarge et al., 2005) และ จากการศึกษางานวิจัยที่ใช้วิธีประมาณค่าความเที่ยงในกลุ่มนี้ พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเป็นส่วนใหญ่ในกลุ่มนี้ คือ วิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (Stratified alpha coefficient) (Osburn, 2000; Kamata et al., 2003; Widhiarso, 2007; Widhiarso & Ravand, 2014; Kennedy Abell, & Mennicke, 2014)

กลุ่มสอง คือ วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่อิงโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory factor model based approaches: CFA) วิธีประมาณค่าความเที่ยงในกลุ่มนี้ เช่น วิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (Construct reliability coefficient) หรือเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้า (Omega coefficient) จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์นี้ไม่เหมาะสำหรับการวัดที่มีตั้งแต่ 2 มิติขึ้นไป และ ค่าความแปรปรวนร่วมระหว่างมิติมีค่าไม่เท่ากับ 0 (Kamata et al., 2003) ซึ่งสอดคล้องกับ ผลการวิจัยของ Widhirso (2007) ที่พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างจะมีค่าประมาณความเที่ยงอยู่ในระดับสูง แต่ก็มีค่าความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าความเที่ยงสูง เช่นกัน จากข้อจำกัดของค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ที่กล่าวมาข้างต้น McDonald จึงได้พัฒนาค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (Multidimensional omega coefficient) ขึ้นมา จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์นี้เหมาะสมสำหรับสถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มิติของการวัดในแต่ละมิติมีความสัมพันธ์กัน (Kamata et al., 2003; วรรณวดี สุขแจ่ม, 2554) และ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (Maximal reliability coefficient) หรือเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างแบบถ่วง

น้ำหนัก (Weighted Construct reliability coefficient) จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์นี้เหมาะสำหรับการวัดที่มีหลายมิติ โดยที่แต่ละมิติวัดได้ด้วยชุดข้อคำถามย่อยที่แต่ละข้อคำถามอยู่ภายใต้ชุดข้อคำถามย่อยที่มีคุณสมบัติคู่ขนาน (Parallel items) (Osburn, 2000; Kamata, et al., 2003; Widhiarso, 2007; Margono, 2015; วรรณวดี สุขแจ่ม, 2554) ซึ่งขัดแย้งกับ ผลการวิจัยของ Widhiarso (2007) ที่พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุดมีค่าประมาณความเที่ยงที่อยู่ในระดับสูง แต่ก็มีค่าความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าความเที่ยงสูงเช่นกัน และ จากการศึกษางานวิจัยที่ใช้วิธีประมาณค่าความเที่ยงในกลุ่มนี้ พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเป็นส่วนใหญ่ในกลุ่มนี้มีสองวิธี คือ วิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (Construct reliability coefficient) หรือ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้า (Omega coefficient) (Cronin, Brady & Hult, 2000; Zinbarge et al., 2005; Revelle & Zinbarg, 2008) และ วิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (Maximal reliability) (Osburn, 2000; Margono, 2015; วรรณวดี สุขแจ่ม, 2554) แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่สามารถตัดสินใจได้ว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติวิธีใดเหมาะสมที่สุด เนื่องจากวิธีประมาณค่าความเที่ยงแต่ละวิธีมีข้อตกลงเบื้องต้น หรือ ข้อจำกัดเฉพาะ อีกทั้งเงื่อนไข และ ปัจจัยต่างๆที่ปรากฏในงานวิจัย อาจมีอิทธิพลต่อการประมาณค่าความเที่ยง ดังนั้นการพิจารณาถึงปัจจัยอื่น ที่อาจมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงบนพื้นฐานทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม (Classical Test Theory: CTT) มีหลายปัจจัย เช่น ลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง, จำนวนกลุ่มตัวอย่าง, ลักษณะของข้อคำถาม, จำนวนข้อคำถาม หรือ จำนวนองค์ประกอบ, ความสัมพันธ์ระหว่างข้อคำถาม, ระยะเวลาที่ใช้ในการทำ และ การให้คะแนนของผู้ประเมิน หรือ ผู้ตรวจ (กมลวรรณ ตังธนกานนท์, 2557; กังวล เทียนกัณฑ์เทศน์, 2540; เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี, 2552; ล้วน สายยศ และ อังคณา สายยศ, 2543; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) และ จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณค่าความเที่ยง ภายใต้การวัดแบบพหุมิติ พบว่า นอกจากวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่แตกต่างกัน ปัจจัยที่นักวิจัยนิยมศึกษา คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งในทางทฤษฎีจำนวนกลุ่มตัวอย่างเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลทางบวกต่อประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kamata et al. (2003) ได้ทำการศึกษาการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงสำหรับมาตรวัดแบบพหุมิติ (Multidimensional scale) และ ยังกำหนดให้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง เป็นเงื่อนไขหนึ่งในการศึกษาผลการวิจัย พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค มีค่าประมาณความเที่ยงที่ต่ำกว่าค่าความเที่ยง

ที่แท้จริง (Underestimation) มาก ภายใต้สถานการณ์การวัดที่กลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็กมาก (n = 50) อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากขนาดกลุ่มตัวอย่างดังกล่าว ก็มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างขนาดอื่นที่ศึกษาน้อยมาก และ อิทธิพลของขนาดกลุ่มตัวอย่าง จะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ภายใต้สถานการณ์ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบมีค่าเท่ากับ 0.30 จึงสามารถสรุปได้ว่า ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน จะให้ผลการประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติแตกต่างกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ วรรณวดี สุขแจ่ม (2554) ที่พบว่า เมื่อขนาดกลุ่มตัวอย่างต่างกัน ภายใต้วิธีการสกัดองค์ประกอบวิธีเดียวกัน จะให้ค่าความเที่ยงของมาตรวัดหลายมิติ ที่คำนวณจากสูตร $\boldsymbol{\Omega_W}$ และ $\boldsymbol{\omega_{MD}}$ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

นอกจากนี้จำนวนองค์ประกอบ (Factor) และ โมเดลของการวัด (Model) เป็นอีกสองปัจจัยสำคัญที่นักวิจัยสนใจศึกษา ภายใต้การวัดแบบพหุมิติ การศึกษาจำนวนองค์ประกอบมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการวัดด้านพฤติกรรมศาสตร์ และ ด้านสังคมศาสตร์ เพราะการวัดในด้านดังกล่าวเป็นเรื่องยากที่จะวัดเพียงองค์ประกอบเดียว ในเชิงทฤษฎีจำนวนองค์ประกอบ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลทางบวกต่อประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Osburn (2000) ที่กำหนดจำนวนขององค์ประกอบเป็นเงื่อนไขหนึ่งของการศึกษา พบว่า สถานการณ์การวัดที่มี 4 องค์ประกอบ จะให้ค่าประมาณความเที่ยงที่สูงกว่าสถานการณ์การวัดที่มี 8 องค์ประกอบ ภายใต้เงื่อนไขอื่นที่เหมือนกัน และ ผลการวิจัยของ Osburn (2000) ยังให้ข้อสรุปเกี่ยวกับอิทธิพลของโมเดลการวัดว่า การประมาณค่าความเที่ยงโดยใช้โมเดลการวัดที่แตกต่างกัน จะให้ค่าประมาณความเที่ยงที่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Widhiarso (2007) ที่ได้ทำการเปรียบเทียบการประมาณค่าความเที่ยงโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ และ กำหนดให้โมเดลการวัดเป็นเงื่อนไขหนึ่งที่ทำการศึกษา ซึ่งพบว่า โมเดลการวัดแบบคู่ขนาน (Parallel model) ให้ผลการประมาณค่าความเที่ยงใกล้เคียงกับค่าความเที่ยงที่แท้จริงมากที่สุด รองลงมา คือ โมเดลการวัดแบบคะแนนจริงสมมูล (Tau-equivalent model) และ สุดท้ายคือ โมเดลการวัดแบบคะแนนจริงสหสัมพันธ์ (Congeneric model) ซึ่งในแต่ละโมเดลมีผลการประมาณค่าความเที่ยงที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอีกหนึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการประมาณค่าความเที่ยง ภายใต้การวัดแบบพหุมิติ เนื่องจากลักษณะความเป็นพหุมิติมีข้อตกลงเบื้องต้นว่าคุณลักษณะที่จะทำการวัดจะมีความสัมพันธ์กัน (ชัยวิชิต เชียรชนะ, 2552; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) แต่ปรากฏว่า นักวิจัยสนใจศึกษาปัจจัยดังกล่าวน้อยมาก จากการศึกษางานวิจัยของ Osburn (2000) พบว่า ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติมีค่าสูงขึ้น

ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้ จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเที่ยงที่แท้จริง (True reliability) มากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kamata et al. (2003) เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่ำวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ จะมีประสิทธิภาพในการประมาณค่าความเที่ยงสูงกว่าวิธีการประมาณค่าด้วยสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค และ เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการประมาณค่าความเที่ยงจะสูงขึ้น จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่สามารถสรุปได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างมิติต้องสูงในระดับใด จึงจะมีค่าประมาณความเที่ยงที่เหมาะสม

จากแนวคิดดังกล่าว การวิจัยครั้งนี้จึงทำการศึกษาอิทธิพลของความสัมพันธ์ระหว่างมิติ และวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีต่อค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ความแม่นยำ และความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง ภายใต้ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่แตกต่างกัน และวิธีประมาณค่าความเที่ยงแตกต่างกัน จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ลักษณะของความเป็นพหุมิติ ต้องมีความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ หรือ ความสัมพันธ์ระหว่างมิติ (ชัยวิชิต เชียรชนะ, 2552; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) ซึ่งนักวิจัยแบ่งความสัมพันธ์ระหว่างมิติออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่ำ ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติปานกลาง และ ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติสูง (Osburn, 2000; Kamata et al., 2003; พัชรี จันทร์เพ็ง, 2550) ผู้วิจัยกำหนดระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเป็น ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่ำ (r=0.10 และ r=0.30) ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติปานกลาง (r=0.50) และ ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติสูง (r=0.70 และ r=0.90) นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ตัดสินใจเลือกใช้วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 4 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น ซึ่งวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี เป็นวิธีการประมาณค่าที่ได้รับความนิยมในการประมาณค่าความเที่ยง ภายใต้การวัดแบบพหุมิติ และ เป็นวิธีการประมาณค่าที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคในงานวิจัยที่ผ่านมา (Cronin et al., 2000; Osburn, 2000; Kamata et al., 2003; Zinbarge et al., 2005;Revelle & Zinbarg, 2008; Widhiarso, 2007; Kennedy Abell, & Mennicke, 2014; Widhiarso & Ravand, 2014; Margono, 2015; วรรณวดี สุขแจ่ม, 2554)

การวิจัยครั้งนี้มุ่งหวังที่จะศึกษา ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ และ วิธีการประมาณค่าความเที่ยงที่มีอิทธิพลต่อค่าความเที่ยงแบบพหุมิติความแม่นยำ และ ความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง ด้วยวิธีการจำลองข้อมูลแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo simulation) ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นพหุมิติ เพื่อเป็นสารสนเทศสำคัญในการเลือกใช้วิธีการประมาณค่า

ความเที่ยงที่เหมาะสมกับในสถานการณ์การวัดที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวัดที่มุ่งวัดหลายคุณลักษณะ อันเป็นประโยชน์ และ แนวทางสำหรับนักวัดผลภายภาคหน้า

คำถามการวิจัย

1. ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยง 5 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกันเป็นอย่างไร

2. วิธีประมาณค่าความเที่ยงวิธีใดเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน

3. หากระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติมีมากพอ ผู้วิจัยสามารถใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคแทนการใช้วิธีประมาณความเที่ยงแบบพหุมิติได้หรือไม่

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยง 5 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน

2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงวิธีต่างๆ ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน

3. เพื่อศึกษาระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่สามารถใช้วิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคแทนวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ

สมมติฐานการวิจัย

วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ เป็นวิธีประมาณค่าความเที่ยง ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ โดยสามารถจัดกลุ่มวิธีการประมาณค่าแบบพหุมิติ ออกเป็นสองกลุ่ม (Widhiarso & Ravand, 2014) กลุ่มแรก คือ วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่อิงโมเดลการวัดแบบดั้งเดิม (Classical measurement model based approaches: CTT) วิธีประมาณค่าความเที่ยงในกลุ่มนี้

ประมาณค่าความเที่ยงจาก ความแปรปรวน และ ความแปรปรวนร่วม (Variance and covariance) ของแต่องค์ประกอบ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบ และ ค่าสัมประสิทธิ์เบต้า จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเป็นส่วนใหญ่ในกลุ่มนี้ คือ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น วิธีนี้เหมาะสมสำหรับการประมาณค่าความเที่ยง ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดมีหลายการทดสอบย่อย (Osburn, 2000; Kamata et al., 2003; Widhiarso, 2007; Widhiarso & Ravand, 2014) และ เป็นวิธีที่เหมาะสำหรับการประมาณค่าที่มีความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่ำ (Osburn, 2000)

กลุ่มสอง คือ วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่อิงโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory factor model based approaches: CFA) วิธีประมาณค่าความเที่ยงในกลุ่มนี้ประมาณค่าจากค่าน้ำหนักของแต่ละองค์ประกอบในโมเดลการวัด เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ และ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเป็นส่วนใหญ่ในกลุ่มนี้มีสองค่า คือ (1) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง วิธีนี้ไม่เหมาะสำหรับการวัดที่มีตั้งแต่ 2 มิติขึ้นไป และ ค่าความแปรปรวนร่วมระหว่างมิติมีค่าไม่เท่ากับ 0 (Osburn, 2000; Kamata et al., 2003; Widhirso; 2007) จากข้อจำกัดของวิธีประมาณค่าความเที่ยงในข้างต้น McDonald จึงได้พัฒนาค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติขึ้น ซึ่งวิธีนี้เหมาะสำหรับการวัดที่มีตั้งแต่ 2 มิติขึ้นไป และ แต่ละมิติมีความสัมพันธ์กัน (Kamata et al., 2003; วรรณวดี สุขแจ่ม, 2554) และ (2) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด เป็นวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่พัฒนามาจากค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ซึ่งวิธีนี้เหมาะสำหรับการวัดที่มีหลายมิติ แต่ละมิติวัดได้ด้วยชุดข้อคำถามย่อยที่แต่ละข้อคำถามอยู่ภายใต้ชุดข้อคำถามย่อยที่มีคุณสมบัติคู่ขนาน (Parallel items) (Osburn, 2000; Kamata et al., 2003; Widhiarso, 2007; Margono, 2015; วรรณวดี สุขแจ่ม, 2554) ดังนั้นวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น จะมีประสิทธิภาพของประมาณค่าความเที่ยงสูงกว่าวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค

จากการศึกษาเอกสาร และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติอิทธิพลของความสัมพันธ์ระหว่างมิติ ทำให้สามารถตั้งสมมติฐาน แยกตามวัตถุประสงค์ในการวิจัยได้ดังนี้

ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ

1. เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่ำ (r= 0.1 และ r= 0.3) วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี จะให้ค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ทั้งนี้เนื่องจากมิติของการวัดมีความสัมพันธ์กันน้อย หรือ มิติแต่ละมิติเป็นอิสระจากกัน จะทำให้แนวโน้มของการวัดเป็นการวัดแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ที่เป็นวิธีประมาณค่าความเที่ยงภายใต้การวัดแบบเอกมิติ จะประมาณค่าความเที่ยงต่ำกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Underestimation) และ ต่ำกว่าค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ (Osburn, 2000; Kamata et al., 2003; Zinbarge et al., 2005; Widhiarso, 2007; Revelle & Zinbarg, 2008; Margono, 2015)

2. เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเพิ่มขึ้น ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยง 5 วิธี มีแนวโน้มที่จะให้ค่าประมาณความเที่ยงสูงขึ้น และ มีแนวโน้มที่จะลู่เข้าสู่ค่าประมาณความเที่ยงเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากมิติที่มีความสัมพันธ์กันมาก จะทำให้ค่าประมาณความเที่ยงสูงขึ้น ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างมิติส่งผลต่อการประมาณค่าความเที่ยง (Osburn, 2000; Kamata et al., 2003)

3. เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่ำ (r= 0.1 และ r= 0.3) วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 4 วิธี จะมีประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าวิธีการประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ทั้งนี้เนื่องจากมิติของการวัดมีความสัมพันธ์กันน้อย หรือ มิติของการวัด มีความเป็นอิสระจากกัน ทำให้แนวโน้มของการวัดเป็นการวัดแบบพหุมิติมากกว่าเอกมิติ วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ซึ่งเป็นวิธีประมาณค่าความเที่ยงของเครื่องมือวัดที่มีหลายองค์ประกอบหลายข้อคำถาม หลายมิติ หรือ เครื่องมือวัดที่มุ่งวัดหลายคุณลักษณะ จะมีประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Osburn, 2000; Kamata et al., 2003; Zinbarge et al., 2005; Widhiarso, 2007; Revelle & Zinbarg, 2008)

4. เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติมีค่าสูงมากพอ ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี ทั้งนี้เนื่องจากมิติที่มีความสัมพันธ์กันมากขึ้น หรือ มิติของการวัด มีความเป็นอิสระจากกันน้อยลง แนวโน้มของการวัดจะมีความเป็นเอกมิติมากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค จะมีประสิทธิภาพในการประมาณค่าความเที่ยงสูงขึ้น (Green et al., 1977; Cortina, 1993; Raykov, 1997,

2001; Widhiarso, 2007; Osburn, 2000; Kamata et al., 2003; Widhiarso & Ravand, 2014; Sijtsma, 2009; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556)

ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยครั้งนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) ด้วยการจำลองข้อมูลแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) เพื่อศึกษาค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ความแม่นยำ และ ความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง ภายใต้การวัดแบบพหุมิติ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ กำหนดให้เป็นการวัดแบบพหุมิติที่มีจำนวนมิติเท่ากับ 2 มิติ

2. สถานการณ์จำลองที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นไปตามตัวแปรอิสระ 2 ตัว คือ 1) ความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่แตกต่างกัน คือ ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่ำ (r=0.1 และ r=0.3) ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติปานกลาง (r=0.5) และ ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติสูง (r=0.70 และ 0.9) รวมทั้งสิ้น 5 ระดับความสัมพันธ์ และ 2) วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่แตกต่างกัน 5 วิธี คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (Construct reliability coefficient: ω) ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (Multidimensional omega coefficient: Ω_{MD}) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (Maximal reliability: Ω_{w}) ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (Stratified alpha coefficient: α_{s}) และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient: α) สถานการณ์จำลองข้อมูลรวมจำนวนทั้งสิ้น 25 สถานการณ์ (5 ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ × 5 วิธีประมาณค่าความเที่ยง) ในแต่ละสถานการณ์ใช้ตัวอย่างขนาด 1000 หน่วย และ กระทำซ้ำทั้งสิ้น 1000 รอบ โดยมีค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ความแม่นยำ และ ความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเป็นตัวแปรตาม

3. เกณฑ์การพิจารณาความแม่นยำ และ ความความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้มี 2 เกณฑ์ คือ 1) ค่าความลำเอียงสัมพัทธ์ (Relative Bias: RB) ถ้าวิธีประมาณค่าความเที่ยงวิธีใดมีค่าดังกล่าวน้อยกว่า แสดงว่ามีประสิทธิภาพในด้านความแม่นยำของการประมาณค่าความเที่ยงได้ดีกว่า และ 2) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error: SE) และเพื่อให้การแปลผลค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่ามีความหมายในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยแปลผลจากสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Coefficient of variation of standard error: CV) แทนการแปลผลจาก ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่าโดยตรง ถ้าวิธีการประมาณค่าวิธีใดมีค่าดังกล่าวน้อยกว่า แสดงว่ามีประสิทธิภาพในด้านความถูกต้องของการประมาณค่าความเที่ยงได้ดีกว่า

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1. ค่าความเที่ยงที่แท้จริง (True reliability) หมายถึง อัตราส่วนความแปรปรวนของคะแนนจริงต่อความแปรปรวนของคะแนนสังเกตได้ เป็นการประมาณค่าความเที่ยงตามโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis: CFA)

2. ค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ (Multidimensional reliability) หมายถึง อัตราส่วนความแปรปรวนของคะแนนจริงต่อความแปรปรวนของคะแนนที่สังเกตได้ เป็นการประมาณค่าความเที่ยงภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ คำนวณได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 4 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (Construct reliability coefficient: ω) ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (Multidimensional omega coefficient: Ω_{MD}) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (Maximal reliability coefficient: Ω_w) และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (Stratified alpha coefficient: α_s)

3. วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ (Multidimensional reliability estimation method) หมายถึง วิธีประมาณค่าความเที่ยง ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 4 วิธี คือ

3.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (Construct reliability coefficient: ω) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการประมาณค่าความเที่ยง ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ คำนวณจากอัตราส่วนระหว่างค่าความร่วมกัน (Communality) กับ ความแปรปรวนรวมของคะแนนสังเกตได้

3.2 ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (Multidimensional omega coefficient: Ω_{MD}) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการประมาณค่าความเที่ยง ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ คำนวณจากอัตราส่วนระหว่างผลคูณของเมทริกซ์ของน้ำหนักองค์ประกอบ และ เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมขององค์ประกอบกับเมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมของคะแนนสังเกตได้

3.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (Maximal reliability coefficient: Ω_w) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการประมาณค่าความเที่ยง ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ คำนวณจากอัตราส่วนระหว่างผลคูณของเมทริกซ์ของน้ำหนักองค์ประกอบ และ เมทริกซ์ความแปรปรวน

ร่วมขององค์ประกอบ กับ เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมของคะแนนสังเกตได้ และ มีการถ่วงน้ำหนักค่าความแปรปรวนของคะแนนจริงกับคะแนนสังเกตได้

3.4 ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (Stratified alpha coefficient: α_s) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการประมาณค่าความเที่ยง ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ คำนวณจากอัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนขององค์ประกอบทุกองค์ประกอบกับความแปรปรวนของคะแนนรวมทั้งหมด

4. ความสัมพันธ์ระหว่างมิติ (Multidimensionality) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างมิติของการวัดในมิติที่ 1 กับ มิติของการวัดในมิติที่ 2 ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่า มิติของการวัดในมิติที่ 1 กับ มิติที่ 2 เป็นอิสระต่อกัน แต่ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าไม่เท่ากับ 0 แสดงว่า มิติของการวัดในมิติที่ 1 กับ มิติที่ 2 มีความสัมพันธ์กัน งานวิจัยครั้งนี้ จะศึกษาระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่ำ (r=0.1 และ r=0.3) ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติปานกลาง (r=0.5) และ ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติสูง (r=0.70 และ r=0.9) รวมทั้งสิ้น 5 ระดับความสัมพันธ์

5. ประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยง หมายถึง **ความแม่นยำ (Accuracy)** และ **ความถูกต้อง (Precision)** ของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง ความแม่นยำของการประมาณค่าความเที่ยงวัดได้จากค่าความลำเอียงสัมพัทธ์ (Relative Bias: RB) และ ความถูกต้องของการประมาณค่าความเที่ยงวัดได้จากค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณความเที่ยง (Standard Error: SE) มีรายละเอียดของแต่ค่าดังนี้

5.1 ค่าความลำเอียงสัมพัทธ์ (Relative Bias: RB) หมายถึง ค่าบอกความคลาดเคลื่อนของผลการประมาณค่าความเที่ยงที่ได้จากการจำลองข้อมูลในแต่ละสถานการณ์ที่ศึกษา คำนวณจากความแตกต่างระหว่างค่าความเที่ยงที่แท้จริง กับ ค่าเฉลี่ยของประมาณความเที่ยงที่ได้จากการจำลองค่าดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำ (Accuracy) ของการประมาณค่าความเที่ยง มีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาเปรียบเทียบค่าที่ได้ คือ ถ้ามีค่า Relative Bias เข้าใกล้ศูนย์ จะสะท้อนว่า การประมาณค่าใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง หรือ มีความแม่นยำในการประมาณค่าสูง โดยถ้าค่าดังกล่าวมีค่าติดลบ (-) แสดงว่า มีผลการประมาณค่าต่ำกว่าความเป็นจริง (Underestimation) แต่ถ้าค่าดังกล่าวเป็นบวก (+) แสดงว่ามีผลการประมาณค่าสูงกว่าความเป็นจริง (Overestimation)

5.2 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error: SE) หมายถึง ค่าที่บอกความแตกต่างของระยะห่างระหว่างค่าประมาณความเที่ยงในแต่ละครั้ง กับ ค่าเฉลี่ยของค่าประมาณ

ความเที่ยง ค่าดังกล่าว แสดงให้เห็นความถูกต้อง (Precision) ของการประมาณค่าความเที่ยง และเพื่อให้การแปลผลค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า มีความหมายในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงแปลผลจากสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Coefficient of variation of standard error: CV) แทนการแปลผลจากค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่าโดยตรง มีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาเปรียบเทียบค่าที่ได้ คือ ถ้ามีค่า CV เข้าใกล้ศูนย์ จะสะท้อนว่า ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากข้อมูลแต่ละชุดมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเที่ยงเฉลี่ย

6. การวัดแบบพหุมิติ (Multidimensional measurement) หมายถึง การวัดคุณลักษณะที่ต้องการมากกว่า 1 มิติ โดยใช้ข้อคำถามจำนวนหลายข้อเพื่อวัดมิติใดมิติหนึ่ง งานวิจัยนี้กำหนดให้มิติของการวัด มีจำนวนเท่ากับ 2 มิติ และ มีจำนวนข้อคำถามต่อมิติของการวัดมี 5 ข้อคำถาม รวมทั้งสิ้น 10 ข้อ

7. การจำลองสถานการณ์ หมายถึง ข้อมูลจำลองตามสถานการณ์ที่กำหนดในขอบเขตของการวิจัยของระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ และวิธีประมาณค่าความเที่ยง โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองข้อมูลครั้งนี้ คือ โปรแกรม R โดยทำการจำลองข้อมูลซ้ำจำนวน 1000 รอบ

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ประโยชน์ทางด้านวิชาการ

1.1ได้ขยายองค์ความรู้ในด้านการประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ทั้งทางทฤษฎี และ ทางปฏิบัติ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวัด

1.2 ผลการวิจัยให้ข้อมูลสารสนเทศเกี่ยวกับผลการเปรียบเทียบความแม่นยำ และความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงที่มีวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่แตกต่างกัน 5 วิธี ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่แตกต่างกัน ทำให้ได้ผลสรุปที่ชัดเจนเกี่ยวกับวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่แตกต่างกัน และ เป็นพื้นฐานที่สำคัญในการวิจัยเกี่ยวกับการวัด และ ประเมินผล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวัดที่มีลักษณะเป็นการวัดแบบพหุมิติ

2. ประโยชน์ทางด้านการนำไปใช้

2.1 ผลการวิจัยสามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจ ในการเลือกใช้วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่เหมาะสม และ สอดคล้องกับสถานการณ์ที่ต้องการศึกษามากที่สุด เพื่อนำใช้สำหรับการตรวจสอบคุณภาพด้านความเที่ยงของเครื่องมือที่มีหลายมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง อิทธิพลของความสัมพันธ์ระหว่างมิติและวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีต่อค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ความแม่นยำ และความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี เอกสาร และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย สามารถแบ่งการนำเสนอออกเป็น 4 ตอน ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 แนวคิดเกี่ยวกับความเที่ยง

ตอนที่ 2 แนวคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์พหุมิติ

ตอนที่ 3 การจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาโล

ตอนที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย

ตอนที่ 1 แนวคิดเกี่ยวกับความเที่ยง

การศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับความเที่ยงแบ่งออกเป็น 4 ประเด็น ประเด็นที่หนึ่งจะกล่าวถึงความหมายของความเที่ยงที่นักวัดผลไทย และ ต่างประเทศกำหนดไว้ ประเด็นที่สองเป็นประเภทของความเที่ยงที่มีการนำเสนอในเอกสาร และ งานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งแสดงให้เห็นถึงวิธีการประมาณค่าข้อตกลงเบื้องต้น และ ข้อจำกัดของความเที่ยงแต่ละประเภท ประเด็นที่สามจะเสนอปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าประมาณความเที่ยง ซึ่งอธิบายถึงทิศทางของอิทธิพลในแต่ละปัจจัย และ ประเด็นสุดท้ายจะนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณค่าความเที่ยง โดยมีรายละเอียดในการศึกษาของแต่ละประเด็นดังต่อไปนี้

1.1 ความหมายของความเที่ยง

ความเที่ยง (Reliability) หมายถึง ความคงเส้นคงวา หรือ ความสอดคล้องกันของผลที่ได้จากการวัดจากเครื่องมือชนิดเดียวกันที่ทำการวัดซ้ำกันหลายครั้ง (Anastasi, 1976; Cortina, 1993; Ebel, 1976**;** Grounlund, 1976; Mehrens & Lahman, 1984; กังวล เทียนกัณฑ์เทศน์, 2540; โชติกา ภาษีผล, 2554; ณัฏฐภรณ์ หลาวทอง, 2559; เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี, 2552; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556)

ความเที่ยง (Reliability) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนของคะแนนจริงที่ได้จากการวัด (T) กับ ความแปรปรวนของคะแนนที่สังเกตได้ (X) (Kerlinger, 1973; Osburn, 2000; โชติกา ภาษีผล, 2554; เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี, 2552; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) หรือเท่ากับ อัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนของคะแนนจริงที่ได้จากการวัด (T) กับ ผลรวมของความแปรปรวนของคะแนนจริงที่ได้จากการวัด (T) และ ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (E) (Lord & Novick, 1968)

ความเที่ยง (Reliability) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนจากแบบสอบคู่ขนาน 2 ชุด ซึ่งสอบโดยกลุ่มผู้สอบกลุ่มเดียวกัน วิธีดำเนินการสอบที่เป็นอิสระจากกัน แต่เป็นมาตรฐานเดียวกัน (Allen & Yen, 1979; Ebel, 1965; โชติกา ภาษีผล, 2554; ณัฏฐภรณ์ หลาวทอง, 2559; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556)

จากการศึกษาความหมาย และ นิยามของความเที่ยง ที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปความหมายของความเที่ยงได้ว่า ความเที่ยง หมายถึง ความคงที่ของผลที่ได้จากการวัดซ้ำ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน

1.2 ประเภทของความเที่ยง

ความเที่ยง (Reliability) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของเครื่องมือวัดที่มีคุณภาพ วิธีประมาณค่าความเที่ยงสามารถทำได้หลายวิธีตามความเหมาะสม จากการวิเคราะห์เอกสารของนักวิจัย และ ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัด และ ประเมินผลหลายท่าน ได้แก่ กังวล เทียนกัณฑ์เทศน์ (2540), โชติกา ภาษีผล (2554), ณัฏฐภรณ์ หลาวทอง (2559), เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี (2552) และ ศิริชัย กาญจนวาสี (2556) และ ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับประเภทของความเที่ยงว่า ประเภทของความเที่ยงประกอบด้วย 4 ประเภท ได้แก่ ความเที่ยงแบบความคงที่ (Measure of stability) ความเที่ยงแบบความสมมูล (Measure of equivalence) ความเที่ยงแบบความคงที่และะสมมูล (Measure of stability and equivalence) และ ความเที่ยงแบบความสอดคล้องภายใน (Measure of internal consistency) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประเภทของความเที่ยง

ประเภทของความเที่ยง	ความหมาย	วิธีประมาณค่า	ค่าสถิติที่ใช้	ข้อตกลงเบื้องต้น หรือ ข้อจำกัด
ความเที่ยงแบบความคงที่ (Measure of stability)	ความคงที่ของคะแนนที่ได้จากการทดสอบในช่วงระยะเวลาที่แตกต่างกัน	ใช้วิธีการทดสอบซ้ำด้วยแบบสอบเดิม (Test-retest method) จากการคำนวณค่าสหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนของผลการสอบทั้ง 2 ครั้ง ในช่วงระยะเวลาแตกต่างกัน แต่ใช้ผู้สอบกลุ่มเดียวกัน และ ชุดข้อสอบชุดเดียวกัน	- ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson product moment correlation coefficient)	- ระยะเวลาที่ใช้ในการสอบซ้ำทั้ง 2 ครั้ง มีระยะเวลาใกล้เคียงกัน - องค์ประกอบในการสอบซ้ำทั้ง 2 ครั้ง จะต้องใกล้เคียงกัน เช่น เนื้อหาของแบบสอบทั้ง 2 ฉบับต้องเป็นเนื้อหาเดียวกัน, มีค่าความยากรายข้อ และ ค่าอำนาจจำแนกของ แบบสอบทั้ง 2 ฉบับเท่ากัน
ความเที่ยงแบบความสมมูล (Measure of equivalence)	ความสอดคล้องกันของคะแนนที่ได้จากการทดสอบในช่วงระยะเวลาเดียวกัน	วิธีการใช้แบบสอบที่สมมูลกัน (Equivalent-form method) หรือ แบบสอบคู่ขนาน (Parallel form method)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson product moment	- ภาวะทางด้านร่างกาย และจิตใจของผู้สอบ หรือ สิ่งแวดล้อมภายนอก อาจจะแตกต่างกันในเครื่องมือวัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประเภทของความเที่ยง	ความหมาย	วิธีประมาณค่า	ค่าสถิติที่ใช้	ข้อตกลงเบื้องต้น หรือ ข้อจำกัด
		หรือ แบบสอบทางเลือก (Alternate form) จากการคำนวณค่าสหสัมพันธ์ของคะแนนของผลการทดสอบ ในช่วงระยะเวลาเดียวกัน และ ผู้สอบกลุ่มเดียวกัน จากการใช้เครื่องมือ 2 ฉบับที่ทัดเทียมกัน	correlation coefficient)	ทั้ง 2 เครื่องมือ - ค่าความยากรายข้อ และ ค่าอำนาจจำแนกของแบบสอบ ทั้ง 2 ฉบับ ต่างกันได้เพียงเล็กน้อย
ความเที่ยงแบบความคงที่และสมมูล (Measure of stability and equivalence)	ความสอดคล้องกันของคะแนนที่ได้จากการทดสอบในช่วงระยะเวลาที่ต่างกัน	ใช้วิธีสอบซ้ำด้วยแบบสอบที่สมมูลกัน (Test-retest with equivalent form) จากการคำนวณค่าสหสัมพันธ์ของคะแนนที่ได้จากการทดสอบในช่วงระยะเวลาแตกต่างกัน แต่ใช้ผู้สอบกลุ่มเดียวกัน จากการใช้เครื่องมือ 2 ฉบับที่ทัดเทียมกัน	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson product moment correlation coefficient)	- ระยะเวลาที่ใช้ในการสอบซ้ำทั้ง 2 ครั้ง มีระยะเวลาที่ใกล้เคียงกัน - องค์ประกอบในการสอบซ้ำทั้ง 2 ครั้ง จะต้องใกล้เคียงกัน

ประเภทของความเที่ยง	ความหมาย	วิธีประมาณค่า	ค่าสถิติที่ใช้	ข้อตกลงเบื้องต้นหรือข้อจำกัด
ความเที่ยงแบบความสอดคล้องภายใน (Measure of internal consistency)	ความสอดคล้องกันระหว่างคะแนนรายข้อหรือความเป็นเอกพันธ์ของเนื้อหารายข้อ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้การวัดเพียงครั้งเดียว และ มีวิธีการประมาณค่าได้หลายวิธี ได้แก่ 1. แบ่งครึ่งข้อสอบ (Split-half method)	1. แบ่งครึ่งข้อสอบ (Split-half method) เป็นการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนที่วัดจากการแบ่งครึ่งแบบสอบที่ทัดเทียมกัน โดยใช้วิธีการแบ่งเป็นข้อคู่-ข้อคี่ หรือครึ่งแรก-ครึ่งหลัง เป็นต้น	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson product moment correlation coefficient) - ความเที่ยงฉบับเต็ม ใช้สูตรของสเปียร์แมน บราวน์ (Spearman-brown formula)	- ข้อคำถามของแบบสอบ ต้องมีระดับความยากของข้อสอบที่ใกล้เคียงกัน - เนื้อหาในข้อสอบต้องสัมพันธ์กัน - วิธีการแบ่งครึ่งข้อสอบจะส่งผลต่อค่าความเที่ยง
	2. วิธีของคูเดอร์-ชาร์ดสัน (Kuder-Richardson method) 3. วิธีสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค	2. วิธีของคูเดอร์-ชาร์ดสัน (Kuder - Richardson method) เป็นการคำนวณค่าสถิติของคะแนนรายข้อและคะแนนรวม	สูตรประมาณค่าความเที่ยงของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (Kuder-Richardson) คือ สูตร KR-20 (ข้อสอบทุกข้อมีความยากง่ายเท่ากัน) และ สูตร KR-21	- ข้อสอบในแบบสอบต้องเป็นการวัดคุณลักษณะเดียวกัน หรือมีความเป็นเอกพันธ์กัน) - ข้อสอบที่ให้คะแนนเท่ากับ 1 ในกรณีที่ตอบถูก ส่วนกรณีที่ตอบ

ประเภทของความเที่ยง	ความหมาย	วิธีประมาณค่า	ค่าสถิติที่ใช้	ข้อตกลงเบื้องต้นหรือข้อจำกัด
	(Cronbach's alpha method)		(ข้อสอบทุกข้อมีความยากง่ายไม่เท่ากัน)	ผิดให้คะแนนเท่ากับ 0
	4. วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนของฮอยท์ (Hoyt's analysis of variance method)	3. วิธีสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha method) เป็นการคำนวณค่าสถิติของคะแนนรายข้อ และคะแนนรวม	สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha method)	ถ้าแต่ละส่วนมีความเท่าเทียมกัน (Essentially τ- equivalent) หรือ มีคะแนนจริงของแต่ละส่วนเป็นฟังก์ชันเชิงบวกต่อกัน ค่าความเที่ยงที่ได้จะเป็นค่าความเที่ยงที่แท้จริงของแบบสอบ - ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค เป็นค่าประมาณความเที่ยงของแบบสอบได้ดีก็ต่อเมื่อแบบสอบนั้นมุ่งวัดคุณลักษณะเดียว (One-trait)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประเภทของความเที่ยง	ความหมาย	วิธีประมาณค่า	ค่าสถิติที่ใช้	ข้อตกลงเบื้องต้น หรือ ข้อจำกัด
				- ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของเป็นดัชนีบ่งชี้ความสอดคล้องภายในของแบบสอบค่าที่ได้เป็นค่าความเที่ยงขั้นต่ำ (Lower bound)
		4. วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนของฮอยท์ (Hoyt's analysis of variance method) เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนสอบแบบสองทาง	สูตรของฮอยท์	- สูตรที่ใช้ในการคำนวณมีความซับซ้อนมาก

จากตารางข้างต้นสรุปได้ว่า ความเที่ยงในแต่ละประเภทมีวิธีประมาณค่าความเที่ยง ข้อตกลงเบื้องต้น และ ข้อจำกัดแตกต่างกัน ทำให้ผลการประมาณค่ามีแนวโน้มที่จะแตกต่างกัน ซึ่งวิธีการประมาณความเที่ยงที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป คือ วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบความสอดคล้องภายในโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach, 1951; Cortina, 1993; Raykov, 1997, 2001; Osburn, 2000; Kamata, et al., 2003; Brunner & SÜß, 2005; Graham, 2006; Widhiarso, 2007)

แต่ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคนั้น มีข้อตกลงเบื้องต้นที่สำคัญ คือ การวัดจะต้องมุ่งวัดเพียงคุณลักษณะเดียว (One-trait) หรือ เป็นการวัดแบบเอกมิติ (Unidimensional measurement) (Green et al., 1977; Cortina, 1993; Raykov, 1997; 2001; Widhiarso, 2007; Widhiarso & Ravand, 2014; Sijtsma, 2009; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) จึงเป็นวิธีประมาณค่าที่ไม่เหมาะสมกับการวัดที่มุ่งวัดหลายคุณลักษณะ หรือ เป็นการวัดแบบพหุมิติ (Multidimensional measurement)

จากการศึกษาเอกสาร และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีประมาณค่าความเที่ยง ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ พบว่า ปัจจุบันวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติมีหลายวิธี วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่แตกต่างกัน ย่อมให้ค่าประมาณความเที่ยงที่แตกต่างกัน แม้ว่าจะคำนวณจากข้อมูลชุดเดียวกัน วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม (Widhiarso & Ravand, 2014) กลุ่มแรก คือ วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่อิงโมเดลการวัดแบบดั้งเดิม (Classical measurement model based approaches: CTT) เช่น ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (Stratified alpha coefficient) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบของ Mosier (Mosier's composite reliability coefficient) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบของ Wang (Wang's composite reliability coefficient) และ ค่าสัมประสิทธิ์เบต้า (Beta coefficient) เป็นต้น การประมาณค่าความเที่ยงของวิธีการในกลุ่มนี้ จะอิงจากค่าความแปรปรวน และ ความแปรปรวนร่วม (Variance and covariance) ของแต่ละองค์ประกอบ โดยคำนวณจากคะแนนการตอบที่ได้จากข้อคำถามโดยตรง รายละเอียดของแต่ละวิธีการเป็นดังนี้

(1) ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (Stratified alpha coefficient) พัฒนาขึ้นโดย Cronbach, Schoneman และ McKie ในปี ค.ศ. 1965 มีสูตรคำนวณดังนี้ (Osburn, 2000; Kamata et. al., 2003; Widhiarso, 2007; Widhiarso & Ravand, 2014)

$$\alpha_s = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{k} \sigma_i^2 (1-\alpha_i)}{\sigma_x^2} \qquad [1]$$

โดยที่ σ_i^2 คือ ความแปรปรวนขององค์ประกอบที่ i

α_i คือ ความเที่ยงขององค์ประกอบที่ i

σ_x^2 คือ ความแปรปรวนของคะแนนรวมทั้งหมด

k คือ จำนวนขององค์ประกอบ หรือ จำนวนของมิติ

ค่าสัมประสิทธิ์นี้เหมาะสำหรับสถานการณ์การวัดที่มีหลายองค์ประกอบ หรือ มีหลายมิติ (Cronbach, Schoneman, & McKie, 1965 cited in Osburn, 2000; Kamata et al., 2003; Widhiarso, 2007; Widhiarso & Ravand, 2014) และ เหมาะสำหรับการประมาณค่าความเที่ยงที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ หรือ ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่ำ (Osburn, 2000)

แต่อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์นี้ จะให้ค่าประมาณความเที่ยงต่ำกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Underestimation) เมื่อโมเดลการวัดเป็นโมเดลคะแนนจริงสหสัมพันธ์ (Congeneric model) และเมื่อมีความแปรปรวนระหว่างค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (Factor loading) สูง (Widhiarso, 2007; Widhiarso & Ravand, 2014)

(2) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบของ Mosier (Mosier's composite reliability coefficient) พัฒนาขึ้นโดย Mosier ในปี ค.ศ. 1943 มีสูตรคำนวณดังนี้ (Widhiarso, 2007; Wang & Stanley, 1970 cited in Widhiarso & Ravand, 2014)

$$r_{xx'} = 1 - \frac{\left(\sum w_j^2 s_j^2\right) - \left(\sum w_j^2 s_j^2 r_{jj'}^2\right)}{\left(\sum w_j^2 s_j^2\right) + 2\left(\sum w_j w_k s_k r_{jk}\right)} \qquad [2]$$

โดยที่ w_j คือ น้ำหนักสำหรับมิติที่ j

rjj' คือ ความเที่ยงสำหรับมิติที่ j

r_{jk} คือ ความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่ j และ มิติที่ k

s_j^2 คือ ความแปรปรวนของมิติที่ j

ค่าสัมประสิทธิ์นี้เหมาะสำหรับการวัดที่มีโครงสร้างแบบพหุมิติ และ เหมาะสำหรับการประมาณค่าความเที่ยงที่มีความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ หรือ มีความสัมพันธ์ระหว่างมิติ (Widhiarso, 2007 Widhiarso & Ravand, 2014)

(3) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบของ Wang (Wang's composite reliability coefficient) พัฒนาขึ้นโดย Wang และ Stanley ในปี ค.ศ. 1970 มีสูตรคำนวณดังนี้ (Widhiarso, 2007; Wang & Stanley, 1970 cited in Widhiarso & Ravand, 2014)

$$r_{xx'} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i^2 r_{jj'} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_i w_j r_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} w_i^2 + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_i w_j r_{ij}} \qquad [3]$$

โดยที่ w_i คือ น้ำหนักสำหรับมิติที่ i

w_j คือ น้ำหนักสำหรับมิติที่ j

r_j คือ ความเที่ยงสำหรับมิติที่ j

r_{ij} คือ ความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่ i และ มิติที่ j

วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์นี้เหมาะสำหรับการประมาณค่าความเที่ยงที่ในแต่ละองค์ประกอบหรือ แต่ละมิติมีตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวแปร ขึ้นไป และ เหมาะสำหรับการประมาณค่าความเที่ยงที่มีความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ หรือ ความสัมพันธ์ระหว่างมิติ ในทิศทางบวก (Widhiarso, 2007; Widhiarso & Ravand, 2014)

(4) ค่าสัมประสิทธิ์เบต้า (Beta coefficient) พัฒนาขึ้นโดย Revelle ในปี ค.ศ. 1979 มีสูตรคำนวณดังนี้ (Revelle, 1979 cited in Zinbarge et al., 2005; Revell & Zinbarg, 2008)

$$\beta = \frac{k^2 \bar{\sigma}_{ij'}}{Var(X)} \qquad [4]$$

โดยที่ $\bar{\sigma}_{ij'}$ คือ ค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนร่วมระหว่างข้อคำถาม

$Var(X)$ คือ ค่าความแปรปรวนของคะแนนรวมทั้งหมด

k คือ จำนวนของข้อคำถาม

ค่าสัมประสิทธิ์นี้ไม่เหมาะสำหรับการวัดที่มีโครงสร้างแบบพหุมิติ และ ยังไม่เหมาะสำหรับการวัดที่แต่ละองค์ประกอบ หรือ แต่ละมิติ มีความเป็นอิสระจากกัน หรือ ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ หรือ ความสัมพันธ์ระหว่างมิติ เพราะจะทำให้ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Zinbarge et al., 2005; Revell & Zinbarg, 2008)

กลุ่มที่สอง คือ วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่อิงโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory factor model based approaches: CFA) เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (Construct reliability coefficient or omega coefficient) ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (Multidimensional omega coefficient) และ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (Maximal reliability coefficient) เป็นต้น รายละเอียดของแต่ละวิธีการเป็นดังนี้

(1) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (Construct reliability coefficient) หรือค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้า (Omega coefficient) พัฒนาขึ้นโดย McDonald (1970, 1999) เป็นวิธีการประมาณความเที่ยงที่อิงโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis: CFA) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างตามสูตรของ McDonald นี้ มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างค่าความร่วมกัน (Communality) กับ ความแปรปรวนรวมของคะแนนสังเกตได้ (Total variance) มีสูตรคำนวณดังนี้ (Osburn, 2000; McDonald, 1970, 1999 cited in Kamata et al., 2003; Brunner & SÜß, 2005; Widhiarso, 2007; Widhiarso & Ravand, 2014)

$$\omega = \frac{\sum_{j=1}^{q}(\sum_{i=1}^{p}\lambda_{ij})^2}{\sum_{j=q}^{q}(\sum_{i=1}^{p}\lambda_{ij})^2+(\sum_{i=1}^{p}1-\lambda_{ij}^2)} \quad [5]$$

โดยที่ i คือ ข้อคำถามที่ $1, 2, \ldots, p$

j คือ องค์ประกอบที่ $1,2, \ldots, q$

λ_{ij} คือ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบของข้อคำถามที่ i ในองค์ประกอบที่ j

ค่าสัมประสิทธิ์นี้เหมาะสำหรับการวัดที่เป็นโมเดลการวัดแบบคู่ขนาน (Parallel model) หรือโมเดลการวัดแบบความสมมูลหรือเท่าเทียมที่แท้จริง (Tau-equivalent model) (Widhiarso, 2007; Widhiarso & Ravand, 2014) แต่ไม่เหมาะสำหรับการวัดที่มีมิติของการวัดตั้งแต่ 2 มิติขึ้นไป และ ค่าความแปรปรวนร่วมระหว่างมิติมีค่าไม่เท่ากับ 0 เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากสูตรข้างต้น มีข้อสังเกตว่าเป็นวิธีการที่ไม่ได้คำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ หรือ ความสัมพันธ์ระหว่างมิติ (Osburn, 2000; Kamata et al., 2003)

(2) ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (Multidimensional omega coefficient) จากข้อจำกัดของค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าในข้างต้น McDonald จึงได้พัฒนาจากค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ซึ่งมีแนวคิดเดียวกับการประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้า แต่จะมีการเพิ่มเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมขององค์ประกอบไว้ในสูตร เพื่อให้ได้วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เมื่อการวัดมีหลายมิติ และ แต่ละมิติมีความสัมพันธ์กัน มีสูตรคำนวณดังนี้ (Kamata, 2003; วรรณวดี สุขแจ่ม, 2554)

$$\Omega_{MD} = \frac{1_p^T \Lambda \Phi \Lambda^T 1_p}{1_p^T S_X 1_p} \quad [6]$$

โดยที่ Λ คือ เมทริกซ์ของน้ำหนักองค์ประกอบขนาด $p \times q$

Φ คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมขององค์ประกอบขนาด $q \times q$ องค์ประกอบ

S_X คือ เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมของคะแนนสังเกตได้ ขนาด $p \times p$

1_p คือ เวกเตอร์หลัก (Column vector) ขนาด $p \times 1$ ที่มีสมาชิกทุกตัวเป็น 1

ค่าสัมประสิทธิ์นี้เหมาะสำหรับการวัดแบบพหุมิติที่เครื่องมือวัด ประกอบด้วยหลายมิติ หรือหลายองค์ประกอบ และ มีค่าความแปรปรวนร่วมระหว่างองค์ประกอบ หรือ ความแปรปร่วนร่วมระหว่างมิติ (Osburn, 2000; Kamata et al., 2003)

(3) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (Maximal reliability coefficient) หรือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted construct reliability coefficient) เพราะมีการถ่วงน้ำหนักค่าความแปรปรวนของคะแนนจริงกับคะแนนสังเกตของค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ จากสมการที่ [6] ด้วยค่าสัมประสิทธิ์คะแนนองค์ประกอบ (Factor score coefficients: b) (Li, 1997; Raykov, 2012) ต่อมาในปี ค.ศ. 2001 Hancock และ Mueller เรียกค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวว่า ค่าสัมประสิทธิ์ H (Coefficient H) (Osburn, 2000; Hancock & Muller, 2001; Kamata et al., 2003; Brunner & SÜß, 2005; Widhiarso, 2007; Widhiarso & Ravand, 2014)

$$\Omega_w = \frac{b^T \Lambda \Phi \Lambda^T b}{b^T S_X b} \qquad [7]$$

โดยที่ Λ คือ เมทริกซ์ของน้ำหนักองค์ประกอบขนาด $p \times q$

Φ คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมขององค์ประกอบขนาด $q \times q$ องค์ประกอบ

S_X คือ เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมของคะแนนสังเกตได้ ขนาด $p \times p$

1_p คือ เวกเตอร์หลัก (Column vector) ขนาด $p \times 1$ ที่มีสมาชิกทุกตัวเป็น 1

b คือ ค่าสัมประสิทธิ์คะแนนองค์ประกอบ (Factor score coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์นี้เหมาะสำหรับการวัดที่มีหลายมิติ โดยที่แต่ละมิติวัดได้ด้วยชุดข้อคำถามย่อยที่แต่ละข้อคำถามอยู่ภายใต้ชุดข้อคำถามย่อยที่มีคุณสมบัติคู่ขนาน (Parallel items) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อการวัดไม่มีคุณสมบัติดังกล่าว ค่าประมาณความเที่ยงทีได้จะมีค่าต่ำกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Underestimation) (Osburn, 2000; Kamata,2003; Widhiarso, 2007; Widhiarso & Ravand, 2014)

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับลักษณะของเครื่องมือวัดที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบพหุมิติที่กล่าวจากตัวอย่างงานวิจัยในต่างประเทศ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Perry (1996) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการวัดแรงจูงใจของบุคคลในการบริการสาธารณะ กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยมาจากการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) มากกว่าการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple sampling) และ แบ่งกลุ่มตัวอย่างจากความหลากหลายของภูมิหลังของภาครัฐ ได้แก่ การให้บริการนักศึกษาหลักสูตรรัฐประศาสนศาสตร์มหาบัณฑิต (MPS), กิจการสาธารณะของนักศึกษาระดับปริญญาตรีผู้บริหารทางธุรกิจ, หัวหน้าแผนกในรัฐบาลแห่งชาติ, การทำงานทางสังคมของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา, เจ้าหน้าที่ของนายอำเภอ, พนักงานแผนกบริการทางสังคม และ พนักงานแผนกทรัพยากรธรรมชาติจากหน่วยงานภาครัฐ, พนักงานในเขตรัฐบาล และพนักงานการจัดการการติดตั้งการป้องกันของรัฐบาล รวมจำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 376 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ มาตรวัดแรงจูงใจด้านการบริการทางสังคม ซึ่งเป็นมาตรวัดของลิเคิร์ท (Likert's scale) 5 ช่วงระดับคะแนน โดยเริ่มจากระดับที่ "ไม่เห็นด้วย" ไปถึง "เห็นด้วย" จำนวนข้อคำถามในมาตรวัดทั้งสิ้น 40 ข้อ เครื่องมือวัดดังกล่าวทำการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis: CFA) เพื่อรายงานผลของค่าความเที่ยง (Reliability) และ ความตรง(Validity) ผลการวิจัยสรุปได้ว่า มาตรวัดแรงจูงใจของบุคคลในการบริการสาธารณะ มีค่าโดยภาพรวม (Overall face) และ ความตรงเชิงโครงสร้าง (Construct validity) อยู่ในระดับดี นอกจากนี้ยังมีค่าความตรงเชิงจำแนก (Discriminant validity) ระหว่างมิติขององค์ประกอบ 4 องค์ประกอบ และ มีค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (Construct reliability coefficient) อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.15 ถึง 0.61

Chulalongkorn University

Cronin, Brady และ Hult (2000) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินผลกระทบของคุณภาพ คุณค่า และ ความพึงพอใจของผู้บริโภคด้านความตั้งใจทางพฤติกรรม ในสภาพแวดล้อมด้านการบริการ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยมาจากอุตสาหกรรมด้านการให้บริการจำนวน 6 อุตสาหกรรม และ แบ่งกลุ่มตัวอย่าง เป็น 2 กลุ่ม ตามกรณีที่ต้องการศึกษาในงานวิจัย คือ (1) กลุ่มตัวอย่างที่ใช้สำหรับการศึกษาในกรณีที่หนึ่ง กลุ่มตัวอย่างมาจากอุตสาหกรรมด้านการบริการจำนวน 3 อุตสาหกรรม ได้แก่ ด้านกีฬาที่มีผู้ชม (Spectator sports) จำนวน 401 คน, ด้านกีฬาที่เน้นการมีส่วนร่วม (Participation sports) จำนวน 396 คน และ ด้านความบันเทิง (Entertainment) จำนวน 450 คน จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สำหรับการศึกษาในกรณีที่หนึ่งรวม 1,247 คน และ (2) กลุ่มตัวอย่างที่ใช้สำหรับการศึกษาในกรณีที่หนึ่ง กลุ่มตัวอย่างได้มาจากอุตสาหกรรมด้านการให้บริการจำนวน 3 อุตสาหกรรม คือ ด้านการดูแลสุขภาพ (Health care) จำนวน 167 คน, ด้านผู้ให้บริการระยะยาว (Long distance carriers) จำนวน 221 คน และ ด้านอาหารจานด่วน (Fast food) จำนวน 309 คน จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สำหรับ

การศึกษาในกรณีที่สองรวม 1,944 คน ดังนั้นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีจำนวนทั้งสิ้น 3,191 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้ง คือ มาตรวัดของลิเคิร์ท (Likert's scale) 9 ช่วงระดับคะแนน โดยเริ่มจากระดับที่ "ต่ำมาก" ไปถึง "สูงมาก" จำนวนข้อคำถามในมาตรวัดทั้งสิ้น 29 ข้อ งานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์สถิติเชิงบรรยาย (Descriptive statistics) 2 ค่า คือค่าเฉลี่ย (Mean) และ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviations) นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายใน (Intercorrelation), ค่าความแปรปรวนร่วม (Shared variances), การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis: CFA) ด้วยโปรแกรม LISREL และ การประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบโครงสร้าง (Construct reliability coefficient) ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis: CFA) มีค่าดัชนีที่ใช้สำหรับการประเมินความสอดคล้องของโมเดลในภาพรวมอยู่ในระดับดี, ผลการประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (Construct reliability coefficient) ในแต่ละตัวแปรมีค่าความเที่ยงอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.69 ถึง 0.94 และ คุณภาพ, คุณค่า และ ความพึงพอใจมีอิทธิพลทางตรงต่อเจตนาเชิงพฤติกรรม

Hsu และ Chiu (2004) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการรับรู้ความสามารถตนเองในด้านการใช้อินเตอร์เน็ต และ ด้านการยอมรับบริการทางอิเล็กทรอนิกส์ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ คือ นักศึกษาที่เรียนหลักสูตรนอกเวลาของปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต (MBA) ของมหาวิทยาลัยในไต้หวัน จำนวนทั้งสิ้น 400 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ มาตรวัดของลิเคิร์ท (Likert's scale) 7 ช่วงระดับคะแนน โดยเริ่มจากระดับที่ "ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง" ไปถึง "เห็นด้วยอย่างยิ่ง" จำนวนข้อคำถามในมาตรวัดทั้งสิ้น 57 ข้อ ผลการวิจัยในส่วนของโมเดลการวัด ที่ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory factor analysis: CFA) ด้วยโปรแกรม LISREL พบว่า ค่าดัชนีที่ใช้สำหรับการประเมินความสอดคล้องของโมเดลในภาพรวมอยู่ในระดับดี ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบ (Composite reliability coefficient) ในแต่ละตัวแปรมีค่าอยู่ในระดับสูง คือ อยู่ในช่วง 0.62 ถึง 0.97 ค่าความตรงลู่เข้า (Convergent validity) และ ค่าความตรงเชิงจำแนก (Discriminant validity) อยู่ในระดับเหมาะสม นอกจากนี้พบว่า การรับรู้ความสามารถของตนเอง ในการใช้เว็บไซต์ (Web-specific self-efficacy) จะมีอิทธิพลทางตรง (Direct effect) ต่อการใช้บริการอิเล็กทรอนิกส์ (E-service) อย่างมีนัยสำคัญ, การรับรู้ความสามารถ ในการใช้อินเตอร์เน็ตพื้นฐาน (General internet self-efficacy) จะมีอิทธิพลทางอ้อม (Indirect effect) ต่อ การใช้บริการทางอิเล็กทรอนิกส์ (E-service) ผ่านการรับรู้ความสามารถของตนเอง ในการใช้เว็ปไซต์ (Web-specific self-efficacy), ทัศนคติ

(Attitude) และ ความตั้งใจ (Intention) และ เมื่อพิจารณาด้านบรรทัดฐานของความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล (Interpersonal norm) และ บรรทัดฐานทางสังคม (Social norm) พบว่า บรรทัดฐานทั้งสองด้าน ไม่มีอิทธิพลทางตรง (Direct effect) ต่อ ความตั้งใจเชิงพฤติกรรม (Behavioral intention) อย่างมีนัยสำคัญ แต่จะมีอิทธิพลทางอ้อม (Indirect effect) ต่อทัศนคติ (Attitude) ที่มี ต่อการใช้บริการอิเล็กทรอนิกส์ (E-service) อย่างมีนัยสำคัญ ความตั้งใจของแต่ละบุคคล และ พฤติกรรมของแต่ละบุคคล จะไม่มีอิทธิพลทางตรง ต่อการควบคุมการรับรู้ (Perceived controllability) โดยการรับรู้คุณประโยชน์ (Perceived usefulness) จะเป็นตัวทำนายทัศนคติที่ดีกว่าการรับรู้ความสนุกสนาน (Perceived playfulness)

Lin และ Wang (2005) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบปัจจัยด้านความซื่อสัตย์ของลูกค้าในบริบทการค้ามือถือ กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ได้มาจากแหล่ง 3 แหล่ง ในไต้หวัน ได้แก่ มหาวิทยาลัย 2 มหาวิทยาลัย, บริษัทที่มีเทคโนโลยีขั้นสูง 3 บริษัท และ บริษัทประกันภัย 1 บริษัท หลังจากนั้นสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบโควตา (Quota sampling) เพื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างที่ได้รับความนิยมด้านการดำเนินกิจกรรมต่างๆที่เกี่ยวข้องกับธุรกรรม หรือ การเงิน โดยผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (M-Commerce) ออกเป็น 17 ประเภท ได้แก่ การรับ หรือ การส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (E-mail), บริการของธนาคารประจำ, การจองที่นั่งโรงภาพยนตร์ หรือ การจองตั๋วภาพยนตร์, การจองโต๊ะนั่งที่ร้านอาหาร, การรับข่าวสาร, การจองตั๋วเดินทาง, การซื้อสินค้าทางออนไลน์, การได้รับข้อเสนอส่วนบุคคล, การดูดวง, การฟังเพลง หรือ การดาวน์โหลดเพลง, การดาวน์โหลดกราฟิก หรือ การดาวน์โหลดแอนิเมชั่น, การเล่นเกมออนไลน์, การพูดคุยกับคนแปลกหน้าทางออนไลน์, การซื้อขายหุ้น, การมีส่วนร่วมในการประมูลทางอินเตอร์เน็ต, บริการแผนที่ และ การเรียนรู้ผ่านทางมือถือ แบ่งจำนวนกลุ่มตัวอย่างประเภทละ 15 คน รวมจำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 225 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ คือ มาตรวัดของลิเคิร์ท (Likert's scale) 7 ช่วง ระดับคะแนน โดยเริ่มจากระดับที่ "ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง" ไปถึง "เห็นด้วยอย่างยิ่ง ซึ่งมาตรวัดประกอบด้วยข้อคำถามทั้งสิ้น 20 ข้อ งานวิจัยครั้งนี้วิเคราะห์ข้อมูล ด้วยเทคนิคโมเดลเชิงโครงสร้าง (Structural modeling techniques) และ ทำการวิเคราะห์ค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบ (Composite reliability coefficient) ผลการวิจัยได้ข้อสรุปว่า ผลการประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบ (Composite reliability coefficient) มีค่าความเที่ยงอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.89 ถึง 0.96 ในทุกองค์ประกอบ (Factor) นอกจากนี้สรุปได้ว่า ความซื่อสัตย์ของผู้บริโภค (Customer loyalty) ได้รับผลกระทบจากการรับรู้คุณค่า (Perceived value), ความไว้วางใจ (Trust), นิสัย (Habit) และ ความพึงพอใจของ

ผู้บริโภค (Customer satisfaction) และ ความพึงพอใจของผู้บริโภค (Customer satisfaction) จะมีบทบาทสำคัญในการแทรกแซงความสัมพันธ์ของการรับรู้คุณค่า (Perceived value) และ ความไว้วางใจในความจงรักภักดี (Trust to loyalty)

Kennedy, Abell และ Mennicke (2014) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบความตรงขั้นต้น ของผู้ให้คำปรึกษาด้านสุขภาพจิตในภาวะซึมเศร้า กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ พนักงานสุขภาพจิต และ นักศึกษาบัณฑิตศึกษาที่มาฝึกงานด้านให้การปรึกษา จำนวนกลุ่มตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 212 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ Mental Health Provider Stigma Inventory (MHPSI) ประกอบด้วย ข้อคำถามจำนวน 41 ข้อคำถามของ MHPSI ผลการวิจัยสรุปได้ว่า คุณสมบัติทางจิตวิทยาเบื้องต้น บ่งบอกว่ามีความสอดคล้องของโมเดลในระดับดี สำหรับมาตรวัดแบบพหุมิติขององค์ประกอบจำนวน 3 องค์ประกอบ และยังพบว่า มีค่าความเที่ยงอยู่ในระดับสูง กล่าวคือ มีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (Stratified alpha coefficient: α_s) อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.83 ถึง 0.93 และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (Stratified alpha coefficient: α_s) โดยภาพรวม มีค่าเท่ากับ 0.95 และ หลักฐานในด้านความตรงเชิงโครงสร้าง จะสนับสนุนสมมติฐานเกี่ยวกับ ความถูกต้องของโครงสร้างพื้นฐาน ดังนั้น Provider Stigma Inventory (MHPSI) จึงเป็นเครื่องมือวัดที่มีค่าความเที่ยง และ ความตรงของผู้ให้คำปรึกษาด้านสุขภาพจิตในภาวะซึมเศร้า ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวเป็นเครื่องมือที่ดีสำหรับการนำไปใช้เป็นแนวทางการฝึกอบรมตัวแทนของสำนักงานและหน่วยงานสังคมสงเคราะห์

จากการศึกษางานวิจัยที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบพหุมิติ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง, ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบ และค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น แทนค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคในการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย สามารถสรุปรายละเอียดของงานวิจัยดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การสังเคราะห์งานวิจัยต่างประเทศที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆในการประมาณค่าความเที่ยง

ผู้วิจัย และ ปีที่ทำการวิจัย	ตัวแปร หรือ องค์ประกอบ	เครื่องมือ	กลุ่ม ตัวอย่าง	ค่า สัมประสิทธิ์	ผล การประมาณค่า ความเที่ยง
Perry (1996)	องค์ประกอบที่ศึกษาในครั้งนี้ประกอบด้วย 1. สิ่งจูงใจที่จะทำให้เกิดนโยบายด้านสาธารณะ (Attraction to public policy making) 2. ความมุ่งมั่นที่จะสนใจในด้านสาธารณะ (Commitment to the public interest) 3. หน้าที่ของพลเมือง (Civic duty) 4. ความยุติธรรมทางสังคม (Social justice)	มาตรวัดแรงจูงใจด้านการให้บริการทางสังคมเป็นมาตรวัดของลิเคิร์ท (Likert's scale) 5 ช่วงระดับคะแนน	กลุ่มตัวอย่างมาจากคนที่ประกอบอาชีพต่างๆ ในภาครัฐ รวมทั้งสิ้น 176 คน	สัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (Construct reliability coefficient)	ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างมีค่าความเที่ยงอยู่ในช่วง 0.15 ถึง 0.61

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผู้วิจัย และ ปีที่ทำการวิจัย	ตัวแปร หรือ องค์ประกอบ	เครื่องมือ	กลุ่ม ตัวอย่าง	ค่า สัมประสิทธิ์	ผล การประมาณค่า ความเที่ยง
	5. การสียสละตนเอง (Self-sacrifice) 6. ความรู้สึกเห็นอกเห็นใจ (Compassion)				
Cronin , Brady & Hult (2000)	ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย 1. การเสียสละ (Sacrifice) 2. คุณภาพการให้บริการ (Service quality) แบ่งออกเป็น 2 ตัวแปร คือ (1) การปฏิบัติในเชิงคุณภาพการให้บริการ (Service quality Performance) (2) คุณภาพการให้บริการโดยภาพรวม	มาตรวัดของลิเคิร์ท (Likert's scale) 9 ช่วงระดับคะแนน	กลุ่มตัวอย่างมาจากคนในอุตสาหกรรมด้านการให้บริการ รวมทั้งสิ้น 3,191 คน	สัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (Construct reliability coefficient)	ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ในแต่ละตัวแปร มีค่าควาเที่ยงอยู่ในช่วง 0.69 ถึง 0.94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผู้วิจัย และ ปีที่ทำการวิจัย	ตัวแปร หรือ องค์ประกอบ	เครื่องมือ	กลุ่ม ตัวอย่าง	ค่า สัมประสิทธิ์	ผล การประมาณค่า ความเที่ยง
	(Overall service quality) 3. คุณค่าของการบริการ (Service value) 4. ความพอใจ (Satisfaction) 5. ความตั้งใจเชิงพฤติกรรม (Behavioral intentions)				
Hsu & Chiu (2004)	ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 1. ความตั้งใจ (Intention) 2. ทัศนคติ (Attitude) 3. บรรทัดฐานความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล (Interpersonal norm)	มาตรวัดการรับรู้ความสามารถตนเองในด้านการใช้บริการอินเตอร์เน็ต และ ในด้านการยอมรับบริการทางอิเล็กทรอนิกส์เป็นมาตรวัดของลิเคิร์ท	กลุ่มตัวอย่างคือ นักศึกษาหลักสูตรปริญญาบริหารธุรกิจบัณฑิต (นอกเวลา) ของมหาวิทยาลัยในไต้หวัน รวมทั้งสิ้น 400 คน	สัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบ (Composite reliability coefficient)	ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบในแต่ละตัวแปร มีค่าความเที่ยง อยู่ในระดับสูง ซึ่งอยู่ในช่วง 0.62 ถึง0 .97

ผู้วิจัย และ ปีที่ทำการวิจัย	ตัวแปร หรือ องค์ประกอบ	เครื่องมือ	กลุ่ม ตัวอย่าง	ค่า สัมประสิทธิ์	ผล การประมาณค่า ความเที่ยง
	4. บรรทัดฐานทางสังคม (Social norm) 5. การรับรู้คุณประโยชน์ (Perceived usefulness) 6. การรับรู้อันตราย (Perceived risk) 7. การรับรู้ความสนุกสนาน (Perceived playfulness) 8. การควบคุมการรับรู้ (Perceived controllability) 9. การรับรู้ความสามารถของตนเองในการใช้เว็ปไซต์ (Web-specific self-efficacy)	(Likert's scale) 7 ช่วงระดับคะแนน			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผู้วิจัย และ ปีที่ทำการวิจัย	ตัวแปร หรือ องค์ประกอบ	เครื่องมือ	กลุ่ม ตัวอย่าง	ค่า สัมประสิทธิ์	ผล การประมาณค่า ความเที่ยง
	10. การรับรู้ความสามารถในการใช้อินเตอร์เน็ตพื้นฐาน (General internet self-efficacy) 11. การใช้บริการทางอิเล็กทรอนิกส์ (E-service usage)				
Lin & Wang (2005)	องค์ประกอบที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย 1. คุณค่าของการรับรู้ (Perceived value) 2. ความพึงพอใจของผู้บริโภค (Customer satisfaction)	มาตรวัดของลิเคิร์ท(Likert's scale) 7 ช่วงระดับคะแนน	กลุ่มตัวอย่างได้มาจากมหาวิทยาลัย, บริษัทที่มีเทคโนโลยีขั้นสูง และบริษัทด้านประกันภัย จำนวนทั้งสิ้น 225 คน	สัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบ (Composite reliability coefficient)	ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบ มีค่าสูงกว่า 0.80 ในทุกองค์ประกอบ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.89 ถึง 0.96

ผู้วิจัย และ ปีที่ทำการวิจัย	ตัวแปร หรือ องค์ประกอบ	เครื่องมือ	กลุ่ม ตัวอย่าง	ค่า สัมประสิทธิ์	ผล การประมาณค่า ความเที่ยง
	3. ความไว้วางใจ (Trust) 4. นิสัย (Habit) 5. ความซื่อสัตย์ของผู้บริโภค (Customer loyalty)				
Kenned, Abell & Mennicke (2014)	ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ 1. ทัศนคติ (Attitudes) 2. พฤติกรรม (Behaviors) 3. อิทธิพลของการทำงานร่วมกัน (Coworker Influence)	เครื่องมือที่ใช้ คือ Mental health provider stigma inventory (MHPSI)	กลุ่มตัวอย่างเป็นพนักงานสุขภาพจิตและนักศึกษาบัณฑิตศึกษาที่มาฝึกงานด้านการให้การปรึกษา รวมทั้งสิ้น 212 คน	สัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (Stratified alpha coefficient)	Stratified α แต่ละค่าอยู่ในระดับที่สูงคืออยู่ในช่วงจาก 0.83 ถึง 0.93 ในภาพรวม Stratified α เท่ากับ 0.95

จากตารางข้างต้นพบว่า ลักษณะของเครื่องมือวัดที่เหมาะกับการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง, ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบ และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น จะต้องเป็นเครื่องมือที่มีคุณลักษณะ, การทดสอบย่อย, องค์ประกอบ หรือ มิติ ตั้งแต่ 2 ขึ้นไป หรือกล่าวว่า ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวมีความเหมาะสมสำหรับการวัดแบบพหุมิติ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบพหุมิติเพิ่มเติม พบว่าปัจจุบันมีนักวิจัยส่วนหนึ่งได้ทำการศึกษา และ เปรียบเทียบผลการประมาณค่าความเที่ยงสำหรับการวัดแบบพหุมิติ โดยแต่ละงานวิจัยเลือกค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการศึกษาที่แตกต่างกัน ดังสรุปได้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การสังเคราะห์งานวิจัยเกี่ยวกับการประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ

นักวิจัย และ ปีที่ทำการวิจัย	สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค	สัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น	สัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบ	สัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง	สัมประสิทธิ์โอเมก้า แบบพหุมิติ	สัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด	สัมประสิทธิ์เบต้า	สัมประสิทธิ์ที่ประมาณค่าดีที่สุด
Osburn (2000)	✓	✓				✓		สัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด
Kamata et al. (2003)	✓	✓			✓	✓		สัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น
Brunner & SÜß (2005)			✓	✓		✓		สัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบ
Zinbarge et al. (2005)	✓			✓			✓	สัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นักวิจัย และ ปีที่ทำการวิจัย	สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค	สัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น	สัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบ	สัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง	สัมประสิทธิ์โอเมก้า แบบพหุมิติ	สัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด	สัมประสิทธิ์เบต้า	สัมประสิทธิ์ที่ประมาณค่าดีที่สุด
Widhiarso (2007)	✓	✓	✓	✓		✓		สัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบ
Revell & Zinbarg (2008)	✓			✓			✓	สัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง
Margono (2015)	✓			✓		✓		สัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด
วรรณวดี (2554)					✓	✓		สัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด
รวม	6	3	2	5	2	6	2	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้นพบว่า นอกเหนือจากค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) ค่าสัมประสิทธิ์ที่นิยมใช้สำหรับการประมาณค่าความเที่ยงสำหรับการวัดแบบพหุมิติ (Multidimensional measurement) ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (Maximal reliability), ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (Construct reliability coefficient) และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (Stratified alpha coefficient) ตามลำดับ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์

ที่ประมาณค่าความเที่ยงได้ดีที่สุดในแต่ละงานวิจัยมีความแตกต่างกัน โดยในภาพรวมค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (Maximal reliability coefficient) และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (Stratified alpha coefficient) เป็นวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม ก็ไม่ใช่สิ่งที่บ่งบอกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าว จะให้เป็นวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่ดี และ เหมาะสมในงานวิจัยอื่น เนื่องจากบริบทและเงื่อนไขของงานวิจัยในแต่ละงานวิจัยมีความแตกต่างกัน

1.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง

วิธีประมาณค่าความเที่ยงแต่ละวิธี จะให้ผลการประมาณค่าความเที่ยงที่สูงกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Overestimation) หรือ ต่ำกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Underestimation) ขึ้นอยู่กับแหล่งความคลาดเคลื่อน ที่จะทำให้ค่าความเที่ยงเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากค่าความเที่ยง คือ อัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนของคะแนนจริง (T) กับ ผลรวมของความแปรปรวนของคะแนนจริง (T) และความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (E) (Lord & Novick, 1968) เมื่อเกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดจะส่งผลให้ค่าความเที่ยงที่ได้เป็นค่าที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าความเที่ยงที่แท้จริง ดังนั้นการประมาณค่าความเที่ยงของเครื่องวัด นอกจากจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของวิธีประมาณค่าความเที่ยงในแต่ละวิธี ยังต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆที่อาจมีอิทธิพลต่อค่าความเที่ยง ซึ่งจากการวิเคราะห์เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัย ที่มีอิทธิพลผลต่อค่าความเที่ยงของเครื่องมือวัด พบว่า นักวิจัยหลายท่านได้กำหนดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความเที่ยง ดังสรุปได้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง

ปัจจัย	กังวล (2539)	ล้วน และ อังคณา (2543)	เยาวดี (2552)	วรรณวดี (2554)	กิตติศักดิ์ และ คณะ (2555)	ศิริชัย (2556)	กมลวรรณ (2557)	Cortina (1993)	Eid & Diener (1999)	Osburn (2000)
ลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง	✓	✓	✓			✓				
จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง		✓		✓	✓					

ปัจจัย	กังวล (2539)	ล้วน และ อังคณา (2543)	เยาวดี (2552)	วรรณวดี (2554)	กิตติศักดิ์ และ คณะ (2555)	ศิริชัย (2556)	กมลวรรณ (2557)	Cortina (1993)	Eid & Diener (1999)	Osburn (2000)
ลักษณะของข้อสอบ/ข้อคำถาม	✓	✓	✓							✓
จำนวนข้อ/องค์ประกอบ		✓	✓			✓		✓	✓	✓
ความสัมพันธ์ระหว่างข้อ						✓		✓		✓
ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ/มิติ									✓	✓
ระยะเวลาที่ใช้ในการทำ	✓					✓			✓	
วิธีที่ใช้ในการประมาณค่า				✓	✓	✓				✓
มิติของการวัด (Dimension)				✓				✓		
โมเดลของการวัด (Model)					✓					✓
การให้คะแนนของผู้ตรวจ/ผู้ประเมิน	✓						✓			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4 (ต่อ) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง

ปัจจัย	Kamata et.al. (2003	Zinbarge et al. (2005)	Graham (2006)	Ercan et.al. (2007)	Widhiarso (2007)	Revelle et al. (2008)	McCoach et.al. (2013)	รวม
ลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง							✓	5
จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง	✓	✓						5
ลักษณะของข้อสอบ/ข้อคำถาม	✓			✓			✓	7
จำนวนข้อ/องค์ประกอบ				✓		✓	✓	9
ความสัมพันธ์ระหว่างข้อ					✓		✓	5
ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ/ มิติ	✓							3
ระยะเวลาที่ใช้ในการทำ				✓				4
วิธีที่ใช้ในการประมาณค่า	✓	✓			✓			7
มิติของการวัด (Dimension)	✓	✓			✓	✓		6
โมเดลของการวัด (Model)	✓		✓		✓		✓	6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปัจจัย	Kamata et.al. (2003	Zinbarge et al. (2005)	Graham (2006)	Ercan et.al. (2007)	Widhiarso (2007)	Revelle et al. (2008)	McCoach et.al. (2013)	รวม
การให้คะแนนของผู้ตรวจ/ผู้ประเมิน				✓				3

จากตารางข้างต้นพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง ได้แก่ ลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง, จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง, ลักษณะของข้อสอบ หรือ องค์ประกอบ, จำนวนของข้อ หรือ องค์ประกอบ,ความสัมพันธ์ระหว่างข้อ, ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ หรือ มิติ, ระยะเวลาที่ใช้ในการทำ, วิธีที่ใช้ในการประมาณค่า, มิติของการวัด (Dimension), โมเดลของการวัด (Model) และการให้คะแนนของผู้ตรวจ หรือ ผู้ประเมิน แต่ละปัจจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง

ลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง มีอิทธิพลต่อค่าความเที่ยง กลุ่มตัวอย่างที่มีความสามารถที่แท้จริงใกล้เคียงกันมาก หรือ กลุ่มตัวอย่างมีความเป็นเอกพันธ์ (Homogeneity) กัน จะทำให้ค่าความเที่ยงที่ได้มีค่าต่ำลง เพราะโอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนของการวัดมากขึ้น ตรงกันข้ามกับ กลุ่มตัวอย่างที่มีความสามารถที่แท้จริงแตกต่างกันมาก หรือ กลุ่มตัวอย่างไม่มีความเป็นเอกพันธ์ (Heterogeneity) จะทำให้ค่าความเที่ยงที่ได้มีค่าสูง เนื่องจากผลการวัดที่ได้มีค่าคงที่มาก ความคลาดเคลื่อนของการวัดจึงมีค่าลดลง (กังวล เทียนกัณฑ์เทศน์, 2540; เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี, 2552; สาขาวิชาการศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2545; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม (Classical Test Theory: CTT) ได้อธิบายไว้ว่า คะแนนที่สังเกตได้เท่ากับผลรวมของคะแนนที่แท้จริง กับ ความคลาดเคลื่อน และ ความแปรปรวนของคะแนนที่สังเกตได้ เท่ากับ ผลรวมของความแปรปรวนของคะแนนที่แท้จริง กับ ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีความสามารถที่แท้จริงใกล้เคียงกันมาก หรือ กลุ่มตัวอย่างมีความเป็นเอกพันธ์ (Homogeneity) กัน กลุ่มตัวอย่างจะมีโอกาสทำได้ถูกเท่ากัน จึงทำให้เกิดความแปรปรวนของคะแนนที่แท้จริงของกลุ่มตัวอย่างน้อย และส่งผลให้ค่าความเที่ยงที่ได้มีค่าอยู่ในระดับต่ำ ตามที่กล่าวไว้ในข้างต้น เนื่องจากความแปรปรวนของ

คะแนนที่แท้จริง มีสัดส่วนที่ต่ำกว่าในการอธิบายความแปรปรวนของคะแนนที่สังเกตได้ (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) ดังนั้นกลุ่มตัวอย่างที่มีความสามารถแตกต่างกัน จะทำให้ค่าความเที่ยงมีค่าสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีความสามารถใกล้เคียงกัน

นอกจากความเป็นเอกพันธ์กัน (Homogeneity) ของกลุ่มตัวอย่าง ระดับความสามารถของนักเรียนในกลุ่มตัวอย่าง ยังมีอิทธิพลต่อค่าประมาณความเที่ยงเช่นกัน ถ้ากลุ่มตัวอย่างมีความสามารถโดยเฉลี่ยสูง กลุ่มตัวอย่างจะทำการทดสอบได้ถูกต้อง และ แน่นอนทุกครั้ง ทำให้ค่าความเที่ยงที่ได้มีค่าสูง เนื่องจากคะแนนที่ได้มีค่าคงที่ แต่ถ้ากลุ่มตัวอย่างมีความสามารถโดยเฉลี่ยต่ำ กลุ่มตัวอย่างมักจะตอบจากการเดาเป็นส่วนใหญ่ ทำให้คะแนนที่ได้ไม่มีความแน่นอน จึงส่งผลให้ค่าความเที่ยงลดลง (สาขาวิชาการศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2545) โดยความสามารถของผู้สอบ อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับ ความสนใจ, ประสบการณ์, ความวิตกกังวล และ ช่วงเวลาที่ใช้ เป็นต้น (กังวล เทียนกัณฑ์เทศน์, 2540; เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี, 2552) จึงสามารถสรุปได้ว่า ลักษณะของกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสม จะช่วยให้การประมาณค่าความเที่ยงมีประสิทธิภาพ

(2) จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง

จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง หรือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง มีอิทธิพลต่อค่าความเที่ยง เช่นเดียวกับลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง โดยทั่วไปแล้วขนาดของกลุ่มตัวอย่างควรมีจำนวนมากพอ หากกลุ่มตัวอย่างมีจำนวนน้อย คะแนนจะกระจายน้อยเหมือนกัน แต่หากกลุ่มตัวอย่างมีจำนวนมาก การกระจายของคะแนนก็จะมีมากด้วย ส่วนจำนวนกลุ่มตัวอย่างควรจะเป็นเท่าไรนั้น ยังไม่มีข้อมูลสรุปที่แน่นอน อย่างไรก็ตามนักวัดผลกล่าวว่า จำนวนของกลุ่มตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์ควรมีประมาณ 6-10 เท่าของจำนวนข้อจึงจะดี (Gable, 1986 อ้างถึงใน ล้วน สายยศ และ อังคณา สายยศ, 2543) ตัวอย่างงานวิจัยที่สนับสนุนว่า ขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีอิทธิพลต่อค่าความเที่ยง คือ งานวิจัยของ Kamata et al. (2003) ที่กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างเป็นเงื่อนไขหนึ่งในการศึกษาการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงสำหรับมาตรวัดแบบพหุมิติ (Multidimensional scale) ขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาแบ่งออกเป็น 5 ขนาด คือ n = 50, 200, 500, 1,000 และ 2,000 ผลการวิจัย พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค จะให้ค่าประมาณความเที่ยงที่ต่ำกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Underestimation) มาก เมื่อขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็กมาก กล่าวคือ n=50 อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากขนาดกลุ่มตัวอย่างดังกล่าว ก็มีความแตกต่างจากกลุ่มตัวอย่างขนาดอื่นที่ศึกษาน้อยมาก

(3) ลักษณะของข้อสอบ หรือ ข้อคำถาม

ระดับความยากง่าย (Level of difficulty) มีอิทธิพลต่อค่าความเที่ยงของแบบสอบ เนื่องจากข้อสอบระดับง่าย จะมีโอกาสที่คนส่วนใหญ่จะตอบถูก เช่นเดียวกับ ข้อสอบระดับยาก จะมีโอกาสที่คนส่วนใหญ่จะตอบผิดเหมือนกัน ทำให้คะแนนของผู้สอบแต่ละคนไม่แตกต่างกันมาก (สาขาวิชาการศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2545) ดังนั้นความแปรปรวนของคะแนนที่ได้จากผลสอบ จึงมีค่าน้อย ส่งผลให้ค่าความเที่ยงมีค่าลดลง เพราะว่าค่าความเที่ยงนั้น ประมาณค่ามาจากความแปรปรวนของคะแนนที่ได้จากผลสอบ โดยตามทฤษฎีแล้ว ข้อสอบ หรือ ข้อคำถามที่ดี จะต้องมีระดับความยากง่ายเป็น 0.50 เพราะจะเป็นข้อที่ทำให้มีค่าอำนาจจำแนกที่ดี และ มีค่าความเที่ยงสูง (เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี, 2552) ข้อสอบ หรือ ข้อคำถาม แต่ละประเภท จะมีระดับความยากง่ายที่เหมาะสมแตกต่างกัน แต่ที่มักนิยมใช้กันทั่วไป จะยอมรับระดับค่าความยากง่ายระหว่าง 0.20 ถึง 0.80 และ ตามข้อค้นพบของลอร์ด (Lord, 1974 อ้างถึงใน เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี, 2552) พบว่า ความเที่ยงของแบบสอบจะมีค่าสูง เมื่อระดับความยากของข้อสอบ หรือ ข้อคำถามอยู่ในช่วง 0.50 ถึง 0.75

ค่าอำนาจจำแนก (Power of discrimination) เป็นอีกหนึ่งค่าที่มีอิทธิพลต่อค่าความเที่ยงของแบบสอบ เพราะข้อสอบ หรือ ข้อคำถามที่ดี จะต้องสามารถจำแนกคนที่มีความรู้จริงออกจากคนที่ไม่มีความรู้ ถ้าค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ หรือ ข้อคำถามมีค่าสูง คะแนนรวมจะมีการกระจายมาก ส่งผลให้ค่าความเที่ยงสูง ในทางตรงข้าม ข้อสอบ หรือ ข้อคำถาม ที่มีค่าอำนาจจำแนกต่ำ คะแนนรวมจะไม่ค่อยมีการกระจาย ส่งผลให้ค่าความเที่ยงต่ำ ดังนั้นการสร้างข้อสอบ หรือข้อคำถามที่มีความยากง่ายปานกลาง ทำให้มีค่าอำนาจจำแนก และ ค่าประมาณความเที่ยงของ แบบสอบมีค่าสูงทั้งสองค่า (เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี, 2552; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556)

ในด้านเครื่องมือวัดทางจิตวิทยา เช่น มาตราวัด (Scale) ลักษณะของข้อคำถามที่ใช้คำในทิศทางลบ (Negatively worded) หรือ ข้อคำถามที่ต้องมีการกลับคะแนน (Reverse scored items) ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าความเที่ยง การไม่กลับคะแนนของข้อคำถามทางลบข้อใดข้อหนึ่ง จะทำให้ข้อคำถามดังกล่าวมีความสัมพันธ์ในทิศทางลบ และ ส่งผลต่อความสัมพันธ์ของข้อคำถามอื่นในมาตรวัด ทำให้การประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค มีค่าประมาณความเที่ยงต่ำกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Underestimation) เพราะข้อตกลงเบื้องต้นของค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าว คือ ความสัมพันธ์ระหว่างข้อ (Inter-item correlation) ทั้งหมด จะต้องมีความสัมพันธ์ในทิศทางบวก (McCoach, Gable, & Madura, 2013)

นอกจากนี้ความเหมือนกันในเนื้อหาของข้อคำถาม (Homogeneity of Item Content) หรือเรียกว่า ข้อคำถามมีความเป็นเอกพันธ์กัน เป็นอีกหนึ่งลักษณะที่มีอิทธิพลต่อค่าความเที่ยงของเครื่องมือวัด ถ้าข้อคำถามที่อยู่ในมาตรวัดมีความเหมือนกันมากในด้านเนื้อหา มีแนวโน้มที่ ความสัมพันธ์ระหว่างข้อคำถามกับมาตรวัด และ ความสัมพันธ์ระหว่างข้อจะมีค่าสูง ส่งผลให้ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคมีค่าสูงด้วย (McCoach et al., 2013) จึงสามารถสรุป ได้ว่า ลักษณะของข้อสอบ หรือ ลักษณะของข้อคำถาม ที่มีอิทธิพลต่อการประมาณค่าความเที่ยง ได้แก่ ค่าระดับความยากง่าย (Level of difficulty), ค่าอำนาจจำแนก (Power of discrimination), ข้อคำถามที่ต้องมีการกลับคะแนน (Reverse scored items) และ ความเป็นเอกพันธ์ของเนื้อหาในข้อคำถาม (Homogeneity of item content)

(4) จำนวนของข้อสอบ หรือ องค์ประกอบ

จำนวนของข้อสอบ หรือ ข้อคำถาม จะเป็นตัวบ่งชี้ความยาวของแบบสอบ แบบสอบที่มี ความยาว จะเป็นแบบสอบที่มีข้อสอบ หรือ ข้อคำถามจำนวนมาก ส่งผลให้สามารถจะวัดคุณลักษณะ ที่ต้องการวัดได้เป็นอย่างดี แบบสอบที่มีจำนวนข้อสอบ หรือ ข้อคำถามที่น้อยเกินไป อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการวัด อันเกิดจากโอกาสในการเดาของผู้สอบ (เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี, 2552) ดังนั้นการเพิ่มความยาวของแบบสอบ จะช่วยลดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน และเพิ่มความแปรปรวนของคะแนนที่แท้จริง (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) เนื่องจากผู้สอบจะสามารถแสดงออกถึงความสามารถที่แท้จริงได้อย่างเต็มที่ได้มากขึ้น สอดคล้องกับหลักในการสร้างแบบสอบที่ว่า การสร้างข้อสอบในการวัดความสามารถของผู้เรียน ในแต่ละจุดประสงค์ควรสร้างให้มีจำนวนข้อไม่ต่ำกว่า 2 ข้อ เพราะถ้าจุดประสงค์หนึ่งมีข้อสอบเพียงหนึ่งข้อ ทำให้ผู้สอบมีโอกาสเดาคำตอบของข้อสอบข้อนั้นถูกหรือตรงกันข้าม อาจตอบข้อนั้นผิด เนื่องจากผู้สอบมีโอกาสในการแสดงออกถึงความสามารถที่แท้จริงน้อย ย่อมทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการวัด (เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี, 2552) จึงสามารถสรุปได้ว่า ความยาวของแบบสอบ มีอิทธิพลต่อค่าความเที่ยง เมื่อเพิ่มความยาวของแบบสอบ จะช่วยเพิ่มค่าความเที่ยงของแบบสอบ ตรงกันข้าม เมื่อลดความยาวของแบบสอบ จะส่งผลให้ค่าความเที่ยงลดลง ดังนั้นการตัดข้อสอบออกจากแบบสอบ ควรพิจารณาอย่างรอบคอบเพื่อไม่ให้มีค่าความเที่ยงน้อยเกิน (ศิริชัย, กาญจนวาสี, 2556)

การวัดในด้านจิตวิทยา และ ด้านพฤติกรรมศาสตร์ จำนวนขององค์ประกอบ เป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณา เนื่องจากคุณลักษณะที่ต้องการวัดในด้านดังกล่าว เป็นคุณลักษณะภายในที่ไม่สามารถสังเกตได้โดยตรง เช่น เจตคติ,ค่านิยม, บุคลิกภาพ และ ความสามารถ เป็นต้น จึงต้องใช้การวัดทางอ้อม นอกจากนี้โครงสร้างของการวัดในด้านจิตวิทยา และ ด้านพฤติกรรมศาสตร์ โดยทั่วไปประกอบด้วย ฟาเซตของจำนวนข้อ (Facet) หรือ องค์ประกอบ (Factor) หรือ ตัวบ่งชี้ (Indicator) ที่มีจำนวนมาก เช่น การวัดการรู้คุณค่าในตนเอง (Self-esteem) ที่วัดจากข้อคำถาม (Item) หรือ ตัวบ่งชี้ (Indicator) ที่มีจำนวนมาก (Widhiarso, 2007) ดังนั้นการวัดด้านจิตวิทยา และ ด้านพฤติกรรมศาสตร์ จึงเป็นเรื่องยากที่จะวัดเพียงองค์ประกอบเดียวเท่านั้น โดยจำนวนขององค์ประกอบที่แตกต่างกัน จะทำให้ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้มีค่าแตกต่างกัน ภายใต้การควบคุมปัจจัยอื่นให้คงที่ เช่น วิธีประมาณค่าความเที่ยง ลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง และ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Osburn (2000) ที่พบว่า การประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ภายใต้ความเป็นคู่ขนาน (Parallel) และ ไม่มีการจัดกลุ่มองค์ประกอบ ข้อมูลที่มี 4 องค์ประกอบ จะมีค่าความเที่ยงประมาณ 0.80 และ มีค่าความเที่ยงสูงกว่าข้อมูลที่มี 8 องค์ประกอบ ที่มีค่าความเที่ยงประมาณ 0.73 จึงสามารถสรุปได้ว่า จำนวนองค์ประกอบที่มีความเหมาะสมกับคุณลักษณะของการวัด จะช่วยให้ได้ผลการประมาณค่าความเที่ยงที่ดี

(5) ความสัมพันธ์ระหว่างข้อ

ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมีอิทธิพลต่อค่าประมาณความเที่ยง แบบสอบใดที่ประกอบด้วยข้อสอบที่มีความสัมพันธ์กันสูง เป็นการบ่งบอกว่าเนื้อหามีความสัมพันธ์กัน (เอกพันธ์) ทำให้ค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนข้อสอบสูง จะส่งผลให้ค่าประมาณความเที่ยงของแบบสอบสูง (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) เช่นเดียวกับ ข้อคำถามในมาตรวัด ถ้าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมีค่าน้อย หรือ มีค่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อเข้าใกล้ศูนย์ บ่งบอกว่าการตอบของผู้ตอบในแต่ละข้อไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันอย่างแท้จริง แต่หากข้อคำถามมีความสัมพันธ์ระหว่างข้อสูงมากกว่า 0.80 จะไม่เป็นสิ่งที่ดี เพราะข้อคำถามมีแนวโน้มที่จะซ้ำซ้อน ดังนั้นเครื่องมือวัดทางจิตวิทยาควรจะมีค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่างข้ออยู่ในช่วง 0.30 ถึง 0.60 ข้อคำถามที่มีความสัมพันธ์ระหว่างข้อสูงพอเหมาะ จะทำให้ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าความเที่ยงที่แท้จริง (True reliability) นอกจากนี้เครื่องมือวัดทางจิตวิทยา ควรจะมีค่า

ความแปรปรวน และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสัมพันธ์ระหว่างข้อคำถามต่ำกว่า 0.01 (McCoach et al., 2013) จึงสามารถสรุปได้ว่า ความสัมพันธ์รายข้อที่เหมาะสม จะส่งผลให้ค่าความเที่ยงที่ได้มีค่าสูง

(6) ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ หรือ มิติ

การวิจัยทางสังคมศาสตร์ และ ทางพฤติกรรมศาสตร์ นักวิจัยต้องการศึกษาคุณลักษณะภายในตัวบุคคล ซึ่งเป็นตัวแปรแฝงที่ไม่สามารถสังเกตได้โดยตรง ต้องศึกษาคุณลักษณะดังกล่าวจากพฤติกรรมการแสดงออกจากของบุคคล โดยการวัด หรือ การสังเกตพฤติกรรมเหล่านั้นแทนคุณลักษณะที่ต้องการศึกษา ดังนั้นในทางปฏิบัติ นักวิจัยจะต้องเก็บรวบรวมข้อมูลจากตัวแปรสังเกตได้หลายตัวแปร และ ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) มาวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อช่วยให้ได้องค์ประกอบที่เหมาะสมกับคุณลักษณะที่ต้องการวัด และ ช่วยระบุองค์ประกอบร่วม ที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542) เมื่อผลการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) สะท้อนให้เห็นว่า คุณลักษณะที่ต้องการวัดประกอบด้วยมิติมากกว่าหนึ่งมิติ และ แต่ละคุณลักษณะมีความสัมพันธ์กัน (ชัยวิชิต เชียรชนะ, 2552; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2555) การวัดดังกล่าว จะเป็นการวัดแบบพหุมิติ (Multidimensional measurement)

จากคุณลักษณะของการวัดแบบพหุมิติที่กล่าวมาข้างต้น การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ หรือ ความสัมพันธ์ระหว่างมิติ เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ในเชิงทฤษฎีปัจจัยดังกล่าว จะมีอิทธิพลทั้งต่อค่าความเที่ยง และ ประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยง เนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นพหุมิติของการวัดโดยตรงกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Osburn (2000) และ Kamata et al. (2003) ที่พบว่า ปัจจัยความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ หรือ ความสัมพันธ์ระหว่างมิติ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการประมาณความเที่ยงสำหรับการวัดแบบพหุมิติ เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ หรือ ความสัมพันธ์ระหว่างมิติ อยู่ในระดับสูง จะส่งผลให้ค่าประมาณความเที่ยงมีค่าสูง และ ประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงลดลง แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ หรือ ความสัมพันธ์ระหว่างมิติ ต้องสูงระดับเท่าใด จึงจะทำให้ได้ค่าความเที่ยงที่เหมาะสม

(7) ระยะเวลาที่ใช้ในการทำ

ระยะเวลาที่ใช้ในการทำแบบสอบมีอิทธิพลต่อค่าความเที่ยง เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในทำแบบสอบมีผลต่อคะแนนสอบของผู้สอบ โดยอัตราเร็วในการทำแบบสอบ จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่กำหนดให้ใช้ ถ้าระยะเวลามีจำนวนจำกัดมาก หรือ มีระยะเวลาในการทำน้อย อัตราเร็วในการทำแบบสอบย่อมมีมาก จึงส่งผลต่อคะแนนจริง และ คะแนนสอบที่ได้ เพราะเมื่อผู้สอบทำแบบสอบไม่ทันเวลาย่อมเกิดโอกาสในการเดาคำตอบของผู้สอบสูง ทำให้การกระจายของคะแนนมีน้อย และ ความแปรปรวนของคะแนนที่สังเกตได้ก็จะมีค่าน้อยตาม ส่งผลให้ค่าประมาณความเที่ยงมีค่าต่ำเช่นเดียวกัน ถ้าเวลาในการทำข้อสอบมีมากไป ผู้สอบที่มีความสามารถสูงต่ำต่างกัน จะมีโอกาสตอบได้คะแนนสอดคล้องกันมากขึ้น ทำให้การกระจายของคะแนนมีน้อย และ ความแปรปรวนของคะแนนที่สังเกตได้ก็มีน้อยตาม ส่งผลให้ค่าประมาณความเที่ยงมีค่าต่ำเหมือนกัน (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556)

ในส่วนของมาตรวัด (Scale) การกำหนดระยะเวลาที่จำกัด หรือ ความไม่เพียงพอของเวลาจะทำให้ค่าความเที่ยงลดลง เนื่องจากผู้ตอบเกิดความตื่นเต้น และ เกิดความสะเพร่าในการตอบทำให้ค่าความเที่ยงของมาตรวัดลดลง ดังนั้นการตอบที่สะเพร่า จะทำให้ค่าความเที่ยงของมาตรวัดเข้าใกล้ศูนย์ (Carey 1988; Traub 1994; Oncu 1994; Turgut 1993 cited in Ercan et al., 2007) หรือกล่าวว่า เป็นมาตรวัดที่ไม่มีความเที่ยง แต่ถ้าระยะเวลาที่ใช้ในการตอบมีความเพียงพอ จะทำให้ผู้ตอบสามารถตอบข้อคำถามได้ครบถ้วน (Oncu, 1994 cited in Ercan, Yazici, Ocakoglu, Sigirli & Kan, 2007) จึงสรุปได้ว่าระยะเวลาที่เหมาะสมส่งผลให้การประมาณค่าความเที่ยงมีประสิทธิภาพ

(8) วิธีที่ใช้ในการประมาณค่า

วิธีที่ใช้ในการประมาณค่าความเที่ยง มีอิทธิพลต่อค่าความเที่ยง วิธีประมาณค่าความเที่ยงของเครื่องมือวัดมีหลายวิธี แต่ละวิธีมีความเหมาะสมกับเครื่องมือวัดที่มีลักษณะ และ จุดมุ่งหมายแตกต่างกันไป ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับข้อจำกัด ข้อตกลงเบื้องต้น และ เงื่อนไขของวิธีประมาณค่าความเที่ยงในแต่ละวิธี จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง เพราะถ้าหากเครื่องมือวัดไม่เป็นไปตามข้อจำกัด ข้อตกลงเบื้อง และ เงื่อนไขของวิธีที่เลือกใช้ จะส่งผลให้ค่าความเที่ยงที่ได้ เป็นค่าที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าความเที่ยงที่แท้จริง (True reliability) เช่น ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค เหมาะกับการประมาณค่าความเที่ยง สำหรับเครื่องมือวัดที่มุ่งวัดเพียงคุณลักษณะเดียว (One-trait) หรือเรียกว่า การวัดแบบเอกมิติ (Unidimensional measurement) ดังนั้นการประมาณค่าความเที่ยงสำหรับเครื่องมือวัดที่วัดตั้งแต่ 2 คุณลักษณะขึ้นไป หรือเรียกว่า การวัดแบบพหุมิติ (Multidimensional measurement) จะให้ค่าประมาณความเที่ยงที่ต่ำกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Underestimation) (Cronbach,1951) ส่วนการประมาณค่าความเที่ยงโดยใช้วิธีแบ่งครึ่ง (Split-half method) จะให้ค่า

ความเที่ยงที่สูงเสมอ และ จะมีค่าประมาณความเที่ยงสูงมาก เมื่อใช้ในแบบสอบประเภทความเร็ว (Speed test) (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556)

ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการประมาณค่าที่เหมือนกัน แต่อยู่ภายใต้เงื่อนไข หรือ สถานการณ์ในการวัดที่แตกต่างกัน ย่อมให้ผลการประมาณค่าความเที่ยงที่ต่างกัน เช่นเดียวกับ การเลือกใช้วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่ต่างกัน แต่อยู่ภายใต้เงื่อนไข หรือ ภายใต้สถานการณ์วัดเดียวกัน ก็ย่อมให้ผลการประมาณค่าความเที่ยงที่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Osburn (2000) ที่พบว่า การประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค และ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ภายใต้ข้อมูลแบบคู่ขนาน (Parallel) และ ข้อมูลแบบสมมูลกัน (Tau-equivalent) ให้ผลการประมาณค่าความเที่ยงที่แตกต่างกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด จะมีค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่า จึงสามารถสรุปได้ว่า วิธีที่ใช้ในการประมาณค่าความเที่ยง จะส่งผลต่อการประมาณค่าความเที่ยง

(9) มิติของการวัด (Dimension)

มิติของการวัด เป็นการอธิบายจำนวนของตัวแปรที่ถูกนำเข้าไป เพื่อให้มีความสัมพันธ์ระหว่างการตอบข้อคำถามในชุดของข้อมูลโดยเฉพาะ (Camilli, et al., 1977 cited in Widhiraso, 2007) ถ้ามีจำนวนตัวแปรแฝงมากกว่า 2 ตัวแปร จะเรียกว่า การวัดแบบพหุมิติ (Multidimensional measurement) ปัจจุบันสามารถตรวจสอบมิติแฝงด้วยเทคนิคเฉพาะ ตลอดจนการใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ที่ได้รับการพัฒนามาเพื่อทำการตรวจสอบมิติแฝง

การตรวจสอบว่าเครื่องมือวัดที่ต้องการประมาณค่าความเที่ยงมีมิติการวัดเป็นแบบใดเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการประมาณค่าความเที่ยงบางค่า มีเงื่อนไขว่าเหมาะสำหรับการวัดแบบเอกมิติ (Unidimensional measurement) หรือ เป็นการวัดที่มุ่งวัดเพียงคุณลักษณะเดียว (One-trait) เช่น ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค) (Green et al., 1977 cited in Widhiraso, 2007)

ปัจจุบันนักวิจัยบางส่วนเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค สำหรับเครื่องมือวัดตั้งแต่ 2 มิติขึ้นไป ทำให้ค่าความเที่ยงที่ได้ เป็นค่าที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าความเที่ยงที่แท้จริง (True-reliability) เช่น การวัดการรับรู้ความสามารถของตนเอง (Self-efficacy) สำหรับนักกีฬาของวิทยาลัยประกอบด้วย มิติของการรับรู้ความสามารถของตนเอง (Self-efficacy) จำนวน 3 มิติ คือ ความแข็งแรง, วิชาการ และ การใช้ชีวิตทางสังคม พบว่า ผลการค่าประมาณความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค สำหรับคะแนนรวมของมาตรวัด มีค่าประมาณความเที่ยงที่ต่ำกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Underestimation) (Czerniack, 2002 cited in Kamata et al., 2003) ซึ่งสอดคล้องกับ

ผลการวิจัยของ Widhiraso (2007) ที่พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค เป็นวิธีที่ให้ค่าประมาณความเที่ยงได้ต่ำกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Underestimation) ในโมเดลการวัดแบบพหุมิติที่เป็นแบบคู่ขนาน (Multidimensional parallel model), โมเดลการวัดแบบพหุมิติที่เป็นแบบสมมูลกัน (Multidimensional tau-equivalent model) และ โมเดลการวัดแบบพหุมิติที่เป็นแบบคะแนนจริงสหสัมพันธ์ (Multidimensional congeneric model) จึงสามารถสรุปได้ว่า มิติของการวัดมีอิทธิพลต่อค่าความเที่ยง

(10) โมเดลของการวัด (Model)

โมเดลของการวัด (Model) มีอิทธิพลต่อค่าความเที่ยง การเลือกใช้วิธีประมาณค่าความเที่ยงเดียวกัน ภายใต้โมเดลของการวัดที่แตกต่างกัน จะให้ผลการประมาณค่าความเที่ยงแตกต่างกัน เช่น การประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค จะให้ผลตรงกับค่าความเที่ยงที่แท้จริง (True reliability) เมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขของความเป็นคู่ขนาน (Parallel) หรือ ความทัดเทียมกัน (Tau-equivalent) (Lord & Novic, 1968 cited in Kamata et al., 2003; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556)

Osburn (2000) พบว่า เมื่อประมาณค่าความเที่ยงโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงต่างๆ โครงสร้างแบบคู่ขนาน (Parallel) จะให้ผลการประมาณค่าความเที่ยงที่ใกล้เคียงกับค่าความเที่ยงที่แท้จริงมากที่สุด รองลงมา คือ โครงสร้างแบบสมมูล (Tau-equivalent) ส่วนโครงสร้างแบบคะแนนจริงสหสัมพันธ์ (Congeneric) ให้ผลการประมาณค่าที่น้อยกว่าทั้งสองโครงสร้าง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Widhiraso (2007) ที่พบว่า เมื่อประมาณค่าความเที่ยงโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ โมเดลการวัดแบบพหุมิติที่เป็นแบบคู่ขนาน (Multidimensional parallel model) และ โมเดลการวัดแบบพหุมิติที่เป็นแบบความสมมูลที่แท้จริง (Multidimensional tau-equivalent model) จะให้ผลการประมาณค่าความเที่ยงที่ใกล้เคียงกัน ในแต่ละค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง ส่วนโมเดลการวัดแบบพหุมิติที่เป็นแบบคะแนนจริงสหสัมพันธ์ (Multidimensional congeneric model) จะให้ผลการประมาณค่าความเที่ยงที่แตกต่างจากทั้งสองโมเดลเพียงเล็กน้อยในแต่ละค่าสัมประสิทธิ์ จึงสามารถสรุปได้ว่า เงื่อนไขของโมเดลการวัดแต่ละโมเดลมีผลต่อการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง

(11) การให้คะแนนของผู้ตรวจ หรือ ผู้ประเมิน

การให้คะแนนของผู้ตรวจ หรือ ผู้ประเมิน มีอิทธิพลต่อค่าประมาณความเที่ยง เนื่องจากบางสถานการณ์ จำเป็นต้องใช้ผู้ตรวจ หรือ ใช้ผู้ประเมินตั้งแต่ 2 คน ขึ้นไป ความเป็นปรนัยในการให้คะแนน จึงมีความสำคัญต่อคะแนนที่แท้จริงของผู้สอบ หรือ ผู้ถูกประเมิน เพราะถ้าคะแนนที่ได้จากการวัด ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากการให้คะแนนของบุคคล หรือ ช่วงระยะเวลาของการให้คะแนน นั่นหมายความว่า ความเที่ยงของการให้คะแนนระหว่างมาตรวัดจะมีค่าสูง และ ส่งผลให้ค่าประมาณความเที่ยงของมาตรวัดมีค่าสูงตาม ดังนั้นค่าประมาณความเที่ยงของมาตรวัด จึงขึ้นอยู่กับความเป็นปรนัยของการให้คะแนน (Oncu 1994; Tekin 1977 cited in Kamata et al., 2003) ดังนั้น ขั้นตอนของการให้คะแนน เป็นสิ่งสำคัญในมาตรวัด (Scales) (Gay, 1985 cited in Kamata et al., 2003) เช่นเดียวกับ การให้คะแนนในแบบสอบอัตนัย ข้อสอบจะต้องมีคุณสมบัติของความเป็นปรนัย คือ ไม่ว่าผู้ใดจะตรวจก็ได้คะแนนเท่ากัน (กังวล เทียนกัณฑ์เทศน์, 2540) การเพิ่มความเป็นปรนัยในการตรวจให้คะแนนในการตรวจ จะทำให้ค่าความเที่ยงสูงขึ้น ซึ่งทำได้โดยการเพิ่มความชัดเจนในการตรวจให้คะแนน มีเกณฑ์ในการให้คะแนนที่แน่นอนและชัดเจนว่าการตอบถูกอย่างไรจะให้คะแนน เพื่อให้ผู้มาตรวจให้คะแนน หรือ ผู้ประเมิน ให้คะแนนได้สอดคล้องกันกัน (สาขาวิชาการศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2545)

ในส่วนของการประเมินทักษะการปฏิบัติ โดยทั่วไปแล้วจะนิยมใช้ผู้ประเมินที่มากกว่า 1 คน เนื่องจากทักษะการปฏิบัติ เป็นทักษะที่ต้องประเมินจากการสังเกต ซึ่งการสังเกตเพียงคนใดคนหนึ่งอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการประเมิน แต่อย่างไรก็ตาม การประเมินหลายคน อาจจะทำให้เกิดความลำเอียงจากผู้ประเมินได้ง่ายเช่นกัน และ ถ้าหากปราศจากแนวทาง หรือ เกณฑ์การให้คะแนนที่ชัดเจน ความไม่เป็นปรนัยในการให้คะแนนก็จะมีมากขึ้น ส่งผลให้ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้มีค่าต่ำ วิธีการแก้ปัญหาด้านความลำเอียงจากผู้ประเมิน ทำได้โดยตรวจสอบผลการประเมินของผู้ประเมินเทียบกับผู้ประเมินอิสระคนอื่น หรือ การฝึกอบรมวิธีการตรวจให้คะแนนอย่างเหมาะสมส่วนวิธีการแก้ไขปัญหาในด้านเกณฑ์การให้คะแนน ทำได้โดยวิธีการพัฒนาเกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบิค (Rubric) หรือ มาตรประมาณค่า (Rating Scale) ที่มีการระบุคุณภาพของทักษะการปฏิบัติเป็นระดับอย่างชัดเจน (กมลวรรณ ตังธนกานนท์, 2557) จึงสรุปได้ว่าการให้คะแนนของผู้ตรวจ หรือ ผู้ประเมินที่มีความเป็นปรนัยในการให้คะแนนจะส่งผลให้ค่าความเที่ยงมีค่าสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ

Osburn (2000) ทำการวิจัยในหัวข้อ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค และความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบความสอดคล้องภายใน (Cronbach's alpha coefficient and Related Internal consistency reliability coefficients) มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค และ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงอื่นจำนวน 10 ค่าสัมประสิทธิ์ สำหรับการประมาณค่าความเที่ยงของการวัด ด้วยวิธีการจำลองข้อมูล (Simulation data)

ข้อมูลจำลองที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ รูปแบบแรก คือ ข้อมูลจำลองที่มี 4 องค์ประกอบ และ มีความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบอยู่ในระดับสูงมาก และ รูปแบบที่สอง คือ ข้อมูลจำลองที่มี 8 องค์ประกอบ และ มีความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบอยู่ในระดับต่ำมาก รูปแบบของข้อมูลจำลองที่ถูกสร้างขึ้นในแต่ละรูปแบบ มีลักษณะของข้อมูลที่แตกต่างกัน 4 ลักษณะ ได้แก่ ลักษณะที่หนึ่ง คือ ข้อมูลที่มีเพียงหนึ่งองค์ประกอบ มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบที่สมมูลกัน และ มีความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนที่สมมูลกัน หรือ เป็นข้อมูลที่มีองค์ประกอบแบบคู่ขนาน (Parallel components) ลักษณะที่สอง คือ ข้อมูลที่มีเพียงหนึ่งองค์ประกอบ และ มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบที่สมมูลกัน แต่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนที่ไม่สมมูลกัน หรือเรียกว่า เป็นข้อมูลที่มีองค์ประกอบแบบความสมมูลที่แท้จริง (Tau-equivalent component) ลักษณะที่สาม คือ ข้อมูลที่มีเพียงหนึ่งองค์ประกอบ มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบที่ไม่สมมูลกัน และ มีความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนที่ไม่สมมูลกัน หรือเรียกว่า เป็นข้อมูลที่มีองค์ประกอบแบบสหสัมพันธ์คะแนนจริงที่สมมูลกัน (Congeneric-equivalent component) และ ลักษณะสุดท้าย คือ ข้อมูลที่มีจำนวนสององค์ประกอบ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบที่แตกต่างกัน หรือเรียกว่า เป็นข้อมูลที่ไม่มีความเป็นเอกพันธ์กัน (Heterogeneous) นอกจากนี้ยังแบ่งรูปแบบของข้อมูลจำลองไว้สำหรับการตรวจสอบ 3 รูปแบบ รูปแบบที่หนึ่ง คือ ข้อมูลแบบไม่ถูกจัดกลุ่ม เช่น การทดสอบที่ประกอบด้วยข้อคำถามจำนวน n ข้อ รูปแบบที่สอง คือ ข้อมูลที่ถูกจัดกลุ่ม ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชุดย่อย เช่น การทดสอบย่อย 2 การทดสอบของการทดสอบที่มีขนาดใหญ่กว่า และ รูปแบบที่สามคือ ข้อมูลที่ถูกจัดกลุ่ม ซึ่งรูปแบบที่สามสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชุดย่อย

ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงที่เลือกใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ มีจำนวน 11 ค่าสัมประสิทธิ์ คือ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient), ค่าสัมประสิทธิ์ของ Raju (Raju's coefficient), ค่าสัมประสิทธิ์ของ Angoff และ Feldt (Angoff-Feldt coefficient), ค่าสัมประสิทธิ์ของ Feldt (Feldt's Coefficient), ค่าสัมประสิทธิ์ของ Feldt และ Gilmer (Feldt- Gilmer coefficient), ค่าสัมประสิทธิ์ Lambda 2, ค่าสัมประสิทธิ์ของ Kristof (Kristof's coefficient), ค่าสัมประสิทธิ์ Maximized Lambda 4, ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (Stratified alpha coefficient), ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบมาตรฐาน (Standardized alpha coefficient) และ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (Maximal reliability coefficient) สำหรับประมาณค่าความเที่ยงในงานวิจัย

ผลการวิจัย พบว่า การจำลองข้อมูลที่มี 4 องค์ประกอบ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น มีค่าประมาณความเที่ยงเท่ากับ หรือ ใกล้เคียงกับค่าความเที่ยงที่แท้จริง, ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด มีค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Overestimation) เพียงเล็กน้อยในทุกเงื่อนไข และ ค่า Maximized lambda 4 มีค่าประมาณความเที่ยงเท่ากับ หรือ ใกล้เคียงกับค่าความเที่ยงที่แท้จริงในการจำลองทั้งหมด ส่วนการจำลองข้อมูลที่มี 8 องค์ประกอบ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น มีค่าประมาณความเที่ยงที่เท่ากับ หรือ ใกล้เคียงกับค่าความเที่ยงที่แท้จริง, ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด มีค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Overestimation) เพียงเล็กน้อย และ ค่า Maximized lambda 4 มีค่าประมาณความเที่ยงเท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่าความเที่ยงที่แท้จริงในการจำลองทั้งหมด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น, ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่า Maximized lambda4 เป็นวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีประสิทธิภาพมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์อื่น

Kamata et al. (2003) ทำการวิจัยในหัวข้อ การประมาณค่าความเที่ยงสำหรับคะแนนของมาตรวัดเชิงองค์ประกอบแบบพหุมิติ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีประมาณค่าความเที่ยง 3 วิธี คือ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (Stratified alpha coefficient) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (Maximal reliability coefficient) และ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (Multidimensional omega coefficient) ภายใต้เงื่อนไขโครงสร้างขององค์ประกอบแบบพหุมิติที่แตกต่างกัน 5 เงื่อนไข

ผลการวิจัย พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 3 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ มีประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ในทุกเงื่อนไข ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงสูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมด ก็มีประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงที่แตกต่างกันเล็กน้อย

Zinbarg et al. (2005) ได้ทำการวิจัยในหัวข้อ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แต่ละค่า คือ Cronbach's α Revelle's β Mcdonald's ω Mcdonald's ω_h และ ค่าความเที่ยงที่แท้จริง (ρ) ในการประมาณค่าความเที่ยง เพื่อจะเปรียบเทียบผลการประมาณค่าความเที่ยงระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ 5 ค่าประสิทธิ์ โดยทำการศึกษาในกรณีที่แตกต่างกัน 4 กรณี กรณีแรก เป็นการศึกษาการวัดแบบพหุมิติ และ มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบทั่วไปที่ไม่สมมูลกัน กรณีที่สอง เป็นการศึกษาการวัดแบบพหุมิติ และ มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบทั่วไปสมมูลกัน กรณีที่สาม เป็นการศึกษาการวัดที่มีองค์ประกอบเดี่ยว และ มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบไม่สมมูลกัน และ กรณีสุดท้าย เป็นการศึกษาการวัดที่มีองค์ประกอบเดี่ยว และ มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบสมมูลกัน หรือ มีความสมมูลของคะแนนที่แท้จริง (Essential tau equivalence)

ผลการวิจัยพบว่า ในกรณีแรกค่าสัมประสิทธิ์ β มากกว่า α ซึ่ง α มากกว่า ω และ ω มากกว่า หรือ เท่ากับ ρ แต่น้อยกว่า ω_h ในกรณีที่สองค่าสัมประสิทธิ์ β เท่ากับ ω_h แต่ ω_h มากกว่า α ซึ่ง α น้อยกว่า ω และ ω น้อยกว่า หรือ เท่ากับ ρ ในกรณีที่สาม ค่าสัมประสิทธิ์ β น้อยกว่า α และ α น้อยกว่า ω_h ซึ่ง ω_h เท่ากับ ω แต่ ω น้อยกว่า หรือ เท่ากับ ρ และ ในกรณีสุดท้ายค่าสัมประสิทธิ์ทุกค่ามีค่าเท่ากัน ยกเว้น ρ ที่มีค่ามากกว่า หรือ เท่ากับ ω จากผลการประมาณค่าทั้ง 4 กรณี แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่าง α และ ω_h กับ ความสัมพันธ์ระหว่าง β และω_h ทั้งนี้ผลการประมาณค่าความเที่ยงจะขึ้นอยู่กับความเฉพาะเจาะจงของรูปแบบองค์ประกอบ

Widhiraso (2007) ได้ทำการวิจัยในหัวข้อ การประมาณค่าความเที่ยงสำหรับการวัดแบบพหุมิติ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความแม่นยำ ในการประมาณค่าความเที่ยงระหว่างวิธีประมาณค่าความเที่ยง 7 วิธี ภายใต้เงื่อนไขโครงสร้างขององค์ประกอบแบบพหุมิติแตกต่างกัน 3 เงื่อนไข ได้แก่ โครงสร้างแบบคู่ขนาน (Parallel) โครงสร้างแบบสมมูลที่แท้จริง (Tau-equivalent) และ โครงสร้างแบบคะแนนจริงสหสัมพันธ์ (Congeneric)

ผลการวิจัย พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) ให้ค่าประมาณความเที่ยงที่สูงเกินกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Overestimation) ทั้ง 3 เงื่อนไข จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค สำหรับการประมาณค่าความเที่ยงของคะแนนในมาตรวัดที่เป็นแบบพหุมิติ นอกจากนี้ยังพบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีประสิทธิภาพในการประมาณค่าความเที่ยงที่สูงมี 3 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (Stratified alpha coefficient) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบของ Mosier (Mosier's composite reliability coefficient) และ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงองค์ประกอบของ Wang (Wang's composite reliability coefficient) โดยการประมาณค่าความเที่ยงภายใต้ลักษณะโครงสร้างแบบคู่ขนาน (Parallel) และ ลักษณะโครงสร้างแบบสมมูลที่แท้จริง (Tau-equivalent) จะให้ผลการประมาณค่าความเที่ยงที่ใกล้เคียงกัน แต่ผลการประมาณค่าความเที่ยงที่ได้จากลักษณะโครงสร้างแบบคะแนนจริงสหสัมพันธ์ (Congeneric) จะให้ผลการประมาณค่าความเที่ยงแตกต่างจากสองโครงสร้างเล็กน้อย

วรรณวดี สุขแจ่ม (2554) ได้ทำการวิจัยในหัวข้อ การประมาณค่าความเที่ยงมาตรวัดหลายมิติ ที่ใช้วิธีการสกัดองค์ประกอบ และขนาดกลุ่มตัวอย่างต่างกัน วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษา และ เปรียบเทียบค่าความเที่ยงที่คำนวณด้วยสูตร Ω_w และ ω_{MD} ของมาตรวัดพฤติกรรมทางจิตวิทยาที่มีลักษณะโมเดลหลายมิติ ที่ใช้วิธีการสกัดองค์ประกอบต่างกัน 3 วิธี คือ วิธีการหาองค์ประกอบแกนสำคัญ วิธีความเป็นไปได้สูงสุด และ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด และ มีกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน 3 ขนาด คือ 100, 200 และ 500 คน โดยพิจารณาความเหมาะสมจากความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และ ค่าความลำเอียงทางสถิติ ของการประมาณค่าความเที่ยง ประกอบกับ ช่วงความเที่ยงที่ร้อยละ 95

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ คือ มาตรวัดบุคลิกภาพห้าองค์ประกอบสำคัญ คือ บุคลิกภาพหวั่นไหว, บุคลิกภาพแสดงตัว, บุคลิกภาพเปิดกว้าง, บุคลิกภาพอ่อนโยน และ บุคลิกภาพมีสติ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยมีรูปแบบคำถามแบบสองขั้ว จำนวนข้อคำถามทั้ง 30 ข้อ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย คือ นักศึกษาชั้นปีที่ 1 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ในกรุงเทพมหานคร ที่เป็นประชากรเทียมจำนวน 3,000 คน แล้วสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบใส่คืน เพื่อแบ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างขนาด 100,200 และ 500 คน ขนาดละ 30 คน

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ 1) ภายใต้กลุ่มตัวอย่างขนาดเดียวกัน การสกัดองค์ประกอบต่างวิธีจะให้ค่าความเที่ยงของมาตรวัดหลายมิติ เมื่อคำนวณจากสูตร $\boldsymbol{\Omega_w}$ และ $\boldsymbol{\omega_{MD}}$ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยมีค่าความเที่ยงที่แตกต่างกันมากที่สุดภายใต้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 100 คน 2) ภายใต้ขนาดกลุ่มตัวอย่างต่างกัน การสกัดองค์ประกอบวิธีเดียวกันจะให้ค่าความเที่ยงของมาตรวัดหลายมิติ เมื่อคำนวณจากสูตร $\boldsymbol{\Omega_w}$ และ $\boldsymbol{\omega_{MD}}$ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีค่าความเที่ยงแตกต่างกันมากที่สุดจากการสกัดองค์ประกอบวิธีความเป็นไปได้สูงสุด และ 3) ภายใต้ขนาดกลุ่มตัวอย่างต่างกัน การสกัดองค์ประกอบต่างวิธีจะให้ค่าความเที่ยงของมาตรวัดหลายมิติ เมื่อคำนวณจากสูตร $\boldsymbol{\Omega_w}$ และ $\boldsymbol{\omega_{MD}}$ มีมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และพบว่าการประมาณค่าความเที่ยงมาตรวัดหลายมิติให้เหมาะสมที่สุด เมื่อประชากรเทียมจำนวน 3000 คน เป็นตัวแทนจากกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ แบ่งเป็นขนาดกลุ่มตัวอย่าง 100 และ 200 คน ควรใช้การสกัดองค์ประกอบ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด หรือ วิธีการหาองค์ประกอบแกนสำคัญ แล้วคำนวณสูตร $\boldsymbol{\Omega_w}$ และ เมื่อแบ่งเป็นขนาดกลุ่มตัวอย่าง 500 คน ควรใช้การสกัดองค์ประกอบวิธีการหาองค์ประกอบแกนสำคัญ แล้วคำนวณสูตร $\boldsymbol{\Omega_w}$

ตอนที่ 2 แนวคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์พหุมิติ

การศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์แบบพหุมิติ แบ่งออกเป็น 5 ประเด็น ประเด็นที่หนึ่งจะกล่าวถึง ความหมายของมิติ (Dimension) เพื่อทำการความเข้าใจความหมายของคำดังกล่าวให้ชัดเจน ประเด็นที่สองเป็น แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับเอกมิติและพหุมิติ แสดงให้เห็นถึงความเป็นมา และความแตกต่างระหว่างความเป็นเอกมิติ (Unidimensional) และ ความเป็นพหุมิติ (Multidimensional) ประเด็นที่สามจะอธิบาย วิธีการตรวจสอบลักษณะความเป็นเอกมิติ และ ความเป็นพหุมิติ และนำเสนอวิธีการ เทคนิค และ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับตรวจสอบ จากการศึกษาเอกสาร และงานวิจัยผ่านมา ประเด็นที่สี่จะนำเสนอเกี่ยวกับ โมเดลการตอบสนองข้อสอบแบบพหุมิติ (MIRT) และประเด็นสุดท้ายกล่าวถึง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์พหุมิติ มีรายละเอียดในการศึกษาของแต่ละประเด็นดังต่อไปนี้

2.1 ความหมายของมิติของการวัด

มิติของการวัด (Dimension of measurement) หมายถึง จำนวนของตัวแปรแฝงที่นำเข้าไปให้มีความสัมพันธ์กับการตอบข้อคำถาม ในชุดของข้อมูลโดยทั่วไป (Camilli, et.al., 1995 cited in Widhiarso, 2007) ถ้าจำนวนของตัวแปรแฝงมีมากกว่า 2 ตัวแปร จะเรียกว่า การวัดแบบพหุมิติ (Multidimensional measurement)

2.2 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับเอกมิติและพหุมิติ

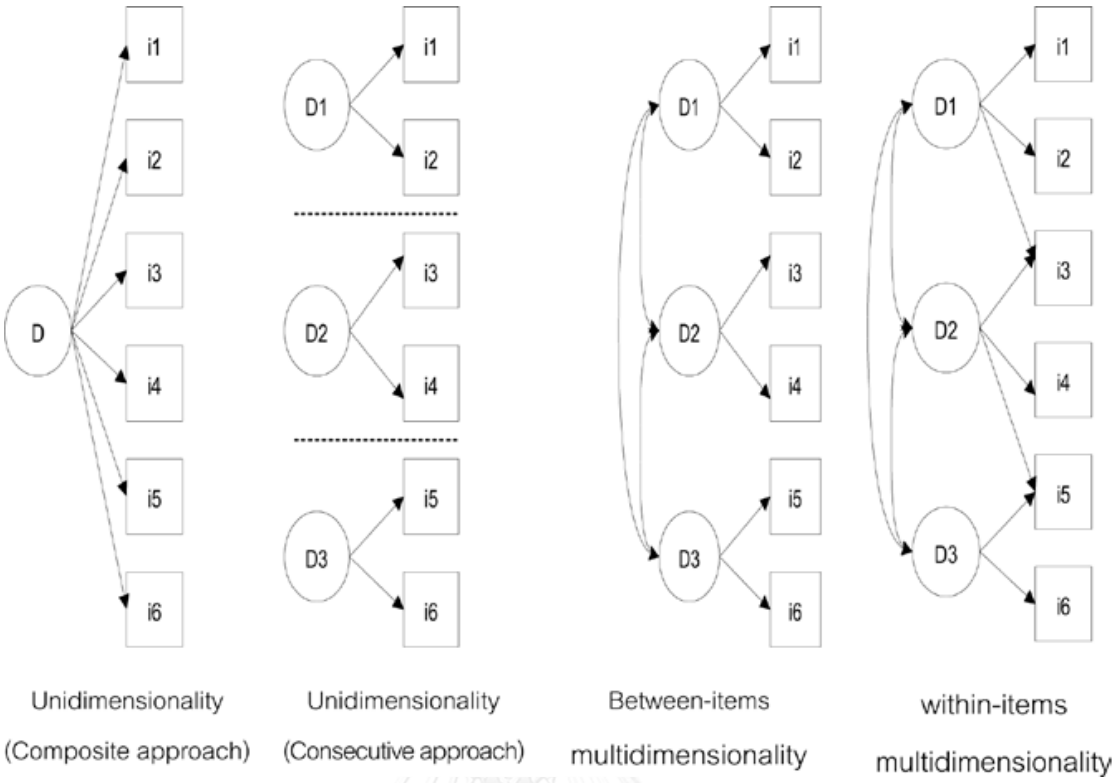
โดยทั่วไปนักวิจัยส่วนมาก แบ่งมิติของการวัดออกได้เป็น 2 ประเภท ประเภทแรกคือ การวัดที่มุ่งวัดเพียงคุณลักษณะเดียว หรือ เป็นการวัดที่มีลักษณะของความเป็นเอกมิติ ประเภทที่สอง คือ การวัดที่มุ่งวัดคุณลักษณะหลายคุณลักษณะ หรือ เป็นการวัดที่มีลักษณะของความเป็นพหุมิติ ซึ่งลักษณะที่บ่งบอกถึงความเป็นเอกมิติ หรือ ความเป็นพหุมิติ นอกจากจำนวนของคุณลักษณะที่ต้องการวัด การพิจารณาลักษณะอื่นประกอบ จะช่วยยืนยันประเภทของมิติของการวัดได้ถูกต้อง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับลักษณะเอกมิติ และ แนวคิดพื้นฐานของลักษณะพหุมิติ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) แนวคิดพื้นฐานของลักษณะเอกมิติ

McDonald (1999 อ้างถึงใน พัชรี จันทร์เพ็ง, 2550) ได้กล่าวว่า ความเป็นเอกมิติ (Unidimensional) หมายถึง ลักษณะของโครงสร้าง (Construct) หรือ คุณลักษณะภายในมีลักษณะเป็นองค์ประกอบเชิงเดี่ยว (Factorial simple) ที่จะวัดเพียงมิติเดียว ลักษณะของโมเดลพื้นฐานของความเป็นเอกมิติ มีข้อตกลงเบื้องต้นที่ว่า คุณลักษณะแฝงที่จะทำการวัด ต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) ความเป็นเอกมิติรวม (Composite approach) ข้อคำถามจะมีลักษณะที่วัดเพียงคุณลักษณะแฝงเดียว และ จะต้องมีคุณลักษณะแฝงเดียว และ 2) ความเป็นเอกมิติแยกตามมิติ (Consecutive approach) ข้อคำถามจะมีลักษณะมุ่งวัดคุณลักษณะแฝงเดียว แต่มีหลายคุณลักษณะแฝง แต่ละคุณลักษณะไม่มีความสัมพันธ์กัน (ชัยวิชิต เชียรชนะ, 2552; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2555)

(2) แนวคิดพื้นฐานของลักษณะเอกมิติ

McDonald (1999 อ้างถึงใน พัชรี จันทร์เพ็ง, 2550) ได้กล่าวว่า ความเป็นพหุมิติ (Multidimensional) หมายถึง ลักษณะของโครงสร้าง (Construct) หรือ คุณลักษณะภายในมีลักษณะเป็นองค์ประกอบเชิงซ้อน (Factorials complex) ภายใต้การวัดหลายมิติ ลักษณะของโมเดลพื้นฐานของลักษณะความเป็นพหุมิติ มีข้อตกลงเบื้องต้นที่ว่า คุณลักษณะแฝงที่จะทำการวัดต้องมีความสัมพันธ์กัน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) ความเป็นพหุมิติระหว่างข้อคำถาม (Between-items multidimensionality) มีลักษณะของข้อคำถามวัดคุณลักษณะแฝงเดียว มีหลายคุณลักษณะแฝง แต่ละคุณลักษณะแฝงมีความสัมพันธ์กัน และ 2) ความเป็นพหุมิติภายในข้อคำถาม (Within-items multidimensionality) มีลักษณะของข้อคำถามวัดหลายคุณลักษณะแฝง มีหลายคุณลักษณะแฝง แต่ละคุณลักษณะแฝงมีความสัมพันธ์กัน (ชัยวิชิต เชียรชนะ, 2552; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2555) ซึ่งแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับลักษณะเอกมิติและลักษณะพหุมิติ แสดงให้เห็นดังภาพต่อไปนี้



หมายเหตุ D หมายถึง มิติ หรือ องค์ประกอบ, i หมายถึง ข้อสอบ หรือ ข้อคำถาม

ภาพที่ 1 แนวคิดเอกมิติและพหุมิติ (ชัยวิชิต เชียรชนะ, 2552; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2555)

2.3 วิธีการตรวจสอบลักษณะความเป็นเอกมิติ และ พหุมิติเบื้องต้น

การตรวจสอบลักษณะความเป็นเอกมิติ และ พหุมิติเบื้องต้น ประกอบด้วย วิธีการตรวจสอบ 2 วิธี วิธีการแรก คือ การตรวจสอบแบบแนวนอน Reckase (1979 อ้างถึงใน ชัยวิชิต เชียรชนะ, 2552) ให้พิจารณาจากค่าความแปรปรวนของตัวประกอบแรกว่า สามารถอธิบายความแปรปรวนทั้งหมดได้อย่างน้อย 20% จึงจะบ่งบอกถึงความเป็นเอกมิติที่องค์ประกอบหลักตัวแรกมีลักษณะเด่นกว่าองค์ประกอบหลักตัวอื่นๆ (Essential unidimensionality) และ วิธีการสอง คือ การตรวจสอบแบบแนวตั้ง ต่อมา Morizot, Ainsworth และ Reise (2007 อ้างถึงใน ชัยวิชิต เชียรชนะ, 2552) เสนอให้พิจารณาความเป็นเอกมิติ (Unidimensionality) จากค่าอัตราส่วนระหว่างค่า Eigen องค์ประกอบแรกต่อค่า Eigen องค์ประกอบที่สอง หากมีค่ามากกว่า หรือ เท่ากับ 3.00 จะบ่งบอกถึงความเป็นเอกมิติ

นอกจากวิธีทั้งสองวิธีที่กล่าวมาข้างต้น การตรวจสอบมิติของแบบสอบยังสามารถทำได้โดยการตรวจสอบมิติแฝง จากการใช้เทคนิคเฉพาะในการตรวจสอบ ตลอดจนใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อทำการตรวจสอบมิติแฝง ซึ่งงานวิจัยของพัชรี จันทร์เพ็ง (2552) และ อนันดา สัณฑิติวณิชย์ (2556) นำเสนอโปรแกรมในการตรวจสอบจำนวนมิติดังนี้

โปรแกรม Testfact พัฒนาขึ้นโดย Wilson et al. (1991) เพื่อใช้ในกาวิเคราะห์ข้อสอบ และ ทดสอบความตรงของโครงสร้างด้วยค่า χ^2 (Chi-Square) สำหรับ Likelihood Ratio (G^2) ในการตรวจสอบมิติของแบบสอบ ดัชนีที่ใช้นี้ทดสอบด้วยการกำหนดจำนวนองค์ประกอบของชุดข้อมูลไว้ล่วงหน้า แล้วทดสอบด้วยค่า χ^2 (Chi-Square) ที่ประมาณค่าด้วยวิธี Likelihood Ratio (G^2) เพื่อทดสอบความเหมาะสมของโมเดล เมื่อค่า G^2 ไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่า ข้อมูลมีจำนวนองค์ประกอบเท่าที่กำหนดในการทดสอบ

โปรแกรม CCPROX และ โปรแกรม HCA พัฒนาขึ้นโดย Roussor (1992) เพื่อใช้ในการแบ่งกลุ่มตัวแปร กระบวนการนี้จะใช้แบ่งกลุ่มจำนวนข้อสอบที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันให้อยู่กลุ่มเดียวกัน โปรแกรมสามารถวิเคราะห์ข้อสอบที่มีการตรวจให้คะแนนแบบ 2 ค่า (Dichotomous scoring) ได้ถึงจำนวน 120 ข้อ โดยไม่มีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนผู้สอบ ซึ่งก่อนการใช้เทคนิค Cluster Analysis ต้องมีการวัดความคล้ายกันของข้อสอบแต่ละคู่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด โปรแกรม CCPROX เป็นโปรแกรมที่อนุญาต ให้เลือกใช้วิธีการวัดความคล้ายกันของข้อสอบแต่ละคู่ในวิธีที่แตกต่างกันได้ เช่น การประมาณค่าความแปรปรวนร่วมระหว่างข้อสอบแต่ละคู่ (Douglas, Kim, Roussos, Stout, & Zhang, 1999 อ้างถึงใน พัชรี จันทร์เพ็ง, 2550) สำหรับในสถานการณ์ของการจำลองข้อมูลที่มีการวัดที่คล้ายคลึงกัน โดยการพิจารณาความไวต่อความเป็นพหุมิติ (Douglas et al., 1999; Hartz, Roussor, & Stout, 2000 อ้างถึงใน พัชรี จันทร์เพ็ง, 2550)

เมทริกซ์ความคล้ายคลึงกัน (Proximity Matrix) เป็นปัจจัยนำเข้า (Input) ที่มีความสำคัญในโปรแกรม HCA เป็นผลจากความหลากหลายในการจัดกลุ่ม กระบวนการเริ่มต้นในการใช้เทคนิค Cluster Analysis นั้น แต่ละข้อจะมีรูปแบบที่กำหนดไว้แล้ว มีขั้นตอนการคำนวณทั้งหมด k-1 รอบ เมื่อกำหนดให้มีจำนวนข้อสอบทั้งหมด k ข้อ แต่ละรอบของการคำนวณ 2 กลุ่มใด หรือ 2 ข้อสอบใดที่มีความคล้ายคลึงกันมากที่สุดจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ส่วนขั้นตอนสุดท้าย ข้อสอบทั้งหมดที่

คล้ายคลึงกันจะถูกรวมให้มีเพียงกลุ่มเดียว (Single Cluster) โปรแกรม HCA มีคำสั่งในการกำหนดความคล้ายคลึงกันในการแบ่งกลุ่ม (Proximity Cluster) ผลที่ได้จากการจำลองข้อมูล มีข้อเสนอแนะว่า การใช้วิธีไม่ถ่วงน้ำหนักของค่าเฉลี่ยแต่ละคู่ในกลุ่ม (Unweighted Pair Group Method of Average: UPGMA) เป็นวิธีการในการจำแนก หรือ แบ่งกลุ่มชุดของข้อสอบที่มีความคล้ายคลึงกันของโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน (Approximate Simple Structure: APSS) (Douglas et al., 1999 อ้างถึงใน พัชรี จันทร์เพ็ง, 2550)

โปรแกรมทั้ง 2 โปรแกรมข้างต้น เป็นโปรแกรมที่ใช้ร่วมกับเทคนิค Hierarchical Cluster Analysis เป็นเทคนิคสำคัญสำหรับนักวิจัยที่มีข้อสงสัยในความเป็นพหุมิติของชุดแบบสอบ และไม่แน่ใจว่าอยู่ภายใต้โครงสร้างใดโครงสร้างหนึ่งหรือไม่ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคดังกล่าวจะเป็น การจำแนกกลุ่มที่มีความแตกต่างกัน โดยไม่คำนึงว่า มีลักษณะเป็นพหุมิติหรือไม่ ดังนั้นการพิจารณาการตัดสินในแต่ละชุดของแบบสอบย่อยจำเป็นต้องตีความจากผลลัพธ์ของโปรแกรม (Output) นอกจากนี้วิธีในการหมุนซ้ำ (Iteration) จนสำเร็จอยู่ในระดับที่น่าพอใจ ขึ้นอยู่กับวิธีก่อนหน้านี้เป็นสำคัญ ซึ่งความเป็นไปได้ของผลลัพธ์ (Outcome) อาจช่วยอธิบายให้ข้อมูลมีความถูกต้องมากขึ้น

โปรแกรม Detect พัฒนาขึ้นโดย Zhang และ Stout (1999) เพื่อตรวจสอบมิติแฝงเชิงยืนยันแบบ Nonparametric ซึ่งใช้ในการประมาณค่าจำนวนของมิติแฝงที่มีคุณลักษณะเด่นในชุดของข้อมูล และ สามารถตรวจสอบความเป็นเอกมิติของแบบสอบ โดยทั่วไปโปรแกรม Detect จะระบุคุณลักษณะเด่นของมิติแฝงแต่ละข้อ (Roussos, Reese, & Harris, 1997 อ้างถึงใน พัชรี จันทร์เพ็ง, 2550) และ สามารถวิเคราะห์ได้ถึงจำนวน 120 ข้อ แบบสอบมีการตรวจให้คะแนนแบบ 0-1 โดยมีจำนวนผู้สอบไม่เกิน 6,000 คน กระบวนการนี้เป็นการสร้างลักษณะที่เหมือนกันจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน และ ยังสามารถระบุจำนวนมิติแฝงสูงสุดที่ต้องการศึกษาได้ เนื่องจากการจัดกลุ่มชุดของข้อสอบแต่กระบวนการดังกล่าวยัง มีลักษณะแบบไม่เป็นทางการเท่าใดนัก เนื่องจากการระบุการจัดกลุ่ม เพื่อจำแนกความแตกต่างของมิติจะอาศัยกระบวนการในการระบุความเป็นหนึ่งเดียว

โปรแกรม Dimtest พัฒนาขึ้นโดย Stout et al. (1999, 2001) เป็นโปรแกรมตรวจสอบมิติแฝงที่ได้รับความนิยมมากที่สุดวิธีหนึ่งในปัจจุบัน ซึ่งเป็นกระบวนการ Nonparametric Statistical เพื่อตรวจสอบสมมติฐานของแบบสอบ โดยวิธีการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อสอบย่อยภายใต้เงื่อนไขความแปรปรวนร่วมของข้อสอบ เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์เชิงยืนยัน ซึ่งโปรแกรมสามารถวิเคราะห์ได้ถึงจำนวน 120 ข้อ แบบสอบมีการตรวจให้คะแนนแบบ 0-1 โดยมีจำนวนผู้สอบไม่เกิน 6,000 คน ซึ่งวิธีการวิเคราะห์นี้ไม่ยุ่งยากมากนัก เพียงแต่เลือกชุดข้อสอบย่อยในแบบสอบเพื่อวัดมิติแฝงที่มีคุณลักษณะเด่นเหมือนกัน และ เลือกวิธีที่จะใช้ในการตรวจสอบ เช่น Substantive Judgment, Hierarchical Cluster Analysis หรือ Detect เป็นต้น

สถิติที่ใช้ทดสอบคือ ค่า T โดยสามารถคำนวณได้จากโปรแกรม Dimtest เพื่อแสดงถึงระดับความแตกต่างกันของมิติของ 2 ชุดข้อสอบย่อย โดยค่า T จะถูกกำหนดให้มี การแจกแจงเป็นปกติ (Normal distribution) กับ ค่าที่คาดหวัง (Expected Value) มีค่าเท่ากับ 0 ภายใต้สมติฐานที่ตั้งไว้ก่อนหน้า เช่น มีการกำหนดสมมติฐานไว้ล่วงหน้าว่า ประกอบด้วยการวัดทางคณิตศาสตร์ 2 มิติ คือ มิติที่ 1 วัดด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial) และ มิติที่ 2 วัดด้านทั่วไป (General) โดยกำหนดให้ข้อที่ 1 ถึงข้อที่ 6 เป็นชุดของแบบสอบในมิติที่ 1 มีความแตกต่างจากข้อที่เหลือในแบบสอบ ซึ่งเป็นชุดของข้อสอบในมิติที่ 2 ผลการวิเคราะห์มีค่า T = 2.69 (p=.004) ดังนั้นแสดงว่า ชุดข้อสอบในมิติที่ 1 แตกต่างจากชุดข้อสอบในมิติที่ 2 คือ แบบสอบด้านคณิตศาสตร์ฉบับนี้มีการศึกษาใน 2 มิติ เป็นต้น

กล่าวโดยสรุป โปรแกรมการตรวจสอบมิติแฝง 4 โปรแกรมข้างต้น จะให้มุมมองที่ต่างกันในการตรวจสอบมิติแฝง แต่สิ่งหนึ่งที่ต้องตระหนัก คือ กระบวนการที่ใช้เป็นเพียงเครื่องมือเท่านั้น แต่ใช่สิ่งที่ใช้ในการตัดสินใจทั้งหมด นอกจากนี้ อนันดา สัณฑิติวณิชย์ (2556) นำเสนอวิธีการตรวจสอบจำนวนมิติเพิ่มเติม ดังนี้

Difference Chi-square ถูกนำเสนอโดย Schilling และ Bock (2005) เป็นวิธีสำหรับการดำเนินการทดสอบความแตกต่างของค่า χ^2 คือ การวิเคราะห์ TESFACT บนเมทริกซ์การตอบข้อสอบระบุ m และ m+1 มิติ สถิติความสอดคล้องสารูปสนิทดีถูกคำนวณ ซึ่งมีการแจกแจงแบบ χ^2 ดังนั้นความแตกต่างในค่า χ^2 สำหรับการแก้ไขที่สำเร็จถูกคำนวณได้ดีพอกับความต่างในระดับความอิสระ (Degree of freedom) สำหรับ χ^2 สองค่า ผลของความต่างในสถิติ χ^2 ที่มีระดับความเป็นอิสระเท่ากับความต่างในระดับอิสระสองค่า

Parallel Analysis ถูกนำเสนอโดย Leadesma และ Valer-Mora (2007) เป็นวิธีที่มีสองขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนแรก การวิเคราะห์มิติถูกดำเนินการด้วยโปรแกรมที่มีลักษณะคล้าย TESFACT จะให้ ค่า eigenvalue จำนวน n ตัวแรกของเมทริกซ์ของสหสัมพันธ์ระหว่างข้อสอบ TESTFACT อยู่บนพื้นฐาน eigenvalue/eigenvector decomposition และ บนความสัมพันธ์แบบ tetrachoric โดยอาจปรับใช้การประมาณของ lower asympotote สำหรับพื้นผิวลักษณะข้อสอบ (Item Characteristic surfaced) สำหรับข้อสอบ และ ขั้นตอนสอง สร้างชุดของข้อมูลการสอบที่ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างข้อ แต่มีสัดส่วนความถูกต้องเหมือนกันสำหรับแต่ละข้อเป็นข้อมูลจริง และขนาดตัวอย่างเท่ากัน

2.4 โมเดลการตอบสนองข้อสอบแบบพหุมิติ (MIRT)

โมเดลการตอบสนองข้อสอบแบบพหุมิติ (MIRT) พัฒนามาเพื่อแก้ไขจุดอ่อนของข้อตกลงเบื้องต้นของ ความเป็นเอกมิติของโมเดลการตอบสนองข้อสอบแบบเอกมิติ (Unidimensional Item Response Theory Model: UIRT Model) มีแนวคิดพื้นฐานที่สำคัญ 2 กลุ่มแนวคิด กลุ่มแรก เป็นการศึกษาโดย Spearman (1927) และ Thurstone (1947) (อ้างถึงใน พัชรี จันทรีเพ็ง, 2550) พบว่าโมเดล MIRT มีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) เนื่องจากลักษณะของการวิเคราะห์องค์ประกอบ จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการวิเคราะห์ MIRT และ กลุ่มสองเป็นการศึกษาโดย Lazarsfeld (1950) (อ้างถึงใน พัชรี จันทรีเพ็ง, 2550) ที่กล่าวว่า โมเดล MIRT ได้รับอิทธิพลมาจากโมเดล UIRT เช่นเดียวกับ การวิเคราะห์องค์ประกอบ

Chulalongkorn University

โมเดล MIRT แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ประเภทแรก คือ โมเดลการตอบสนองข้อสอบแบบพหุมิติเชิงสำรวจ (Exploratory MIRT Model) เป็นโมเดลที่เกี่ยวข้องกับการประมาณค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ หรือ ผู้สอบมากกว่า 1 มิติ เพื่อให้โมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูล โดยไม่มีการกำหนดจำนวนองค์ประกอบไว้ล่วงหน้า ประกอบด้วยโมเดลย่อยทั้งหมด 2 โมเดล คือ 1) Multidimensional Logistic Model และ 2) Multidimensional Normal Ogive Model โดยโมเดลย่อยทั้ง 2 โมเดล มีสูตรในการประมาณค่าคล้ายคลึงกับ Logistic Model และ Ogive Model ในโมเดล UIRT แต่จะแตกต่างกันในจำนวนมิติที่ศึกษา ซึ่งโมเดลการตอบสนองข้อสอบแบบพหุมิติเชิงสำรวจ (Exploratory MIRT Model) จะเหมาะสำหรับข้อสอบหรือชิ้นงานของทักษะการปฏิบัติ ที่ได้กำหนด หรือ สร้างทฤษฎีไว้ล่วงหน้า

ประเภทสอง คือ โมเดลการตอบสนองข้อสอบแบบพหุมิติเชิงยืนยัน (Confirmatory MIRT Model) เป็นโมเดลที่เกี่ยวข้องกับการประมาณค่าพารามิเตอร์ในมิติที่เจาะจง โดยเป็นการวิเคราะห์เพื่อระบุความสัมพันธ์ของข้อสอบไปยังมิติต่างๆ ประกอบด้วย 4 โมเดลย่อย ตามการแบ่งประเภทโมเดลของ Embretson และ Reise (2000) คือ 1) Model for Noncompensatory Dimension 2) Model for Learning and Chang 3) Model With Specified Trait Level Structures และ 4) Model for Distinct Class of persons ซึ่งโมเดลการตอบสนองข้อสอบแบบพหุมิติเชิงยืนยัน (Confirmatory MIRT Model) เหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ที่หลากหลาย

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์พหุมิติ

พัชรี จันทร์เพ็ง (2550) ทำการวิจัยในหัวข้อ การเปรียบเทียบคุณภาพของวิธีการเชื่องโยงคะแนน ตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบแบบพหุมิติภายใต้การหมุนแกน โครงสร้างเชิงมิติ และระดับความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 2 ประการ ได้แก่ 1) เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ของวิธีการเชื่อมโยงคะแนน โครงสร้างมิติความสามารถ และ ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติความสามารถ และ 2) เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของวิธีการเชื่อมโยงคะแนนตามโมเดล MIRT ที่มีลักษณะการหมุนแกนแตกต่างกัน 2 วิธี คือ การหมุนแกนแบบตั้งฉากโดยวิธี M (Min's Method) และ การหมุนแกนแบบไม่ตั้งฉากโดยวิธี NOP (Non-Orthogonal Procrustes Method) ภายใต้โครงสร้างมิติความสามารถ และ ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติความสามารถที่แตกต่างกัน เงื่อนไขที่ทำการศึกษาจำนวน 12 เงื่อนไข (2X2X3) ประกอบด้วย วิธีการเชื่อมโยงคะแนน 2 วิธี คือ วิธี M และ วิธี NOP โครงสร้าง มิติความสามารถ 2 ลักษณะ คือ โครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน และ โครงสร้างที่ซับซ้อนมากขึ้น และระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติความสามารถ 3 ระดับ ได้แก่ ไม่มีความสัมพันธ์ (r=0), มีความสัมพันธ์ระดับกลาง (r=0.5) และ มีความสัมพันธ์ระดับสูง (r=0.8) ดำเนินการศึกษาจากการจำลองข้อมูลผู้สอบที่มีความสามารถต่างกัน 3 ระดับขั้น คือ ระดับต้น, ระดับกลาง และ ระดับสูง ระดับขั้นละ 2,000 คน ออกแบบการเก็บข้อมูลสำหรับผู้สอบกลุ่มไม่เท่าเทียมกัน โดยใช้ข้อสอบร่วมระดับละ 30 ข้อ ซึ่งศึกษาจากค่าพารามิเตอร์การแปลงคะแนนของข้อสอบจากระดับความสามารถต่ำไปยังระดับกลาง และ ระดับกลางไปยังระดับสูง

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ 1) มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการเชื่อมโยง (METHOD) โครงสร้างมิติความสามารถ (DS) และ ระดับความสัมพันธ์ (r) ซึ่งส่งผลต่อค่าความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนที่แปลงไว้กับคะแนนเกณฑ์ (CORR) ของการแปลงค่าพารามิเตอร์จากระดับต้นไปยังระดับกลาง และส่งผลต่อความถูกต้องของการเชื่อมโยงคะแนน (BIAS) ของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์จากระดับกลางไปยังระดับสูง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่จะไม่ส่งผลต่อความคงที่ของการเชื่อมโยงคะแนน (RMSE) ในทุกระดับการเปลี่ยนแปลง ส่วนปฏิสัมพันธ์รายคู่ พบว่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง Method และ DS และ ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง Method และ r ส่งผลต่อความคงที่และความถูกต้องของการเชื่อมโยงคะแนนที่ต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กล่าวได้ว่า คุณภาพของวิธีการเชื่อมโยงคะแนนที่ต่างกันขึ้นอยู่กับ DS และ r โดยมีปฏิสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน แต่จะไม่ส่งผลให้มีค่าความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนที่แปลงได้กับคะแนนเกณฑ์ (CORR) แตกต่างกัน 2) คุณภาพของการเชื่อมโยงคะแนนระหว่างวิธี M และ วิธี NOP มีค่าใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะเงื่อนไขที่ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างมิติ และ มีความสามารถระหว่างมิติความสามารถในระดับกลางกับโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน แต่เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างมิติความสามารถเพิ่มขึ้นกับโครงสร้างที่ซับซ้อนมากขึ้น พบว่าวิธี NOP มีคุณภาพของการเชื่อมโยงคะแนนมากกว่าวิธี M อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับสถิติที่ระดับ .05 กล่าวคือ วิธี NOP มีความคงที่ (RMSE) และ ความถูกต้อง (BIAS) ของการเชื่อมโยงคะแนนมากกว่าวิธี M ที่มีแนวโน้มในการประมาณค่าต่ำกว่าความเป็นจริง อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยยังพบว่า ทั้งสองวิธีมีค่าความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนที่แปลงได้กับคะแนนเกณฑ์ (CORR) ไม่ต่างกัน ไม่ว่าจะศึกษาในโครงสร้างลักษณะใดหรือความสัมพันธ์ระหว่างมิติความสามารถระดับใด

อนันดา สัณฐิติวณิชย์ (2556) ทำการวิจัยในหัวข้อ การพัฒนาลักษณะเฉพาะของแบบสอบที่บูรณาการระหว่างตัวชี้วัดความสามารถด้านการอ่าน การคิดวิเคราะห์ และ การเขียน กับตัวชี้วัดการประเมินสาระการเรียนรู้ : การประยุกต์ใช้ทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบแบบพหุมิติ การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ 1) เพื่อพัฒนา ตรวจสอบคุณภาพ และ ทดลองใช้ลักษณะเฉพาะของแบบสอบที่บูรณาการระหว่างตัวชี้วัดความสามารถด้านการอ่าน การคิดวิเคราะห์ และ การเขียน กับตัวชี้วัดการประเมินสาระการเรียนรู้ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 และ 2) เพื่อพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบ ตามลักษณะเฉพาะของแบบสอบที่พัฒนาขึ้น โดยประยุกต์ใช้แนวคิดทฤษฎีการตอบสนองแบบพหุมิติ ทั้งในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และ กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ซึ่งมีการดำเนินงานที่คล้ายคลึงกัน และ แบ่งขั้นตอนการดำเนินงาน ออกเป็น 3 ระยะ ระยะที่ 1 เป็นการพัฒนาลักษณะเฉพาะของแบบสอบฯ ระยะที่ 2 เป็นการพัฒนาแบบสอบ และ ระยะ

ที่ 3 เป็นการทดลองใช้ลักษณะเฉพาะของแบบสอบฯ ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จากการการสุ่มแบบหลายขั้นตอน จึงได้กลุ่มตัวอย่างสำหรับกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ จำนวน 697 คน และ กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ จำนวน 673 คน เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบฯ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แบบสัมภาษณ์ แบบสอบถามแบบประเมิน ลักษณะเฉพาะของแบบสอบฯ และแบบสอบความสามารถ ซึ่งมีรูปแบบข้อสอบเป็นแบบสอบที่มีรูปแบบผสม มีลักษณะพหุมิติภายในข้อสอบ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS, LISREL และ ConQuest

ผลการวิจัยสรุปได้ดังต่อไปนี้ 1) การพัฒนาลักษณะเฉพาะของแบบสอบความสามารถที่บูรณาการระหว่างตัวชี้วัดความสามารถด้านการอ่าน การคิดวิเคราะห์ และการเขียน กับตัวชี้วัดการประเมินสาระการเรียนรู้ ซึ่งมีองค์ประกอบเฉพาะของแบบสอบ ได้แก่ วัตถุประสงค์ของการสอบ ตัวชี้วัดความสามารถในการอ่าน คิดวิเคราะห์ และเขียน แนวทางการสร้างข้อสอบ โครงสร้างของแบบสอบ รูปแบบของแบบสอบ ลักษณะเฉพาะของข้อสอบ ตัวอย่างข้อสอบ เกณฑ์การให้คะแนน และเกณฑ์การตัดสินคะแนน โดยมีตัวชี้วัดความสามารถด้านการอ่าน คิดวิเคราะห์ และเขียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 สำหรับกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ มีจำนวน 8 ตัวชี้วัด และ กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ มีจำนวน 11 ตัวชี้วัด 2) ลักษณะเฉพาะของแบบสอบที่บูรณาการระหว่างตัวชี้วัดความสามารถด้านการอ่าน การคิดวิเคราะห์ และ การเขียน กับ ตัวชี้วัดการประเมินสาระการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น มีผลการประเมินคุณภาพในภาพรวม อยู่ในระดับมากทั้งกลุ่มสาระ การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (M=4.41, SD=0.37) และ กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ (M=4.22, SD=0.62) 3) แบบสอบความสามารถด้านการอ่าน คิดวิเคราะห์ และ เขียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 มีรูปแบบข้อสอบเป็นแบบสอบที่มีรูปแบบผสม ประกอบด้วย ข้อสอบหลายตัวเลือก และ ข้อสอบแบบความเรียง ข้อสอบหนึ่งข้อ จะวัดมากกว่าหนึ่งความสามารถ และ 4) แบบสอบความสามารถด้านการอ่าน คิดวิเคราะห์ และเขียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ทั้งกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ มีคุณภาพของแบบสอบมีความตรงเชิงเนื้อหา และ ความตรงเชิงโครงสร้าง (Chi-square=997.660, df=5, p<.01 และ Chi-square=652.741, df=5, P<.01 ตามลำดับ) ความเที่ยงสำหรับคุณภาพของข้อสอบ ข้อสอบส่วนใหญ่มีความยากง่ายปานกลาง ข้อสอบมีความเหมาะสมกับโมเดลการวัดความสามารถ (OUTFIT MNSQ=0.45-2.30, 0.59-2.18 และ INFIT MNSQ=0.77-1.33, 0.78-1.44 ตามลำดับ)

ตอนที่ 3 การจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล

การศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล แบ่งออกเป็น 5 ประเด็น ประเด็นที่หนึ่งจะอธิบายถึง ความเป็นมาของเทคนิคมอนติคาร์โล ซึ่งแสดงให้เห็นถึงพัฒนาการของการจำลองข้อมูลในแต่ละช่วง ประเด็นที่สองจะนำเสนอ ขั้นตอนการจำลองข้อมูล ประเด็นที่สามจะแสดงถึง ข้อดี และ ข้อเสียของเทคนิคมอนติคาร์โล เพื่อเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจเลือกใช้เทคนิคดังกล่าว ประเด็นที่สี่ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลองข้อมูล เพื่อนำเสนอ วิธีการ เทคนิค ข้อดี และ ข้อจำกัดของโปรแกรม และ ประเด็นสุดท้ายกล่าวถึง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล มีรายละเอียดในการศึกษาของแต่ละประเด็นดังนี้

3.1 ความเป็นมาของการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล

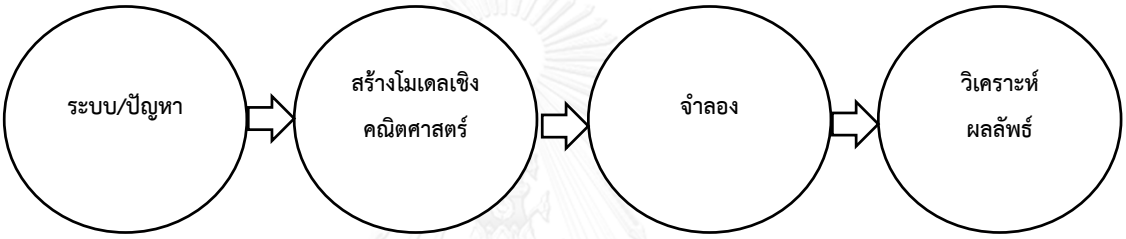
การศึกษาด้วยการจำลองเกิดขึ้นก่อนที่จะมีการพัฒนาคอมพิวเตอร์ความเร็วสูง วิธีการจำลองข้อมูลแรกเริ่ม คือ การหยิบลูกบอล หรือ กระดาษที่มีหมายเลขกำกับไว้ออกจากขวด โดยแบบแผนของวิธีการจำลองปรากฏขึ้น ในปี ค.ศ. 1940 โดยสมาชิกที่ทำงานในโครงการแมนฮัตตัน (Manhattan project) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอาวุธนิวเคลียร์ของสหรัฐอเมริกาได้ทำการจำลองและ สุ่มตัวอย่างไปสู่โมเดล (Model) ของกระบวนการทางฟิสิกส์ วิธีการดังกล่าว เรียกว่า วิธีการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล (Monte Carlo method) (Davey, Nering, & Thompson, 1997)

การจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล (Monte Carlo method) เป็นเทคนิคที่สร้างขึ้นจากทฤษฎีความน่าจะเป็น (Probability theory) และ ทฤษฎีการสุ่ม (Theory of random) (ชนะศึก นิชานนท์, 2553) ซึ่งพัฒนาการการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล แบ่งออกเป็น 3 ช่วงหลักๆ (Harwell, Stone, Hsu, & Kirisci, 1996) คือ ช่วงแรก หรือ ช่วงก่อนใช้เทคนิคมอนติคาร์โล เป็นช่วงที่นิยมใช้เทคนิคมอนติคาร์โลในแก้ปัญหาทางสถิติ เช่น ในปี ค.ศ. 1908 นักเรียนได้ทำการทดลองสุ่มกลุ่มตัวอย่างทางสถิติเกี่ยวกับการแจกแจงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และ การแจกแจงค่าสถิติที อย่างไรก็ตาม ในด้านการวิจัยเทคนิคนี้ยังไม่เป็นที่ยอมรับในช่วงเวลาดังกล่าว ช่วงที่สอง เป็นช่วงที่มีศัพท์ “Monte carlo”เกิดขึ้น โดย Metropolis และ Ulam เป็นผู้เริ่มใช้ศัพท์คำนี้ เทคนิคมอนติคาร์โลโดยนำมาใช้เป็นเครื่องมือวิจัยในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 เพื่อศึกษาปัญหาเกี่ยวกับการระเบิดปรมาณู จากการศึกษาดังกล่าว ทำให้เทคนิคนี้ได้รับความนิยมในทันที และ ช่วงสุดท้าย เริ่มต้น ประมาณ ปี ค.ศ.

1970 เป็นช่วงที่นักวิจัยนิยมใช้เทคนิคมอนติคาร์โล ในการจำลองข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ความเร็วสูง เพื่อแก้ไขปัญหาทางสถิติ

3.2 ขั้นตอนการจำลองข้อมูล

การจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล เป็นวิธีการจำลองข้อมูลด้วยการสร้างโมเดล (Model) โดยการใช้เลขสุ่ม (Random number) มาช่วยในการแก้ปัญหา หรือ หาคำตอบที่ต้องการศึกษา การศึกษาด้วยวิธีการจำลองข้อมูลมี 4 ขั้นตอนหลักทั่วไป ดังนี้ (1) วิเคราะห์ระบบ หรือ ปัญหา (2) สร้างโมเดลเชิงคณิตศาสตร์ (3) จำลอง และ (4) วิเคราะห์ผลลัพธ์ (มานพ วราภักดิ์, 2550; ชนะศึก นิชานนท์, 2553; เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์, 2555) มีรายละเอียดดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการจำลอง (เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์, 2555)

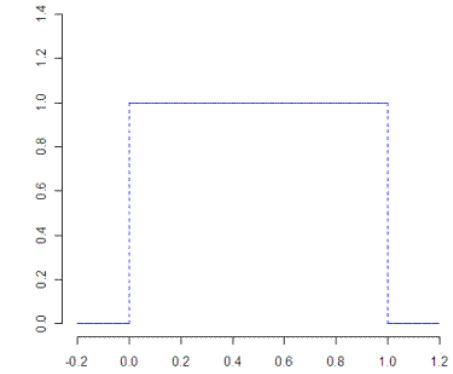
(1) การวิเคราะห์ระบบ หรือ ปัญหาที่ต้องการศึกษา ผู้วิจัยจะต้องทำความเข้าใจระบบหรือปัญหาที่ต้องการศึกษาเป็นอย่างดี จนสามารถแยกแยะองค์ประกอบและเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของระบบนั้นได้ และ นำไปสร้างโมเดลเชิงคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการอธิบายระบบที่สุด

(2) การสร้างโมเดลเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยต้องกำหนดตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้อง, เงื่อนไข ข้อกำหนด ข้อสมมติ และ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรให้มีความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการ (Equations) หรือ อสมการ (Inequalities) ทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นแบบจำลองในการอธิบายระบบหรือปัญหาที่ต้องการศึกษา

(3) การจำลอง เป็นขั้นตอนที่นำโมเดลเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ที่ได้สร้างขึ้น มาจำลองข้อมูล ซึ่งในการจำลองข้อมูลแบบมอนติคาร์โลนี้ ขั้นตอนนี้แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนย่อย คือ 1) การสร้างเลขสุ่ม 2) การประยุกต์ปัญหาที่ต้องการศึกษาเข้ามาใช้กับเลขสุ่ม และ 3) การทดลองกระทำการสุ่ม มีรายละเอียดดังนี้

1) การสร้างเลขสุ่ม (Random number) เป็นขั้นตอนแรกของการจำลอง และ ถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากเลขสุ่มเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญในการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล เลขสุ่มที่สร้างขึ้นจะเป็นค่าของตัวแปรสุ่ม (Random variables) ที่มีลักษณะการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ (Uniform distribution) ในช่วง [0,1] ดังภาพที่ 3 และ มีความเป็นอิสระซึ่งกันและกันในเชิงสถิติ (Statistical independent) (มานพ วราภักดิ์, 2550; ชนะศึก นิชานนท์, 2553; เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์, 2555)

$$f(x)\mathrm{f(x)} = \begin{cases} 1, & 0 < \mathrm{x} < 1 \\ 0, & \text{อื่นๆ} \end{cases}$$



ภาพที่ 3 การแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม

การสร้างเลขสุ่ม แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ (1) การสร้างเลขสุ่มที่แท้จริง (Random number) วิธีการสร้างเลขสุ่มลักษณะนี้มีหลายวิธี เช่น การจับสลาก การทอดลูกเต๋า การโยนเหรียญ การใช้วงล้อ ซึ่งเป็นวิธีที่มีความซับซ้อน และ สร้างเลขสุ่มได้น้อย จึงทำให้เสียเวลา และ (2) การสร้างเลขสุ่มเทียม (Pseudo–random number) วิธีการสร้างเลขสุ่มลักษณะทำได้โดยการคำนวณด้วยสูตรคณิตศาสตร์ ทำให้เลขสุ่มที่สร้างขึ้นด้วยวิธีนี้ไม่มีคุณสมบัติความเป็นอิสระกัน จึงไม่ใช่เลขสุ่มที่แท้จริง

ปัจจุบันวิธีการสร้างเลขสุ่มมีหลายวิธี การเลือกใช้วิธีสร้างเลขสุ่ม ควรพิจารณาคุณสมบัติของ (1) การแจกแจงแบบสม่ำเสมอ (Uniform distribution) (2) ความเป็นอิสระ (3) ความยาวหรือ 1 คาบ (Period) ของเลขสุ่ม และ (4) สามารถกระทำซ้ำได้ กล่าวคือ สร้างเลขสุ่มชุดเดิมซ้ำได้ (มานพ วราภักดิ์, 2550; ชนะศึก นิชานนท์; เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์, 2555) ซึ่งวิธีพื้นฐานในการสร้างเลขสุ่มที่เป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน ได้แก่ วิธีสมภาคเชิงเส้น (Linear congruential generator: LCG) และ วิธี

สมภาคการคูณ (Multiplicative congruential generato : MCG) และ จะต้องทำการแปลงเลขสุ่มที่ได้ให้เป็นตัวแปรลุ่มที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นตามที่ต้องการ

2) การประยุกต์ปัญหาที่ต้องการศึกษาเข้ามาใช้กับตัวเลขสุ่ม เป็นขั้นตอนที่ผู้จำลองจะนำข้อมูลที่สร้างขึ้นตามปัญหา และ สมมติฐานที่กำหนดไว้ในงานวิจัยมาใช้กับตัวเลขสุ่ม ขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา บางปัญหาอาจไม่ต้องใช้ตัวเลขสุ่ม

3) การทดลองกระทำการสุ่ม ขั้นตอนนี้ เป็นการทดลองนำโมเดลเชิงคณิตศาสตร์ตามแบบแผนการทดลองที่กำหนด โดยใช้กระบวนการสุ่ม (Random process) มากระทำในลักษณะซ้ำๆ กัน เพื่อประมาณค่าที่แท้จริง

(4) การวิเคราะห์ผลลัพธ์ เป็นขั้นตอนที่นำผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองข้อมูลมาวิเคราะห์ เนื่องจากการจำลองเป็นการจำลองสุ่ม ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองก็จะมีลักษณะสุ่มด้วย ผู้วิจัยจึงควรเลือกใช้วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ผลลัพธ์ เพื่อให้การตีความหมายมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ

3.3 ข้อดีและข้อจำกัดของการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล

ปัจจุบันการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลเป็นเทคนิคหนึ่งที่นิยมใช้ในงานวิจัย เนื่องจากเทคนิคนี้เหมาะสำหรับการแก้ปัญหาในสถานการณ์ที่มีกระบวนการซับซ้อน โดยการใช้เลขสุ่ม (Random number) มาช่วยในการหาคำตอบ อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้ อาจจะไม่เหมาะสมในบางสถานการณ์ที่มีกระบวนการซับซ้อน ซึ่งเป็นผลมาจากข้อจำกัดบางประการ ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ดีที่สุด (Lehmann & Bailey, 1968; Naylor et al., 1968 cited in Harwell et al., 1996) จากการศึกษางานวิจัยที่ทำการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล สามารถสรุปข้อดี และ ข้อจำกัดได้ดังนี้ (Harewell et. al., 1996; มานพ วราภักดิ์, 2550; ชนะศึก นิชานนท์, 2553)

(1) ข้อดีของการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล

1) ใช้สำหรับการวิเคราะห์ปัญหา หรือ สถานการณ์ที่ไม่สามารถกระทำได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจริง เนื่องจากปัญหาหรือสถานการณ์มีความซับซ้อน

2) แปรผลสู่ประชากรเป้าหมายได้ (Generalizable) เมื่อการจำลองข้อมูลอยู่ภายใต้สถานการณ์ที่เป็นจริง

3) กำหนดและจัดกระทำค่าของพารามิเตอร์ พร้อมกับการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ได้ในคราวเดียว

4) เสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจริง

5) สามารถกำหนดระยะเวลาที่แน่นอนในการดำเนินการทดลองได้ และ สามารถย่นระยะเวลาการศึกษาทดลองให้สั้นลง

(2) ข้อจำกัดของการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล

1) ในการศึกษาบางครั้งผลที่ได้จากกการจำลองข้อมูล ไม่สามารถครอบคลุมทุกกรณี

2) การนำผลการวิจัยที่ได้จากการจำลองไปใช้ ต้องพิจารณาเงื่อนไขที่ทำการศึกษาว่า มีความสอดคล้องกับสถานการณ์ที่จะนำไปใช้มากน้อยเพียงใด

3) การเลือกใช้วิธีการที่ไม่เหมาะสมสำหรับการจำลอง จะทำให้ผลการวิจัยมีข้อผิดพลาด และ ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

4) ผลการจำลองข้อมูลนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของการทำซ้ำและความถูกต้องของตัวเลขที่ได้จากการจำลองข้อมูล ซึ่งการประเมินคุณภาพของการสร้างเลขสุ่มทำได้ยาก โดยเฉพาะเมื่อมีเลขสุ่มจำนวนมาก

3.4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลองข้อมูล

ปัจจุบันโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ในการจำลองข้อมูลมีหลายโปรแกรม แต่ละโปรแกรมมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ในงานวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอโปรแกรม R พัฒนาโดย John Chambers และคณะ ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวพัฒนามาจากภาษา S รายละเอียดของโปรแกรม R (Field, Miles, & Field, 2012; Gaubatz; 2015) มีดังนี้

(1) คุณสมบัติของโปรแกรม R

1) ไม่เสียค่าใช้จ่าย

โปรแกรม R เป็นโปรแกรม “Open source” กล่าวคือ เปิดโอกาสให้ผู้ใช้สามารถแก้ไข ปรับปรุง และ พัฒนาคำสั่ง หรือ โค้ดในโปรแกรมได้ โดยไม่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์แต่อย่างใด และสามารถใช้งานได้ทุกสถานที่ และ ทุกเวลา

2) สนับสนุนความหลากหลายของการวิเคราะห์ข้อมูล

โปรแกรม R ประกอบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (Package) พื้นฐานจำนวนมาก และ มีฟังก์ชันที่เหมาะสำหรับการใช้งาน ทำให้เมื่อดาวน์โหลดโปรแกรม R และ ติดตั้งลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ผู้ใช้สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูล และ สร้างกราฟได้บางส่วน และ ผู้ใช้ยังสามารถดาวน์โหลดโปรแกรมสำเร็จรูป (Package) ที่มีฟังก์ชันสอดคล้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มเติมที่ CRAN (Comprehensive R Archive Network) และ ทำการติดตั้งเข้าไปในโปรแกรม R ซึ่งใน CRAN ประกอบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (Package) ประมาณ 100 โปรแกรม

3) มีประสิทธิภาพและทำงานได้รวดเร็ว

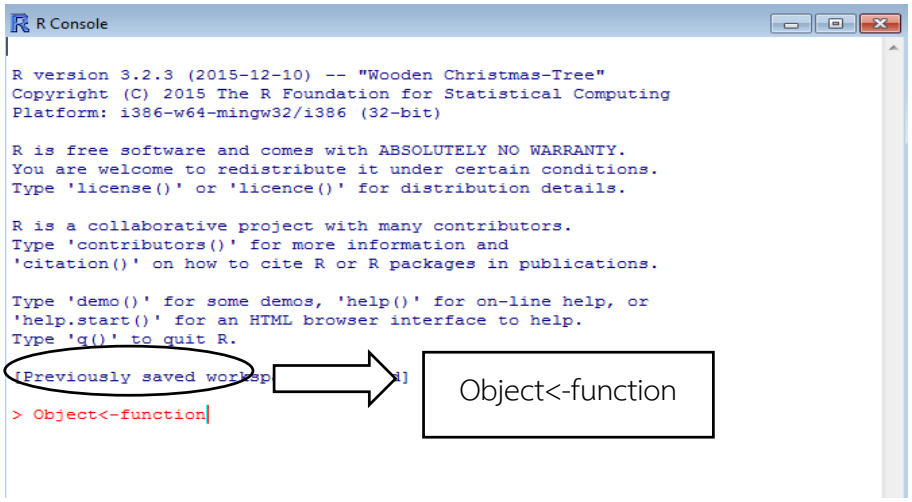
โปรแกรม R เป็นโปรแกรมที่ต้องทำงานผ่านคำสั่ง (Command) ค่อนข้างใช้งานยาก สำหรับผู้ใช้ที่ไม่มีประสบการณ์ในการเขียนคำสั่ง แต่เมื่อคุ้นเคยกับโปรแกรม จะพบว่า โปรแกรมนี้วิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว แม้ข้อมูลจะมีจำนวนมาก และ สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลซ้ำ ทำให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้อง และ แม่นยำ

(2) การใช้โปรแกรม R

เมื่อผู้ใช้ติดตั้งโปรแกรม R ลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์เสร็จเรียบร้อย ผู้ใช้สามารถเริ่มต้นการใช้งานผ่าน Console ซึ่งเป็นวินโดวส์หลัก (Main windows) Editor window ซึ่งเป็นวินโดวส์ที่ใช้สำหรับเก็บคำสั่งที่เขียนไว้เพื่อ Run การวิเคราะห์ใหม่อีกครั้ง หรือ Run ข้อมูลชุดใหม่ที่มีการวิเคราะห์เหมือนกับชุดคำสั่งที่เก็บไว้ และ เมื่อผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ข้อมูล แสดงในรูปแบบกราฟิก หรือ กราฟ โปรแกรมจะแสดงผลลัพธ์ดังกล่าวบน Graphics Window และ เนื่องจากโปรแกรม R เป็นโปรแกรมที่ต้องทำงานผ่านคำสั่ง จึงเป็นสิ่งที่ยากสำหรับผู้วิจัยที่ไม่มีประสบการณ์ในการใช้งานมาก่อน ในส่วนนี้จึงนำเสนอวิธีการ และ เทคนิคต่างๆสำหรับการใช้โปรแกรม (Field, Miles, & Field, 2012; Gaubatz; 2015) มีรายละเอียดมีดังนี้

1) การเขียนคำสั่ง (Command) ในโปรแกรม R

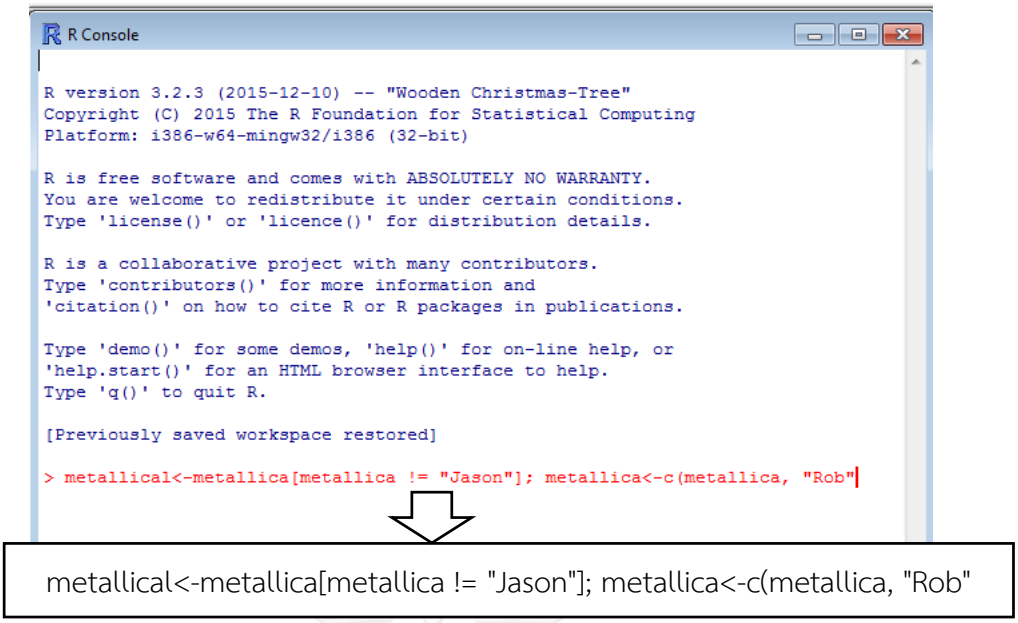
โปรแกรม R เป็นโปรแกรมที่ต้องเขียนคำสั่งในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยทั่วไปคำสั่งที่ใช้ในโปรแกรม R แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ อ็อบเจกต์ (Objects) และ ฟังก์ชั่น (Functions) โดยแยก 2 ส่วนจากกันด้วยเครื่องหมาย “<-” มีความหมายว่า “ถูกสร้างขึ้นจาก” ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ส่วนประกอบของคำสั่งในโปรแกรม R (Field et al., 2012)

จากคำสั่งข้างต้น หมายความว่า อ็อบเจกต์ (Object) ถูกสร้างขึ้นจากฟังก์ชั่น (Function) อ็อบเจกต์ (Object) คือ ทุกสิ่งที่สร้างขึ้นในโปรแกรม R ซึ่งอาจจะเป็นตัวแปร (Variables), การเก็บรวบรวมตัวแปร (Collection of variable), โมเดลทางสถิติ (Statistical model), ค่าเดี่ยว (Single values), การเก็บรวบรวมสารสนเทศ (Collection of information) เช่น เมื่อผู้ใช้ต้อง Run การวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการสร้างอ็อบเจกต์ (Object) จากผลลัพธ์ (Output) ของการวิเคราะห์ข้อมูลนั้น หมายความว่า อ็อบเจกต์ (Object) ดังกล่าว ประกอบด้วย ค่า (Values) ที่แตกต่างกันหลายค่า และหลายตัวแปร (Variables) ที่แตกต่างกัน และ ฟังก์ชั่น (Function) คือ สิ่งที่สร้างอ็อบเจกต์ (Object) R

เมื่อเขียนคำสั่งลงใน Console เสร็จเรียบร้อยแล้ว สามารถ Run คำสั่งด้วยวิธีกดปุ่มย้อนกลับผู้ใช้สามารถ Run หลายคำสั่งในครั้งเดียวด้วยการเขียนหลายคำสั่งภายในบรรทัดเดียว โดยมีเครื่องหมายอัฒภาค (Semicolon) เป็นเครื่องหมายแยกคำสั่งแต่ละคำสั่ง ดังภาพที่ 5



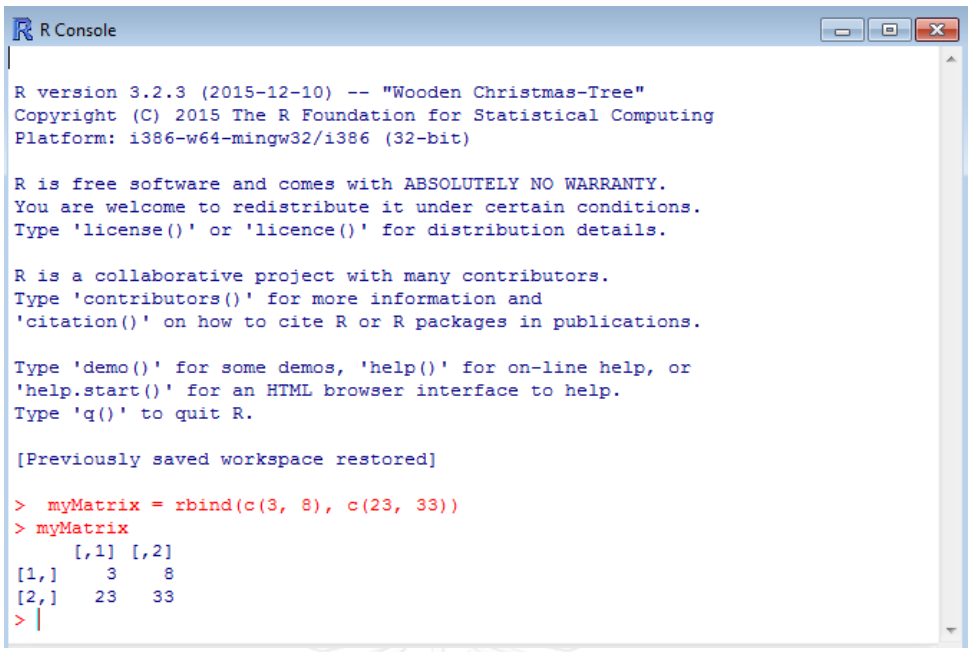
ภาพที่ 5 วิธีการเขียนคำสั่งหลายคำสั่งในโปรแกรม R (Field et al., 2012)

2) การสร้างตัวแปร (Variables)

ตัวแปรที่สร้างขึ้น อาจอยู่ในรูปตัวแปรชนิดตัวเลข (Numeric variables) หรือ ตัวแปรชนิดข้อความ (String variables) ขึ้นอยู่กับ ลักษณะของข้อมูลที่นำมาใช้ในโปรแกรม R ซึ่งผู้ใช้สามารถใช้ฟังก์ชัน c () สำหรับสร้างอ็อบเจกต์ (Objects) ของข้อมูล และ ต้องระบุชื่อ อ็อบเจกต์ ที่สร้างขึ้นให้สื่อความหมายชัดเจน และ ในกรณีที่มีการสร้างอ็อบเจกต์หลายอ็อบเจกต์ ผู้ใช้จะต้องทำการรวมอ็อบเจกต์เหล่านั้นเป็นอ็อบเจกต์เดียว ด้วยการสร้าง dataframe จากฟังก์ชัน data.frame () และทำการระบุชื่อตัวแปรที่อยู่ใน dataframe จากฟังก์ชัน name () นอกจากนี้ยังสามารถใช้ฟังก์ชัน list () และฟังก์ชัน cbind () เพื่อรวมตัวแปร

3) การสร้างเมทริกซ์ (Matrix)

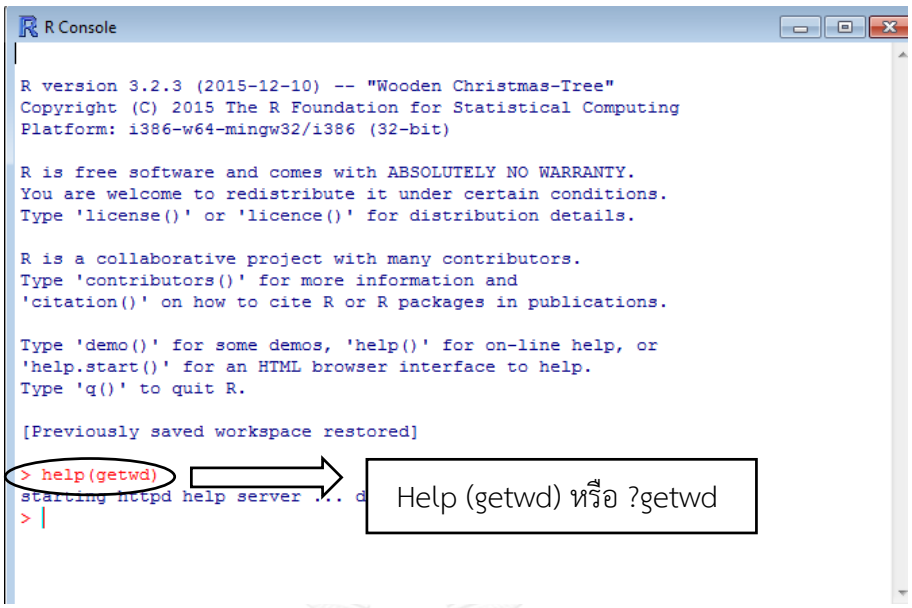
อ็อบเจกต์ (Objects) ของข้อมูล สามารถอยู่ในรูปเมทริกซ์ (Matrix) ซึ่งเมทริกซ์ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ แถว (Row) และ คอลัมน์ (Column) โดยผู้ใช้สามารถสร้างเมทริกซ์ด้วยการเขียนคำสั่ง myMatrix (row, column) ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 วิธีการเขียนคำสั่งสร้างเมทริกซ์ (Gaubatz, 2015)

จากแผนภาพข้างต้นแสดงให้เห็นถึงการสร้างเมทริกซ์ด้วยการรวมแถว (Row) อย่างไรก็ตามถ้าผู้ใช้ต้องการสร้างเมทริกซ์ที่ประกอบด้วยแถว (Row) หรือ คอลัมน์ (Column) เพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง สามารถทำได้โดยการเขียนคำสั่ง myMatrix [, column] ในกรณีที่ต้องการสร้างเมทริกซ์ที่ประกอบด้วยคอลัมน์เพียงอย่างเดียว หรือ myMatrix [row,] ในกรณีที่ต้องการสร้างเมทริกซ์ที่ประกอบด้วยแถวเพียงอย่างเดียว

อย่างไรก็ตามวิธีการ หรือ เทคนิคในการเขียนคำสั่งในโปรแกรม R ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นเพียงบางส่วน ซึ่งโปรแกรมยังประกอบไปด้วยคำสั่งอื่นที่จำเป็นในการใช้วิเคราะห์ข้อมูล โดยผู้ใช้สามารถศึกษาวิธีการเขียนคำสั่งที่ต้องการใช้ด้วยการเขียนคำสั่ง Help (command) หรือ ?command ใน Console ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 วิธีการใช้คำสั่งขอความช่วยเหลือ (Help) (Gaubatz, 2015)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล

ชนะศึก นิชานนท์ (2550) ทำการวิจัยในหัวข้อ เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ของวิธีการสรุปอ้างอิงความน่าเชื่อถือของโมเดลการตอบสนองข้อสอบ (Generalizability in Item Response) 4 รูปแบบ และ ศึกษาอิทธิพลของขนาดกลุ่มตัวอย่าง และจำนวนข้อสอบ รวมทั้งยังศึกษาความไว (Sensitivity) ของรูปแบบต่างๆ ต่อการกำหนดลักษณะการแจกแจงเริ่มแรกของค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ และ ผู้สอบที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของวิธีการประมาณ ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลจำลอง (Simulation) จากโปรแกรม R และ ทำการประมวลผลจากคำสั่งการประมวลผลด้วยโปรแกรม WinBUGS ด้วย Package R 2 WinBUGS ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

(1) เมื่อพิจารณาความลำเอียงในการประมาณค่าพบว่า รูปแบบที่ 1 กับ รูปแบบที่ 4 ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด โดยรูปแบบที่ 4 สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ได้เฉพาะลักษณะการแจกแจงเริ่มแรกของผู้สอบและข้อสอบแบบปกติ

(2) เมื่อพิจารณาความไม่แน่นอนในการประมาณค่าพบว่า รูปแบบที่ 4 มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับลักษณะการแจกแจงเริ่มแรกของผู้สอบและข้อสอบแบบปกติ และ รูปแบบที่ 1 มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับลักษณะการแจกแจงเริ่มแรกของค่าพารามิเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งของผู้สอบหรือข้อสอบที่ไม่มีลักษณะการแจกแจงเริ่มแรกแบบปกติ

(3) เมื่อพิจารณาในด้านประสิทธิภาพขององค์ประกอบความแปรปรวนยุคลิด พบว่า รูปแบบที่ 2 ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด

(4) การศึกษาอิทธิพลของขนาดกลุ่มตัวอย่างพบว่า ขนาดกลุ่มตัวอย่างส่งผลต่อประสิทธิภาพด้านความลำเอียงในการประมาณค่า และ ความไม่แน่นอนในการประมาณค่าในทุกรูปแบบ แต่จะไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพขององค์ประกอบความแปรปรวนยุคลิค

(5) การศึกษาอิทธิพลของความยาวแบบสอบพบว่า ความยาวแบบสอบส่งผลต่อประสิทธิภาพด้านความลำเอียงและประสิทธิภาพขององค์ประกอบแบบยุคลิดในทุกรูปแบบ ส่วนความไม่แน่นอนในการประมาณค่า ความยาวแบบสอบส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าเฉพาะรูปแบบที่ 3

(6) ในเรื่องการศึกษาความไวพบว่า การแจกแจงเริ่มแรกของผู้สอบส่งผลต่อประสิทธิภาพในความไม่แน่นอนในการประมาณค่าและประสิทธิภาพขององค์ประกอบความแปรปรวนยุคลิค แต่จะไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพด้านความลำเอียงในการประมาณค่า ส่วนการแจกแจงเริ่มแรกของข้อสอบพบว่าส่งผลต่อประสิทธิภาพด้านความลำเอียงในการประมาณค่า และ ความไม่แน่นอนใน การประมาณค่าทุกรูปแบบ และ ส่งผลต่อประสิทธิภาพองค์ประกอบความแปรปรวนยุคคลิดเฉพาะในกรณีที่การแจกแจงเริ่มแรกของผู้สอบเป็นแกมม่า

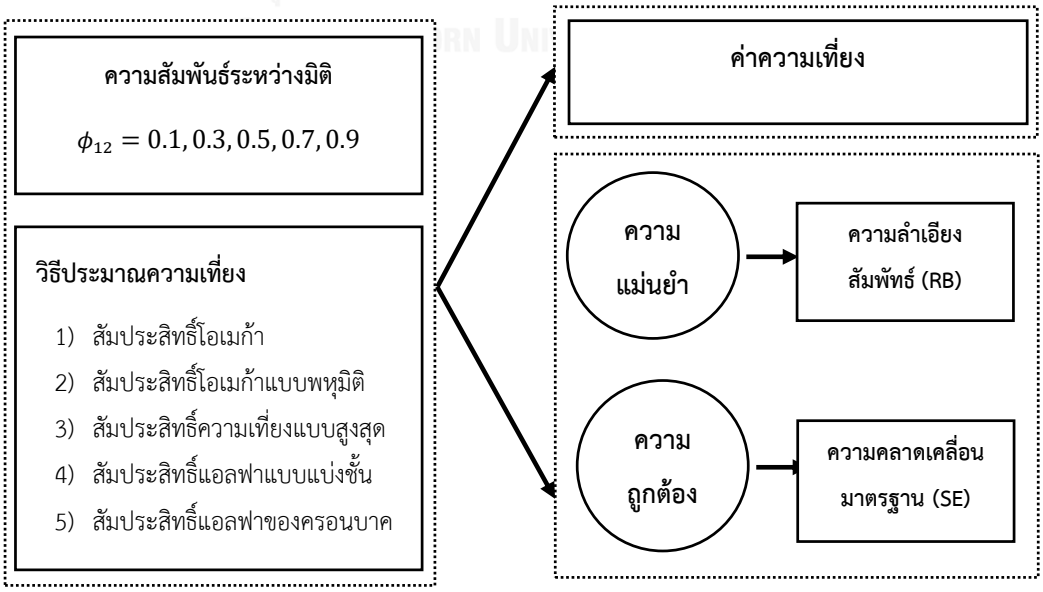
สิวะโชติ ศรีสุทธิยากร (2553) ทำการวิจัยในหัวข้อ วิธีการประมาณค่าแบบเบส์สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลพหุระดับที่ตัวแปรมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดเป็นพารามิเตอร์สุ่ม เพื่อพัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบเบส์ภายใต้โมเดลสมการโครงสร้างที่พารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบและความคลาดเคลื่อนจากการวัดในโมเดลการวัดเป็นพารามิเตอร์แบบสุ่ม ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลจำลอง (Simulation) ภายใต้สถานการณ์ที่กำหนดให้ค่าเฉลี่ยความเที่ยงรวมเท่ากับ 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9 และจำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 15, 30 และ 50 กลุ่มตัวอย่าง ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

(1) อัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นใช้การสุ่มตัวอย่างแบบกิบส์ (Gibb sampling algorithm) ประกอบด้วย ขั้นตอนการประมาณค่า 10 ขั้นตอน ซึ่งเป็นการสุ่มตัวอย่างพารามิเตอร์จากการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของพารามิเตอร์ในโมเดล และ สามารถใช้กลุ่มตัวอย่างสุ่ม ที่ได้ประมาณการแจกแจงความน่าจะเป็นภายหลังร่วมของพารามิเตอร์ในโมเดลที่ต้องการได้

(2) อัลการิทึมการสุ่มตัวอย่างแบบกิบบส์ที่พัฒนาขึ้น ให้ค่าประมาณพารามิเตอร์ที่มีค่า MSE ต่ำกว่าวิธีการประมาณค่าแบบภาวะความควรจะเป็นสูงสุดแบบ Restricted ในทุกสถานการณ์จำลอง และเมื่อปัจจัยค่าเฉลี่ยของระดับความเที่ยงหรือจำนวนกลุ่มตัวอย่างเพิ่มขึ้น จะส่งผลกระทบให้ค่า MSE ของทั้งสองวิธีลดลง โดยค่า MSE ของวิธีภาวะความควรจะเป็นสูงสุดแบบ Restricted มีค่าต่ำลงและ ลู่เข้าใกล้ค่า MSE ที่ได้จากวิธีประมาณค่าแบบเบส์ นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีประมาณค่าแบบเบส์ เป็นวิธีที่สามารถประมาณค่าได้ดีถึงแม้ว่าขนาดตัวอย่างจะมีขนาดเล็กก็ตาม

ตอนที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย

จากการศึกษาเอกสาร และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้นำมาพัฒนากรอบแนวคิดการวิจัย ดังภาพที่ 8 การวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยตัวแปรตาม 2 ตัว คือ 1) ค่าความเที่ยง และ 2) ความแม่นยำ และความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง โดยที่ความแม่นยำวัดจากค่าความลำเอียงสัมพัทธ์ (Relative Bias: RB) และ ความถูกต้องวัดจากค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error: SE) และ ตัวแปรอิสระ 2 ตัว คือ 1) ความสัมพันธ์ระหว่างมิติ กำหนดให้มี 5 ระดับความสัมพันธ์ คือ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9 และ 2) วิธีประมาณค่าความเที่ยงจำนวน 5 วิธี คือ (1) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (Construct reliability coefficient: ω) (2) ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (Multidimensional omega coefficient: ω_{MD}) (3) ค่าความเที่ยงแบบสูงสุด (Maximal reliability: Ω_w) (4) ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (Stratified alpha coefficient: α_S) และ (5) ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient: α)



ภาพที่ 8 กรอบแนวคิดในการวิจัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) โดยมีวัตถุประสงค์การวิจัย 3 ประการ ได้แก่ 1) ศึกษาค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยง 5 วิธี คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่แตกต่างกัน 2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงวิธีต่างๆ ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน และ 3) ศึกษาระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่สามารถใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคแทนการวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นข้อมูลที่จำลองจากโปรแกรม R ด้วยเทคนิคการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) มีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยทั้งภายในประเทศ และ ต่างประเทศที่เกี่ยวกับแนวคิด วิธีการ จุดเด่น และ ข้อจำกัดของการประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ

2. ศึกษาแนวคิด หลักการ วิธีการใช้งาน รวมทั้งวิธีเขียนคำสั่งสำหรับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม R

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. จำลองข้อมูลตามสถานการณ์จำลองที่ใช้ในการวิจัย ด้วยโปรแกรม R

4. ตรวจสอบข้อมูลที่จำลองขึ้นกับโมเดลการวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยโปรแกรม R

5. วิเคราะห์ข้อมูล และ เปรียบเทียบวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีอิทธิพลต่อค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ความแม่นยำ และ ความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงทั้ง 5 วิธี คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0.10, 0.30, 0.50, 0.70 และ 0.90

6. สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อเปรียบเทียบวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีต่อค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ความแม่นยำ และ ความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ มุ่งเปรียบเทียบอิทธิพลของความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่แตกต่างกัน 5 ระดับ และ วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่แตกต่างกัน 5 วิธี ที่มีต่อค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ความแม่นยำ และ ความถูกต้อง ของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง โดยมุ่งศึกษาโมเดลการวัดแบบพหุมิติที่มี 2 มิติ รายละเอียดของตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยดังต่อไปนี้

ตัวแปรอิสระ ประกอบด้วย 2 ตัวแปร คือ

1. ความสัมพันธ์ระหว่างมิติ (Multidimensionality) มี 5 ระดับ คือ 0.10, 0.30, 0.50, 0.70 และ 0.90

2. วิธีประมาณค่าความเที่ยง (Reliability estimation methods) มี 5 วิธี คือ

1) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (Construct reliability coefficient: ω)

2) ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ(Multidimensional omega coefficient: Ω_{MD})

3) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (Maximal reliability: Ω_w)

4) ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (Stratified alpha coefficient: α_s)

5) ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient: α)

ตัวแปรตาม ประกอบด้วย 2 ตัวแปร คือ

1. ค่าความเที่ยง (Reliability)

2. ความแม่นยำ และ ความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง (Accuracy and Precision of estimated reliability coefficient)

จากที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการสรุปขั้นตอนการดำเนินการวิจัยโดยรวมตั้งแต่การศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจนถึงการวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย รวมถึงตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยในรายละเอียดต่อไป จะนำเสนอวิธีดำเนินการวิจัยโดยละเอียด ซึ่งในที่นี้ แบ่งออกเป็น 4 ตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 สถานการณ์จำลองที่ใช้ในการวิจัย

ตอนที่ 2 การจำลองข้อมูลในการวิจัย

ตอนที่ 3 การตรวจสอบการจำลองข้อมูล

ตอนที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ตอนที่ 1 สถานการณ์จำลองที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมุ่งตรวจสอบความแม่นยำ และ ความถูกต้องของวิธีประมาณค่าความเที่ยง 5 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ด้วยโปรแกรม R จึงกำหนดสถานการณ์จำลองที่ใช้ในการวิจัยดังนี้

1. โมเดลการวัดในประชากร (Population measurement model) ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory factor analysis: CFA) ดังสมการที่ [8]

$$y_i = \Lambda\xi_i + \varepsilon_i \qquad [8]$$

โดยที่ y_i คือ เวกเตอร์ของตัวแปรสังเกตได้ (Observed variables vector) ขนาด $p \times 1$

Λ คือ เมทริกซ์น้ำหนักองค์ประกอบ (Factor loadings matrix) ขนาด $p \times q$

ξ_i คือ เวกเตอร์ของตัวแปรแฝงหรือมิติของการวัด (Latent variables vector) ขนาด $q \times 1$

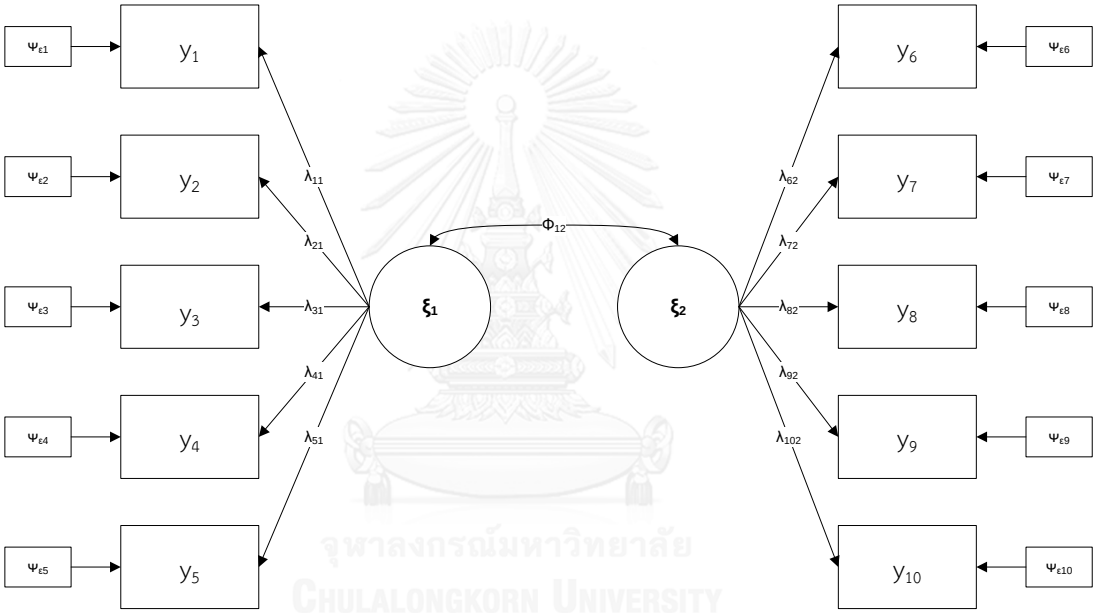
ε_i คือ เวกเตอร์ของความคลาดเคลื่อนในการวัด (measurement errors vector) ขนาด $p \times 1$

2. มิติของการวัดมีจำนวนเท่ากับ 2 มิติ ($q = 2$)

3. จำนวนข้อคำถามต่อมิติของการวัดมี 5 ข้อคำถาม รวมเป็น 10 ข้อ ($p = 10$)

4. กำหนดให้ $\xi_i \sim N(0, \Phi)$ และ $\varepsilon_i \sim N(0, \Psi_\varepsilon)$ เมื่อ Φ คือเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างมิติการวัด ขนาด 2×2 และ $\Psi_\varepsilon = diag(\psi_j)$ คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของความคลาดเคลื่อนจากการวัด ขนาด 10×10

จากข้อกำหนดข้างต้นในข้อที่ 1 ถึง ข้อที่ 4 ผู้วิจัยสามารถเขียนโมเดลการวัดในประชากร (Population measurement model) ที่ใช้ในการศึกษา ดังนี้



ภาพที่ 9 โมเดลการวัดในประชากร (Population measurement model)

5. ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีค่าเท่ากับ 0.1, 0.3, 0.5, 0.70 และ 0.9

6. ค่าความเที่ยงที่แท้จริงของแต่ละมิติ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.9 ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนของคะแนนจริงต่อความแปรปรวนของคะแนนที่สังเกตได้ ภายใต้โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis model: CFA model) มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$r_{tt} = \frac{1_p^T \Lambda \phi \Lambda^T 1_p}{1_p^T \Lambda \phi \Lambda^T 1 + \Psi\, 1_p} \qquad [9]$$

โดยที่ Λ คือ เมทริกซ์ของน้ำหนักองค์ประกอบขนาด $p \times q$

Φ คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมขององค์ประกอบขนาด $q \times q$ กำหนดให้ $\phi_{12} = 0.1, 0.3, 0.5, 0.7$ และ 0.9 ตามลำดับ

ψ คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของความคลาดเคลื่อนจากการวัด กำหนดให้ $\psi_j = 0.3899, 0.4600, 0.5333, 0.6000, 0.675$; $\forall j = 1, 2, \ldots, 10$ ตามลำดับ

1_p คือ เวกเตอร์หลัก (Column vector) ขนาด $p \times 1$ ที่มีสมาชิกทุกตัวเป็น 1

7. ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษากำหนดให้มีขนาดเท่ากับ 1000 หน่วย

8. วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มี 5 วิธี คือ (1) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (Construct reliability coefficient: ω) (2) ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (Multidimensional omega coefficient: Ω_{MD}) (3) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (Maximal reliability: Ω_w) (4) ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (Stratified alpha coefficient: α_s) และ (5) ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient: α)

จากข้อกำหนดในข้างต้น จะได้สถานการณ์ที่ใช้ทำการศึกษาครั้งนี้ทั้งสิ้น 25 สถานการณ์ (5 วิธีประมาณค่าความเที่ยง × 5 ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ) ดังตารางที่ 5 ในแต่ละสถานการณ์จะใช้ตัวอย่างขนาด 1000 หน่วย การวิจัยครั้งนี้จึงกระทำซ้ำทั้งสิ้น 1000 รอบ คิดเป็นจำนวนเลขสุ่ม (Random number) ที่ใช้ในการสร้างข้อมูลจำลองทั้งสิ้นเท่ากับ 15x1000x1000 = 15,000,000 ตัว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5 สถานการณ์จำลองที่ใช้ในการวิจัย

สถานการณ์	ความสัมพันธ์ระหว่างมิติ	วิธีประมาณค่าความเที่ยง
1	0.1	ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง
2	0.1	ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ
3	0.1	ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด
4	0.1	ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น
5	0.1	ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค
6	0.3	ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง
7	0.3	ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ
8	0.3	ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด
9	0.3	ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น
10	0.3	ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค
11	0.5	ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง
12	0.5	ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ
13	0.5	ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด
14	0.5	ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น
15	0.5	ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค
16	0.7	ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง
17	0.7	ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ
18	0.7	ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด
19	0.7	ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น
20	0.7	ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค
21	0.9	ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง
22	0.9	ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ
23	0.9	ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด
24	0.9	ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น
25	0.9	ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 2 การจำลองข้อมูลในการวิจัย

1. เพื่อให้ได้ข้อมูลจำลองตามสถานการณ์ที่กำหนดในขอบเขตของการวิจัย จึงกำหนดให้พารามิเตอร์ในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบมีค่าดังนี้

   1.1 พารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบมีค่าคงที่ในทุกสถานการณ์จำลอง โดยมีค่าเท่ากับ

$$\Lambda = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0.8 & 0.8 & 0.8 & 0.8 \\ 0.8 & 0.8 & 0.8 & 0.8 & 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^T$$

   1.2 เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมขององค์ประกอบมีค่าเท่ากับ $\Phi = \begin{pmatrix} 1 & \phi_{12} \\ \phi_{21} & 1 \end{pmatrix}$ โดยที่ $\phi_{12} = 0.1, 0.3, 0.5, 0.7$ และ 0.9 ตามลำดับ

   1.3 สมาชิกในแนวทแยงมุมของเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของความคลาดเคลื่อนจากการวัดกำหนดจากเมทริกซ์น้ำหนักองค์ประกอบและระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติของการวัดจากการคำนวณจะได้ว่ามีค่าเท่ากับ $\psi_j = 0.3899, 0.4600, 0.5333, 0.6000, 0.675;\ \forall j = 1, 2, \ldots, 10$ ตามลำดับ

   การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในโมเดลที่ [9] ตาม 1.1, 1.2 และ 1.3 จะทำให้ได้ค่าความเที่ยงที่แท้จริงเท่ากับ 0.9

2. ผู้วิจัยจำลองข้อมูลตัวอย่างด้วยวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โลโดยใช้การคำนวณภายใต้โปรแกรม R การจำลองมีขั้นตอนดังนี้

   2.1 สร้างความคลาดเคลื่อนจากการวัดแบบสุ่มจาก $\varepsilon_i \sim N(0, \Psi_\varepsilon)$ และ องค์ประกอบแฝงจาก $\xi_i \sim N(0, \Phi)$

   2.2 สร้างค่าของตัวแปรสังเกตได้ (y_i) จากการแทนค่าพารามิเตอร์ และ ข้อมูลจำลองของความคลาดเคลื่อนจากการวัดและองค์ประกอบแฝงลงในสมการที่ [8]

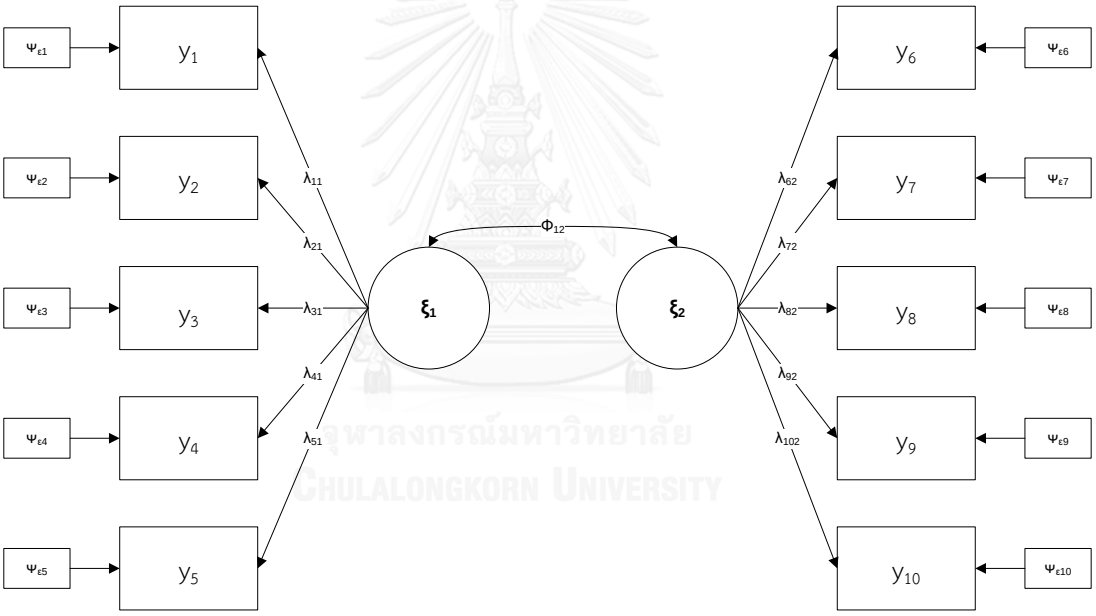
   2.3 นำข้อมูลค่าสังเกต ที่ได้ไปประมาณค่าความเที่ยงด้วยวิธีการประมาณทั้ง 5 วิธี ที่กำหนด และ บันทึกค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากแต่ละวิธี

   2.4 กระทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2.1 ถึง 2.3 จำนวน 1000 ครั้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 3 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลจำลอง

ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลจำลอง ด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลที่ได้จากโปรแกรม R ภายใต้สถานการณ์การวัดแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9 โดยใช้การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้าง ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis: CFA) เพื่อตรวจสอบยืนยันว่า โมเดลการวัดที่สร้างขึ้น ดังภาพที่ 10 มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยการพิจารณาค่า ไค-สแควร์ (χ^2) องศาอิสระ (df) ค่าสถิติไค-สแควร์สัมพัทธ์ (Relative Chi-square: χ^2/df) ดัชนีวัดระดับความสอดคล้องเปรียบเทียบ (CFI) ค่าดัชนีรากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของเศษ (SRMR) และ ดัชนีรากของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของการประมาณค่า (RMSEA) มีรายละเอียดดังตารางที่ 6



ภาพที่ 10 โมเดลการวัดที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 6 ดัชนีวัดความสอดคล้องโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์

ดัชนีความสอดคล้อง	ค่าที่แสดงความสอดคล้อง	ค่าที่ยอมรับได้ว่ามีความสอดคล้อง
χ^2	$.05 < \mathrm{p} \leq 1.00$	$.01 < \mathrm{p} \leq .05$
χ^2/df	$0 < \chi^2/df \leq 2$	$0 < \chi^2/df \leq 2$
CFI	$.97 \leq \mathrm{CFI} \leq 1.00$	$.95 \leq \mathrm{CFI} \leq .97$
RMSEA	$0 \leq \mathrm{RMSEA} \leq .05$	$0 \leq \mathrm{RMSEA} \leq .05$
SRMR	$0 \leq \mathrm{SRMR} \leq .05$	$0 \leq \mathrm{SRMR} \leq .05$

ที่มา: สุวิมล ติรกานันท์ (2553: 249)

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์ และ ความหมายที่ใช้แทนค่าสถิติ และ ตัวแปรต่างๆ ในการนำเสนอ เพื่อให้การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล และ การทำความเข้าใจเกี่ยวกับผลการวิเคราะห์ข้อมูลมีความสะดวกยิ่งขึ้น ดังนี้

χ^2	หมายถึง	ค่าสถิติไค-สแควร์ ใช้สำหรับทดสอบสมมติฐานทางสถิติว่าฟังก์ชันความกลมกลืนมีค่าเป็นศูนย์ หรือ โมเดลตามสมมติฐานมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ (Chi-square)
df	หมายถึง	องศาอิสระ (Degree of freedom)
b	หมายถึง	ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (Factor loading)
SE	หมายถึง	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error)
$z - value$	หมายถึง	ค่าสถิติทดสอบ Z
R^2	หมายถึง	สัมประสิทธิ์การทำนาย (Coefficient of determination)

ตัวแปรสังเกตได้

y 1	หมายถึง	ข้อคำถามที่ 1
y 2	หมายถึง	ข้อคำถามที่ 2
y 3	หมายถึง	ข้อคำถามที่ 3
y 4	หมายถึง	ข้อคำถามที่ 4
y 5	หมายถึง	ข้อคำถามที่ 5
y 6	หมายถึง	ข้อคำถามที่ 6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

y 7 หมายถึง ข้อคำถามที่ 7

y 8 หมายถึง ข้อคำถามที่ 8

y 9 หมายถึง ข้อคำถามที่ 9

y 10 หมายถึง ข้อคำถามที่ 10

ตัวแปรแฝง

DM 1 หมายถึง มิติการวัดที่ 1

DM 2 หมายถึง มิติการวัดที่ 2

มีรายละเอียดของผลการวิเคราะห์ดังนี้

3.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.1

จากตารางที่ 7 และ ภาพที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของโมเดลการวัด ให้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

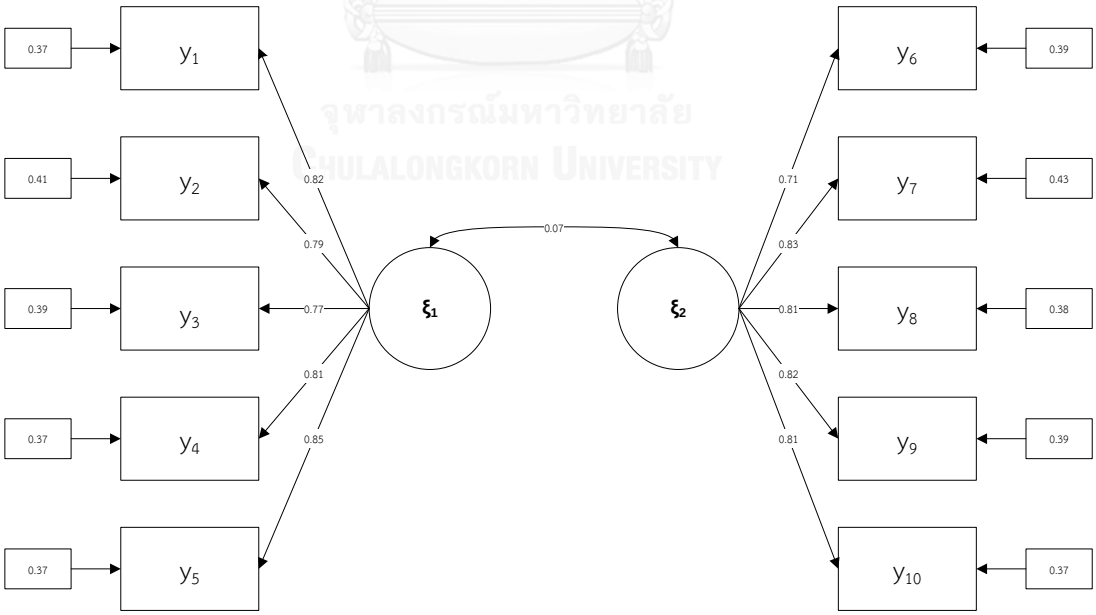
ผลการวิเคราะห์ความตรงเชิงโครงสร้าง หรือ ความสอดคล้องของโมเดลการวัดของสถานการณ์การวัดที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.1 ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน พบว่า โมเดลมีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยพิจารณาจากค่าไค-สแควร์ เท่ากับ 44.402 ($p = 0.109$) ที่องศาอิสระ (df) เท่ากับ 34 แสดงว่า ไค-สแควร์ แตกต่างจากศูนย์ อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงยอมรับสมมติฐานที่ว่า โมเดลมีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยมีค่าดัชนีวัดระดับความสอดคล้องเปรียบเทียบ (CFI) เท่ากับ 0.998 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้หนึ่ง ค่าดัชนีรากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของเศษ (SRMR) เท่ากับ 0.018 และ ค่าดัชนีรากของกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือมาตรฐาน (RMSE) เท่ากับ 0.017 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

เมื่อพิจารณาข้อคำถามของมิติการวัดที่ 1 พบว่า ข้อคำถามทุกข้อมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเป็นบวก และ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบทุกตัว มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 น้ำหนักองค์ประกอบของข้อคำถามมีค่าตั้งแต่ 0.770 ถึง 0.855 ข้อคำถามที่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบมากที่สุด คือ ข้อคำถามที่ 5 และ เมื่อพิจารณาข้อคำถามของมิติการวัดที่ 2 พบว่า ข้อคำถามทุกข้อ มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเป็นบวก และ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบทุกตัว มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 น้ำหนักองค์ประกอบของข้อคำถามมีค่าตั้งแต่ 0.793 ถึง 0.833 ข้อคำถามที่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบมากที่สุด คือ ข้อคำถามที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.1

ตัวแปร	Factor loading matrix						
	DM 1			DM 2			
	B	SE	Z-value	B	SE	Z-value	R^2
y1	0.818	0.028	29.558*	-	-	-	0.645
y2	0.791	0.028	28.161*	-	-	-	0.604
y3	0.770	0.027	28.158*	-	-	-	0.604
y4	0.811	0.028	29.434 *	-	-	-	0.642
y5	0.855	0.028	30.198 *	-	-	-	0.664
y6	-	-	-	0.793	0.028	28.668*	0.620
y7	-	-	-	0.833	0.029	28.656 *	0.620
y8	-	-	-	0.805	0.028	29.098 *	0.633
y9	-	-	-	0.816	0.028	29.083 *	0.632
y10	-	-	-	0.814	0.028	29.327 *	0.639
Chi-square = 44.402		Degrees of freedom = 34			P-value = 0.109		
CFI = 0.998		SRMR = 0.018			RMSE = 0.017		

หมายเหตุ *p < .05



ภาพที่ 11 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.*1*

3.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.3

จากตารางที่ 8 และ ภาพที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของโมเดลการวัดให้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

ผลการวิเคราะห์ความตรงเชิงโครงสร้างหรือความสอดคล้องของโมเดลการวัดของสถานการณ์การวัดที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.3 ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน พบว่า โมเดลมีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยพิจารณาจากค่าไค- สแควร์ เท่ากับ 43.184 (p = 0.134) ที่องศาอิสระ (df) เท่ากับ 34 แสดงว่า ไค-สแควร์แตกต่างจากศูนย์ อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงยอมรับสมมติฐานที่ว่า โมเดลมีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยมีค่าดัชนีวัดระดับความสอดคล้องเปรียบเทียบ (CFI) เท่ากับ 0.998 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้หนึ่ง ค่าดัชนีรากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของเศษ (SRMR) เท่ากับ 0.018 และ ค่าดัชนีรากของกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือมาตรฐาน (RMSE) เท่ากับ 0.016 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

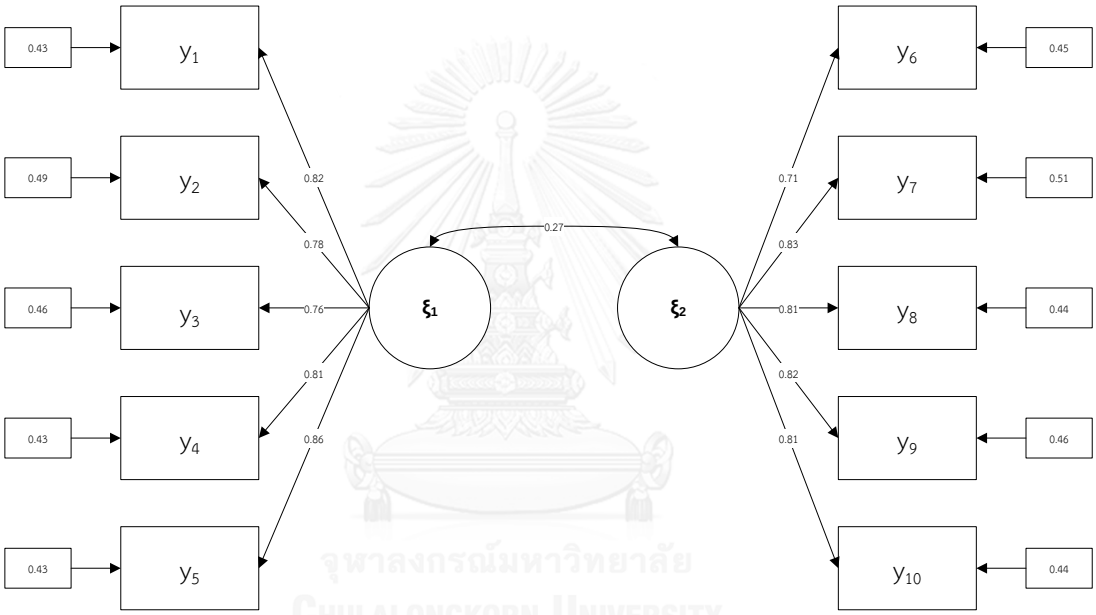
เมื่อพิจารณาข้อคำถามของมิติการวัดที่ 1 พบว่า ข้อคำถามทุกข้อมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเป็นบวก และ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบทุกตัว มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 น้ำหนักองค์ประกอบของข้อคำถามมีค่าตั้งแต่ 0.764 ถึง 0.861 ข้อคำถามที่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบมากที่สุด คือ ข้อคำถามที่ 5 และ เมื่อพิจารณาข้อคำถามของมิติการวัดที่ 2 พบว่า ข้อคำถามทุกข้อมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเป็นบวก และ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบทุกตัว มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 น้ำหนักองค์ประกอบของ ข้อคำถามมีค่าตั้งแต่ 0.790 ถึง 0.82 ข้อคำถามที่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบมากที่สุด คือ ข้อคำถามที่ 7

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.3

ตัวแปร	Factor loading matrix						
	DM 1			DM 2			
	B	SE	Z-value	B	SE	Z-value	B
y1	0.819	0.029	27.963*	-	-	-	0.607
y2	0.784	0.030	26.375*	-	-	-	0.559
y3	0.764	0.029	26.414*	-	-	-	0.560
y4	0.811	0.029	27.405*	-	-	-	0.603
y5	0.861	0.030	28.764*	-	-	-	0.631
y6	-	-	-	0.790	0.029	27.000*	0.579
y7	-	-	-	0.823	0.031	26.782*	0.572

ตัวแปร	Factor loading matrix						
	DM 1			DM 2			
	B	SE	Z-value	B	SE	Z-value	B
y8	-	-	-	0.801	0.029	27.405*	0.591
y9	-	-	-	0.819	0.030	27.553*	0.596
y10	-	-	-	0.810	0.029	27.631*	0.598
Chi-square = 43.184		Degrees of freedom = 34			P-value = 0.109		
CFI = 0.998		SRMR = 0.018			RMSE = 0.016		

หมายเหตุ *p < .05



ภาพที่ 12 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.3

3.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.5

จากตารางที่ 9 และ ภาพที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของโมเดลการวัด ให้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

ผลการวิเคราะห์ความตรงเชิงโครงสร้างหรือความสอดคล้องของโมเดลการวัดของสถานการณ์การวัดที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.5 ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน พบว่า โมเดลมีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยพิจารณาจากค่าไค- สแควร์ เท่ากับ

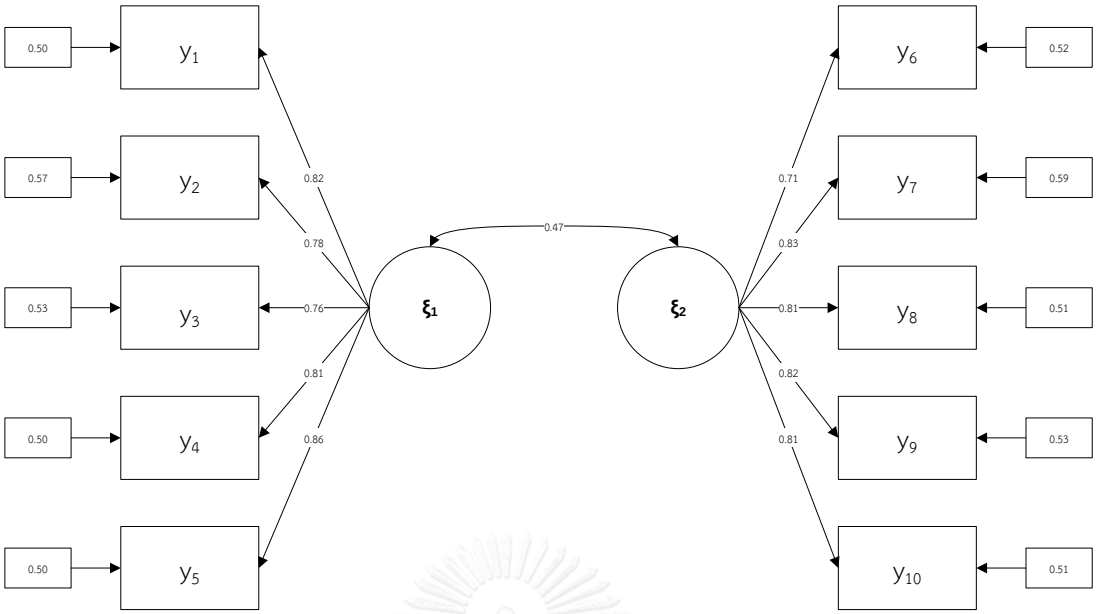
41.630 (p = 0.173) ที่องศาอิสระ (df) เท่ากับ 34 แสดงว่า ไค-สแควร์แตกต่างจากศูนย์ อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงยอมรับสมมติฐานที่ว่า โมเดลมีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยมีค่าดัชนีวัดระดับความสอดคล้องเปรียบเทียบ (CFI) เท่ากับ 0.998 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้หนึ่ง ค่าดัชนีรากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของเศษ (SRMR) เท่ากับ 0.017 และ ค่าดัชนีรากของกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือมาตรฐาน (RMSE) เท่ากับ 0.015 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

เมื่อพิจารณาข้อคำถามของมิติการวัดที่ 1 พบว่า ข้อคำถามทุกข้อมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเป็นบวก และ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบทุกตัว มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 น้ำหนักองค์ประกอบของข้อคำถามมีค่าตั้งแต่ 0.759 ถึง 0.868 ข้อคำถามที่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบมากที่สุด คือ ข้อคำถามที่ 5 และ และ เมื่อพิจารณาข้อคำถามของมิติการวัดที่ 2 พบว่า ข้อคำถามทุกข้อมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเป็นบวก และ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบทุกตัว มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 น้ำหนักองค์ประกอบของข้อคำถามมีค่าตั้งแต่ 0.787 ถึง 0.822 ข้อคำถามที่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบมากที่สุด คือ ข้อคำถามที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.5

ตัวแปร	Factor loading matrix						
	DM 1			DM 2			
	B	SE	Z-value	b	SE	Z-value	B
y1	0.819	0.031	26.531*	-	-	-	0.571
y2	0.777	0.031	24.762*	-	-	-	0.516
y3	0.759	0.030	24.891*	-	-	-	0.520
y4	0.812	0.031	26.451*	-	-	-	0.568
y5	0.868	0.032	27.477 *	-	-	-	0.600
y6	-	-	-	0.787	0.031	25.532*	0.542
y7	-	-	-	0.811	0.032	25.013 *	0.526
y8	-	-	-	0.797	0.031	25.874 *	0.553
y9	-	-	-	0.822	0.031	26.208 *	0.563
y10	-	-	-	0.806	0.031	26.098 *	0.560
Chi-square = 41.630			Degrees of freedom = 34			P-value = 0.173	
CFI = 0.998			SRMR = 0.017			RMSE = 0.015	

หมายเหตุ *p < .05



ภาพที่ 13 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.5

3.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.7

จากตารางที่ 10 และ ภาพที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของโมเดลการวัด ให้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

ผลการวิเคราะห์ความตรงเชิงโครงสร้าง หรือ ความสอดคล้องของโมเดลการวัดของสถานการณ์การวัดที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.7 ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน พบว่า โมเดลมีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยพิจารณาจากค่าไค- สแควร์ เท่ากับ 39.712 (p = 0.231) ที่องศาอิสระ (df) เท่ากับ 34 แสดงว่า ไค-สแควร์แตกต่างจากศูนย์ อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงยอมรับสมมติฐานที่ว่า โมเดลมีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยมีค่าดัชนีวัดระดับความสอดคล้องเปรียบเทียบ (CFI) เท่ากับ 0.999 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้หนึ่ง ค่าดัชนีรากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของเศษ (SRMR) เท่ากับ 0.015 และ ค่าดัชนีรากของกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือมาตรฐาน (RMSE) เท่ากับ 0.013 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

เมื่อพิจารณาข้อคำถามของมิติการวัดที่ 1 พบว่า ข้อคำถามทุกข้อมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเป็นบวก และ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบทุกตัว มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 น้ำหนักองค์ประกอบของข้อคำถามมีค่าตั้งแต่ 0.756 ถึง 0.873 ข้อคำถามที่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบมากที่สุด คือ ข้อคำถามที่ 5 และ เมื่อพิจารณาข้อคำถามของมิติการวัดที่ 2 พบว่า ข้อคำถามทุกข้อมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเป็น

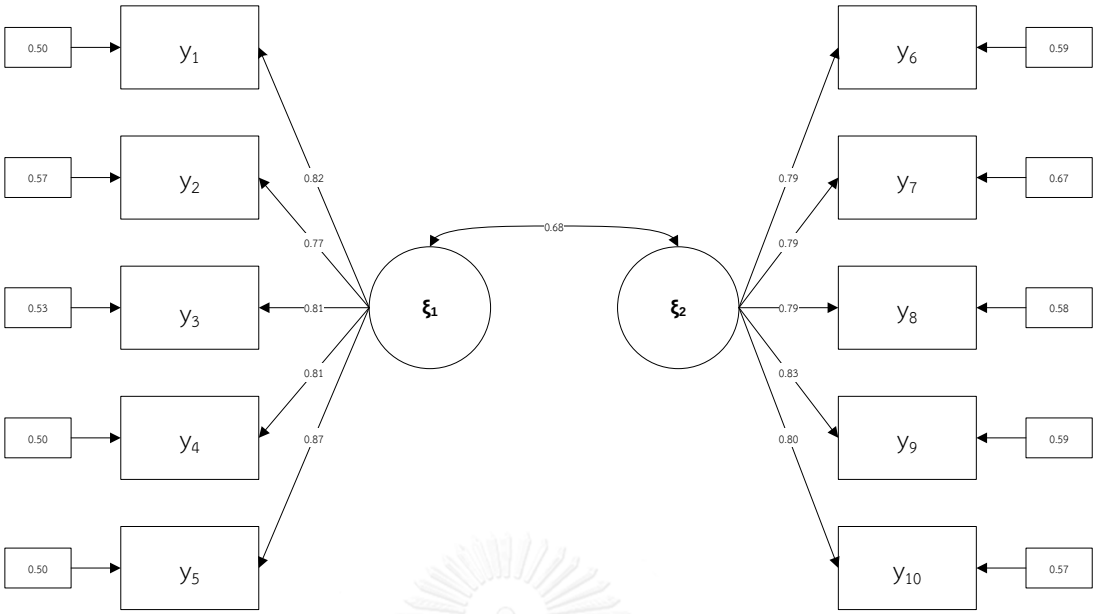
บวก และ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบทุกตัว มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 น้ำหนักองค์ประกอบของ ข้อคำถามมีค่า ตั้งแต่0.786 ถึง 0.826 ข้อคำถามที่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบมากที่สุด คือ ข้อคำถามที่ 9

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.7

ตัวแปร	Factor loading matrix						
	DM 1			DM 2			
	B	SE	Z-value	b	SE	Z-value	b
y1	0.818	0.032	25.466*	-	-	-	0.541
y2	0.769	0.033	23.550*	-	-	-	0.482
y3	0.756	0.032	23.840*	-	-	-	0.491
y4	0.814	0.032	25.445*	-	-	-	0.540
y5	0.873	0.033	26.514*	-	-	-	0.574
y6	-	-	-	0.786	0.032	24.496*	0.513
y7	-	-	-	0.794	0.034	23.578 *	0.485
y8	-	-	-	0.793	0.032	24.719*	0.520
y9	-	-	-	0.825	0.033	25.230 *	0.536
y10	-	-	-	0.801	0.032	24.966 *	0.528
Chi-square = 39.712		Degrees of freedom = 34			P-value = 0.231		
CFI = 0.999		SRMR = 0.015			RMSE = 0.013		

หมายเหตุ *p < .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 14 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.7

3.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.9

จากตารางที่ 11 และ ภาพที่ 15 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของโมเดลการวัด ให้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

ผลการวิเคราะห์ความตรงเชิงโครงสร้างหรือความสอดคล้องของโมเดลการวัดของสถานการณ์การวัดที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.9 ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน พบว่า โมเดลมีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยพิจารณาจากค่าไค- สแควร์ เท่ากับ 37.560 (p = 0.309) ที่องศาอิสระ (df) เท่ากับ 34 แสดงว่า ไค-สแควร์แตกต่างจากศูนย์ อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงยอมรับสมมติฐานที่ว่า โมเดลมีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยมีค่าดัชนีวัดระดับความสอดคล้องเปรียบเทียบ (CFI) เท่ากับ 0.999 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้หนึ่ง ค่าดัชนีรากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของเศษ (SRMR) เท่ากับ 0.014 และ ค่าดัชนีรากของกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือมาตรฐาน (RMSE) เท่ากับ 0.010 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

เมื่อพิจารณาข้อคำถามของมิติการวัดที่ 1 พบว่า ข้อคำถามทุกข้อมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเป็นบวก และ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบทุกตัว มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 น้ำหนักองค์ประกอบของข้อคำถามมีค่าตั้งแต่ 0.758 ถึง 0.874 ข้อคำถามที่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบมากที่สุด คือ ข้อคำถามที่ 5 และ เมื่อพิจารณาข้อคำถามของมิติการวัดที่ 2 พบว่า ข้อคำถามทุกข้อมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเป็น

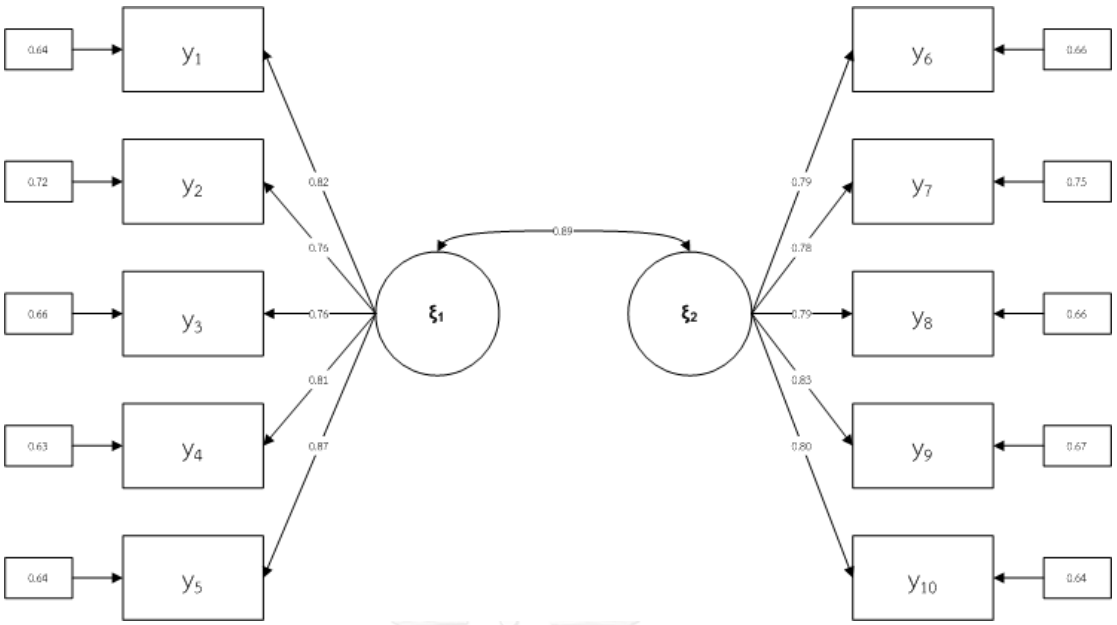
บวก และ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบทุกตัว มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 น้ำหนักองค์ประกอบของข้อคำถามมีค่าตั้งแต่ 0.776 ถึง 0.825 ข้อคำถามที่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบมากที่สุด คือ ข้อคำถามที่ 9

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.9

ตัวแปร	Factor loading matrix						
	DM 1			DM 2			
	B	SE	z-value	b	SE	z-value	B
y1	0.817	0.033	24.621*	-	-	-	0.509
y2	0.763	0.034	22.629*	-	-	-	0.449
y3	0.758	0.033	23.187*	-	-	-	0.466
y4	0.815	0.033	24.696*	-	-	-	0.512
y5	0.874	0.034	25.712*	-	-	-	0.543
y6	-	-	-	0.786	0.033	23.763*	0.485
y7	-	-	-	0.776	0.035	22.422 *	0.444
y8	-	-	-	0.787	0.033	23.787*	0.486
y9	-	-	-	0.825	0.034	24.378 *	0.504
y10	-	-	-	0.796	0.033	24.170*	0.498
Chi-square = 37.560		Degrees of freedom = 34			P-value = 0.309		
CFI = 0.999		SRMR = 0.014			RMSE = 0.015		

หมายเหตุ *p < .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 15 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.9

ตอนที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ค่าความเที่ยงที่ได้จากการจำลองข้อมูลตามสถานการณ์ที่กำหนดในขอบเขตของการวิจัยด้วยโปรแกรม R โดยคำนวณจากสูตรสัมประสิทธิ์ความเที่ยงทั้งสิ้น 5 สูตร มีรายละเอียดดังนี้

   (1) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (Construct reliability coefficient) หรือ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้า (Omega coefficient) มีสูตรคำนวณดังนี้

$$\omega = \frac{\sum_{j=1}^{q}(\sum_{i=1}^{p}\lambda_{ij})^2}{\sum_{j=q}^{q}(\sum_{i=1}^{p}\lambda_{ij})^2+(\sum_{i=1}^{p}1-\lambda_{ij}^2)} \quad [10]$$

   โดยที่ i คือ ข้อคำถามที่ $1, 2, \ldots, p$

   j คือ องค์ประกอบที่ $1,2, \ldots, q$

   λ_{ij} คือ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบของข้อคำถามที่ i ในองค์ประกอบที่ j

   k คือ จำนวนขององค์ประกอบ

   (2) ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (Multidimensional omega coefficient) มีสูตรคำนวณดังนี้

$$\Omega_{MD} = \frac{1_p^T \Lambda \Phi \Lambda^T 1_p}{1_p^T S_X 1_p} \quad [11]$$

โดยที่ Λ คือ เมทริกซ์ของน้ำหนักองค์ประกอบขนาด $p \times q$

Φ คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมขององค์ประกอบขนาด $q \times q$

S_X คือ เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมของคะแนนสังเกตได้ขนาด $p \times p$

1_p คือ เวกเตอร์หลัก (Column vector) ขนาด $p \times 1$ ที่มีสมาชิกทุกตัวเป็น 1

(3) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (Maximal reliability coefficient) หรือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted construct reliability coefficient) มีสูตรคำนวณดังนี้

$$\Omega_w = \frac{b^T \Lambda \Phi \Lambda^T b}{b^T S_X b} \quad [12]$$

โดยที่ Λ คือ เมทริกซ์ของน้ำหนักองค์ประกอบขนาด $p \times q$

Φ คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมขององค์ประกอบขนาด $q \times q$

S_X คือ เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมของคะแนนสังเกตได้ขนาด $p \times p$

b คือ ค่าสัมประสิทธิ์คะแนนองค์ประกอบ (factor score coefficient

(4) ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (Stratified alpha coefficient) มีสูตรคำนวณดังนี้

$$\alpha_s = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{k} \sigma_i^2 (1-\alpha_i)}{\sigma_x^2} \quad [13]$$

โดยที่ σ_i^2 คือ ความแปรปรวนขององค์ประกอบที่ i

α_i คือ ความเที่ยงขององค์ประกอบที่ i

σ_x^2 คือ ความแปรปรวนของคะแนนรวมทั้งหมด

k คือ จำนวนองค์ประกอบ

(5) ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach alpha coefficient) มีสูตรคำนวณดังนี้

$$\alpha = \frac{k}{k-1}\left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{k} \sigma_i^2}{\sigma_x^2}\right) \quad [14]$$

โดยที่ k คือ จำนวนข้อคำถาม

σ_i^2 คือ ความแปรปรวนขององค์ประกอบที่ i

σ_x^2 คือ ความแปรปรวนของคะแนนรวมทั้งหมด

2. ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากการจำลอง 1000 รอบของวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ภายใต้สถานการณ์การวัดแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9 โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS

3. ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ความแม่นยำ และ ความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงที่ได้จากการจำลองข้อมูลตามสถานการณ์ที่กำหนดในขอบเขตของการวิจัยด้วยโปรแกรม R เกณฑ์การพิจารณาในการวิจัยครั้งนี้มี 2 เกณฑ์ คือ ค่าความลำเอียงสัมพัทธ์ และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่าความเที่ยง โดยเพื่อให้การแปลผลค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน มีความหมายผู้วิจัยจึงจะแปลผลจากค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน รายละเอียดเป็นดังนี้

(1) ค่าความลำเอียงสัมพัทธ์ (Relative Bias: RB) ใช้พิจารณาประสิทธิภาพของการประมาณความเที่ยงในด้านความแม่นยำ มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$RB_m = \frac{\bar{\rho}_m - \rho}{\rho} \times 100 \qquad ; m = 1, 2, \ldots, 5 \qquad [15]$$

โดยที่ RB_m คือ ค่าความลำเอียงสัมพัทธ์ในการประมาณความเที่ยงของวิธีการประมาณที่ m

$\bar{\rho}_m \approx E(\hat{\rho})$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากการจำลอง 1000 รอบของวิธีที่ m

ρ คือ ค่าที่แท้จริงของค่าข้อมูลจริงที่ได้จากการคำนวณ

(2) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error: SE) ใช้พิจารณาประสิทธิภาพของการประมาณค่าความเที่ยงในด้านความถูกต้อง คำนวณจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากแต่ละรอบของการจำลอง ดังนี้

$$SE_m = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{rep}(\hat{\rho}_{km}-\bar{\rho}_m)^2}{rep-1}} \qquad ; m = 1, 2, \ldots, 5 \qquad [16]$$

โดยที่ SE_m คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณความเที่ยงด้วยวิธีประมาณที่ m

$\hat{\rho}_{km}$ คือ ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีที่ m ในรอบการจำลองที่ k

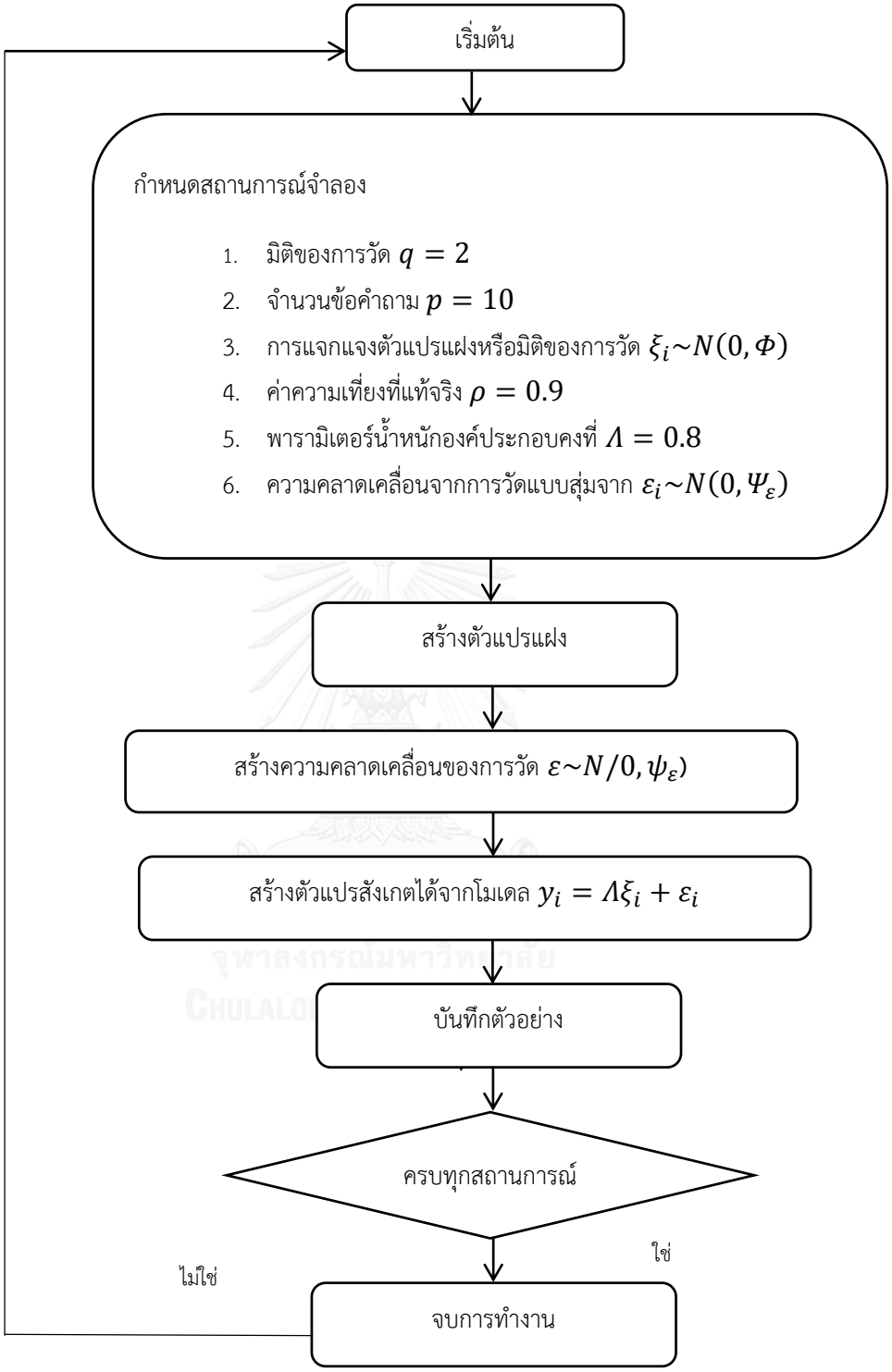
เพื่อให้การแปลผลค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณมีความหมาย ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงจะแปลผลจาก **สัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Coefficient of variation of standard error: CV)** แทนการแปลผลจากค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานโดยตรง การคำนวณค่า CV ทำได้ดังนี้

$$CV_m = \frac{SE_m}{\bar{\rho}_m} \times 100 \qquad [17]$$

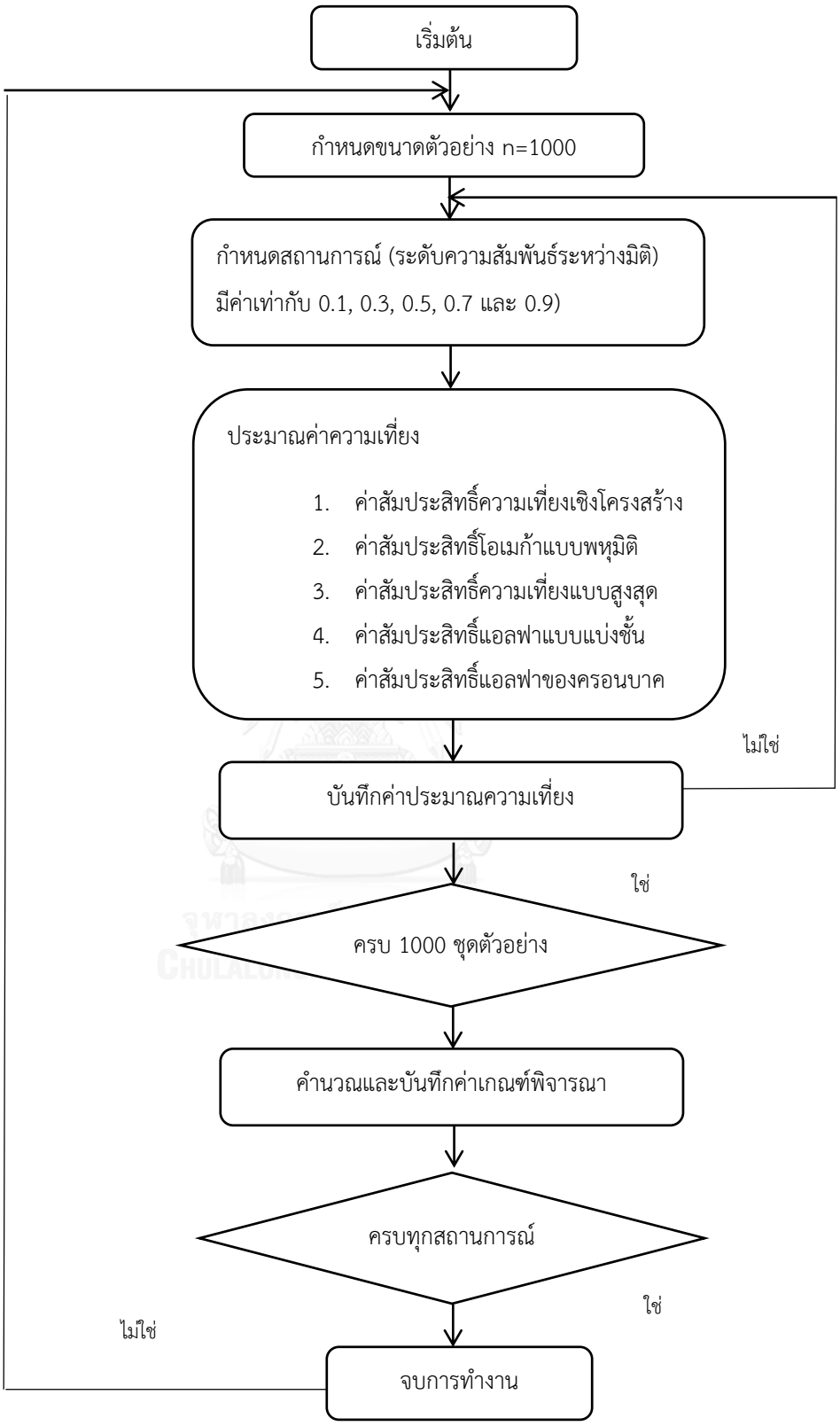
โดยที่ SE_m คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณความเที่ยงด้วยวิธีประมาณที่ m

$\bar{\rho}_m$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากการจำลอง 1000 รอบของวิธีที่ m

จากขั้นตอนการดำเนินงานในครั้งต้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูปผังการทำงานดังภาพที่ 16 และภาพที่ 17 ดังนี้



ภาพที่ 16 ขั้นตอนการจำลองข้อมูล



ภาพที่ 17 ขั้นตอนการประมาณค่าจากข้อมูลจำลอง

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีการประมาณ 5 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงวิธีต่าง ๆ เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน นอกจากนี้ยัง ศึกษาระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่สามารถใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคแทนการวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ด้วยวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) ภายใต้เงื่อนไขของการจำลองข้อมูลต่างๆ ผู้วิจัยแบ่งการนำเสนอผลการวิเคราะห์ ออกเป็น 3 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ค่าประมาณความเที่ยง

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยง

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่สามารถใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคแทนวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ค่าประมาณความเที่ยง

การวิเคราะห์ในตอนนี้มุ่งศึกษา ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยง 5 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ จะกำหนดให้ ค่าความเที่ยงที่แท้จริง (True reliability) ในแต่ละมิติ มีค่าเท่ากับ 0.9 แบ่งการวิเคราะห์ ออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การเปรียบเทียบค่าประมาณความเที่ยงด้วยการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐาน 2 ค่า ได้แก่ ค่าเฉลี่ย *(M)* และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (*SD*) และ 2) การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยง ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) มีรายละเอียดของผลการวิเคราะห์ดังนี้

1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของค่าประมาณความเที่ยง

การวิเคราะห์ในตอนนี้ มุ่งเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากการจำลองข้อมูล 1000 รอบ ของวิธีประมาณค่าความเที่ยง 5 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9 โดยการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐาน 2 ค่า คือ ค่าเฉลี่ย *(M)* และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (*SD*) ด้วยโปรแกรม R มีรายละเอียดของผลการวิเคราะห์ดังนี้

จากตารางที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีการประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี พิจารณาจากค่าเฉลี่ย (*M*) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (*SD*) พบว่า

เมื่อพิจารณาค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีค่าเท่ากับ 0.1 พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น ให้ค่าประมาณความเที่ยงสูง โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ให้ค่าประมาณความเที่ยงสูงสุด (*M*=0.9343, *SD*=0.0004) รองลงมา คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (*M*=0.9045, *SD*=0.0049) ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (*M*=0.9000, *SD*=0.0048) และ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (*M*=0.8993, *SD*=0.0048) ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (*M*=0.8180, *SD*=0.0094)

เมื่อพิจารณาค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีค่าเท่ากับ 0.3 พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น ให้ค่าประมาณความเที่ยงสูง โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ให้ค่าประมาณความเที่ยงสูงสุด (*M*=0.9372, *SD*=0.0004) รองลงมา คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (*M*=0.9033, *SD*=0.0048) ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (*M*=0.9002, *SD*=0.0048) และ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (*M*=0.8994, *SD*=0.0048) ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (*M*=0.8462, *SD*=0.0077)

เมื่อพิจารณาค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีค่าเท่ากับ 0.5 พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น ให้ค่าประมาณความเที่ยงสูง โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ให้ค่าประมาณความเที่ยงสูงสุด (*M*=0.9403, *SD*=0.0004) รองลงมา คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (*M*=0.9019, *SD*=0.0048) ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (*M*=0.8998, *SD*=0.0048) และ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (*M*=0.8989, *SD*=0.0050)ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าค่าประมาณความเที่ยงที่ได้วิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (*M*=0.8663, *SD*=0.0065)

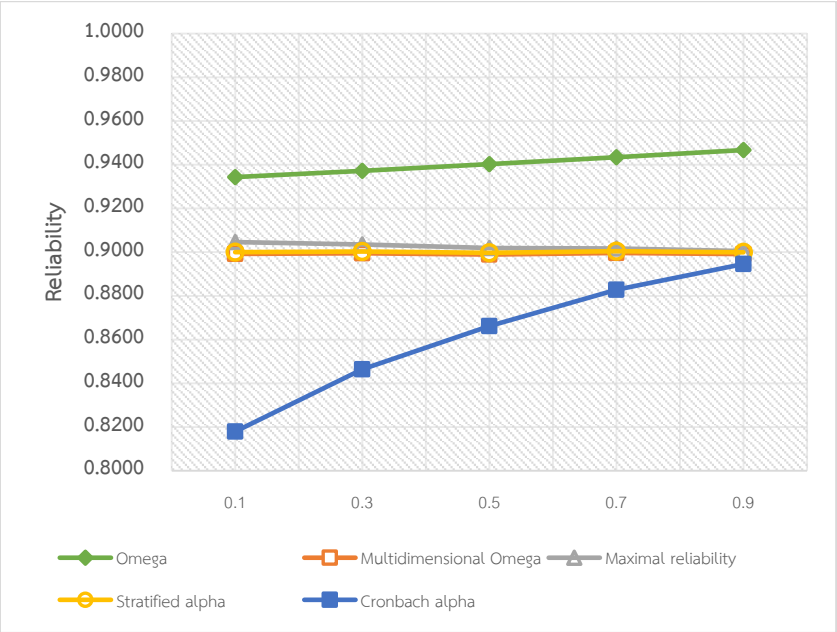
เมื่อพิจารณาค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีค่าเท่ากับ 0.7 พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น ให้ค่าประมาณความเที่ยงสูง โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างให้ค่าประมาณความเที่ยงสูงสุด (*M*=0.9434, *SD*=0.0003) รองลงมา คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (*M*=0.9017, *SD*=0.0047) ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (*M* = 0.9004, *SD* = 0.0048) และ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (*M* = 0.8996, *SD* = 0.0048) ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (*M* = 0.8827, *SD* = 0.0056)

เมื่อพิจารณาค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีค่าเท่ากับ 0.9 พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น ให้ค่าประมาณความเที่ยงที่สูง โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างให้ค่าประมาณความเที่ยงสูงสุด (*M*=0.9467, *SD*=0.0003) รองลงมา คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (*M*=0.9004, *SD*=0.0048) ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (*M*=0.8998, *SD*=0.0048) และ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (*M*=0.8991, *SD*=0.0047) ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (*M*=0.8945, *SD*=0.0050)

จากผลการวิเคราะห์ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9 ในข้างต้น พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น มีค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง เป็นวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติที่มีค่าประมาณความเที่ยงสูงสุด ส่วนค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น มีค่าประมาณความเที่ยงใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี เป็นค่าที่สูงกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Overestimation) ในทุกระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ (r=0.1, r=0.3, r=0.5, r=0.7 และr=0.9) ขณะที่ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค เป็นค่าที่ต่ำกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Underestimation) และ เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค มีค่าประมาณความเที่ยงสูงขึ้น ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ สัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่าประมาณความเที่ยงคงที่ ดังภาพที่ 18

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ย (M) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของค่าประมาณความเที่ยง

วิธีประมาณ	ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ									
	0.1		0.3		0.5		0.7		0.9	
	M	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*
ω	0.9343	0.0004	0.9372	0.0004	0.9403	0.0004	0.9434	0.0003	0.9467	0.0003
Ω_{MD}	0.8993	0.0048	0.8994	0.0048	0.8990	0.0048	0.8996	0.0048	0.8990	0.0048
Ω_{w}	0.9045	0.0049	0.9033	0.0048	0.9019	0.0048	0.9017	0.0047	0.9004	0.0048
α_{s}	0.9000	0.0048	0.9002	0.0048	0.8998	0.0048	0.9004	0.0048	0.8998	0.0048
α	0.8180	0.0094	0.8462	0.0077	0.8663	0.0065	0.8827	0.0056	0.8945	0.0050



ภาพที่ 18 ค่าประมาณความเที่ยง

1.2 ผลการวิเคราะห์การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยง

การวิเคราะห์ในตอนนี้ มุ่งทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากการจำลอง 1000 รอบ ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9 ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) จากโปรแกรม SPSS เพื่อตรวจสอบยืนยันว่าวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี มีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงแตกต่างกัน มีรายละเอียดของผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยง ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.1

จากตารางที่ 13 และ ตารางที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยง ให้ผลการวิจัยดังนี้

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงของสถานการณ์การวัด ที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.1 ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค มีค่าประมาณความเที่ยงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบรายคู่ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุดมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ และสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค และ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่า ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.1

แหล่งความแปรปรวน	SS	Df	MS	F	Sig
ระหว่างวิธีประมาณค่า	7.538	4	1.885		
ภายในวิธีประมาณค่า	0.158	4995	0.000	59544.801	0.000
รวม	7.696	4999			

หมายเหตุ *p < .05

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของวิธีประมาณค่าความเที่ยง ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.1

วิธีประมาณค่า	ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย				
	ω	Ω_{MD}	Ω_w	α_s	α
ω	-	0.0350*	0.0297*	0.0342*	0.1163*
Ω_{MD}	-	-	-0.0052*	-0.0008*	0.00813*
Ω_w	-	-	-	0.0045*	0.0865*
α_s	-	-	-	-	0.0820*
α	-	-	-	-	-

หมายเหตุ *p < .05

2) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยง ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.3

จากตารางที่ 15 และ ตารางที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยง ให้ผลการวิจัยดังนี้

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงของสถานการณ์การวัด ที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.3 ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค มีค่าประมาณความเที่ยงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบรายคู่ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุดมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ และ

สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค และ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.3

แหล่งความแปรปรวน	**SS**	**Df**	**MS**	**F**	**Sig**
ระหว่างวิธีประมาณค่า	4.255	4	1.064	41354.039	0.000
ภายในวิธีประมาณค่า	0.128	4995	0.000		
รวม	4.384	4999			

หมายเหตุ *p < .05

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของวิธีประมาณค่าความเที่ยง ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.3

วิธีประมาณค่า	**ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย**				
	ω	Ω_{MD}	Ω_{w}	α_{s}	α
ω	-	0.0378*	0.0339*	0.0370*	0.0910*
Ω_{MD}	-	-	-0.0387*	-0.0008*	0.0533*
Ω_{w}	-	-	-	0.0031*	0.0571*
α_{s}	-	-	-	-	0.0540*
α	-	-	-	-	-

หมายเหตุ *p < .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยง ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.5

จากตารางที่ 17 และ ตารางที่ 18 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยง ให้ผลการวิจัยดังนี้

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงของสถานการณ์การวัด ที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.5 ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค มีค่าประมาณความเที่ยงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบรายคู่ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุดมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ และสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค และ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค

ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.5

แหล่งความแปรปรวน	SS	Df	MS	F	Sig
ระหว่างวิธีประมาณค่า	2.750	4	0.687		
ภายในวิธีประมาณค่า	0.112	4995	0.000	30726.854	0.000
รวม	2.861	4999			

หมายเหตุ *p < .05

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของวิธีประมาณค่าความเที่ยง ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.5

วิธีประมาณค่า	ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย				
	ω	Ω_{MD}	Ω_{W}	α_{S}	α
ω	-	0.0413*	0.0383*	0.0405*	0.0739*
Ω_{MD}	-	-	-0.0029*	-0.0008*	0.0327*
Ω_{W}	-	-	-	0.0022*	0.0356*
α_{S}	-	-	-	-	0.0334*
α	-	-	-	-	-

หมายเหตุ *p < .05

4) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยง ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.7

จากตารางที่ 19 และ ตารางที่ 20 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยง ให้ผลการวิจัยดังนี้

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงของสถานการณ์การวัด ที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.7 ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค มีค่าประมาณความเที่ยงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบรายคู่ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุดมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่า ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ และ

สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค และ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่า ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.7

แหล่งความแปรปรวน	**SS**	**Df**	**MS**	**F**	**Sig**
ระหว่างวิธีประมาณค่า	2.030	4	0.507	25442.389	0.000
ภายในวิธีประมาณค่า	0.100	4995	0.000		
รวม	2.129	4999			

หมายเหตุ *p < .05

ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของวิธีประมาณค่าความเที่ยง ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.7

วิธีประมาณค่า	**ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย**				
	ω	Ω_{MD}	Ω_{w}	α_{s}	α
ω	-	0.0438*	0.0417*	0.0430*	0.0607*
Ω_{MD}	-	-	-0.0021*	-0.0008*	0.0169*
Ω_{w}	-	-	-	0.0013*	0.0190*
α_{s}	-	-	-	-	0.0177*
α	-	-	-	-	-

หมายเหตุ *p < .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5) ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยง ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.9

จากตารางที่ 21 และ ตารางที่ 22 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยง ให้ผลการวิจัยดังนี้

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงของสถานการณ์การวัด ที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.9 ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค มีค่าประมาณความเที่ยงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบรายคู่ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่า ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุดมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ และสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค และ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่า ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค

ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.9

แหล่งความแปรปรวน	SS	Df	MS	F	Sig
ระหว่างวิธีประมาณค่า	1.886	4	0.472		
ภายในวิธีประมาณค่า	0.094	4995	0.000	25075.743	0.000
รวม	1.980	4999			

หมายเหตุ *p < .05

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของวิธีประมาณค่าความเที่ยง ที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.9

วิธีประมาณค่า	**ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย**				
	ω	Ω_{MD}	Ω_w	α_s	α
ω	-	0.0477*	0.0463*	0.0469*	0.0522*
Ω_{MD}	-	-	-0.0014*	-0.0008*	0.0045*
Ω_w	-	-	-	0.0006*	0.0059*
α_s	-	-	-	-	0.0053*
α	-	-	-	-	-

หมายเหตุ *p < .05

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยง

การวิเคราะห์ในตอนนี้ มุ่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีการประมาณค่า 5 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ในการศึกษาครั้งนี้จะวัดประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงจากเกณฑ์การพิจารณาทั้งสิ้น 2 เกณฑ์ คือ 1) ค่าความลำเอียงสัมพัทธ์ (Relative Bias: RB) ใช้สำหรับพิจารณาความแม่นยำในการประมาณค่า และ 2) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error: SE) ใช้สำหรับพิจารณาความถูกต้องในการประมาณค่า และ เพื่อให้การแปลผลค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณมีความหมาย ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงจะแปลผลจาก **สัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Coefficient of variation of standard error: CV)** แทนการแปลผลจากค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานโดยตรง มีรายละเอียดของผลการวิเคราะห์ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำในการประมาณค่าด้วยการพิจารณาค่าความลำเอียงสัมพัทธ์ (Relative Bias: RB)

จากตารางที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์ความแม่นยำในการประมาณค่าของวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ซึ่งพิจารณาจากค่าความลำเอียงสัมพัทธ์ (Relative Bias: RB) พบว่า

เมื่อพิจารณาค่า RB ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีค่าเท่ากับ 0.1 พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 4 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่า RB ต่ำ โดยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่า RB ต่ำสุด (RB=-0.0005) รองลงมา คือ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (RB=-0.0801) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (RB=0.5014) และ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (RB=3.8070) ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่าค่า RB ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (RB=-9.1149)

เมื่อพิจารณาค่า RB ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีค่าเท่ากับ 0.3 พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 4 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่า RB ที่ต่ำ โดยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่า RB ต่ำสุด (RB=0.0219) รองลงมา คือ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (RB=-0.0639) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (RB=0.3660) และ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (RB=4.1329) ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่าค่า RB ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (RB=-5.9815)

เมื่อพิจารณาค่า RB ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีค่าเท่ากับ 0.5 พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 3 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่า RB ต่ำ โดยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่า RB ต่ำที่สุด (RB=-0.0257) รองลงมาคือ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (RB=-0.1221) และ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (RB=0.2140) ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่าค่า RB ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (RB=-3.7408) และ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (RB = 4.4750)

เมื่อพิจารณาค่า RB ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีค่าเท่ากับ 0.7 พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 3 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่า RB ต่ำ โดยค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ มีค่า RB ต่ำที่สุด (RB=0.0397) รองลงมา คือ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (RB=0.0474) และ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (RB=0.1921) ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่าค่า RB ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (RB=-1.9214) และ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (RB=4.8216)

เมื่อพิจารณาค่า RB ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีค่าเท่ากับ 0.9 พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 2 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่า RB ต่ำ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น มีค่า RB ต่ำที่สุด (RB=0.0255) รองลงมา คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (RB=0.0447) ซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่าค่า RB ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (RB=-0.6128) ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (RB=-0.1126) และ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง (RB=5.1878)

จากผลการวิเคราะห์ค่าความลำเอียงสัมพัทธ์ (Relative Bias: RB) ที่ได้จากวิธีการประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และมีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9 ในข้างต้น พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงในด้านความแม่นยำมากกว่าวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีค่าเท่ากับ 0.1 และ 0.3 โดยวิธีการประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 3 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น มีความแม่นยำในการประมาณค่าความเที่ยงใกล้เคียงกัน และ มีความแม่นยำในการประมาณค่าความเที่ยงมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง และ เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างมีความแม่นยำในการประมาณค่าความเที่ยงลดลง แต่ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคมีความแม่นยำในการประมาณค่าความเที่ยงมากขึ้น ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบ

พหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีความแม่นยำในการประมาณค่าความเที่ยงคงที่ ดังภาพที่ 19

2.2 การวิเคราะห์ความถูกต้องในการประมาณค่าด้วยการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Coefficient of variation of estimate: CV)

จากตารางที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์ความถูกต้องในการประมาณค่าของวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ซึ่งพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Coefficient of variation of estimate: CV) พบว่า

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Coefficient of variation of estimate: CV) ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีค่าเท่ากับ 0.1 พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 4 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่า CV ต่ำ โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างมีค่า CV ต่ำสุด (CV=0.0425) รองลงมาคือ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (CV=0.5311) ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (CV=0.5373) และ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (CV=0.5456) ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่าค่า CV ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (CV=1.1438)

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Coefficient of variation of estimate: CV) ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีค่าเท่ากับ 0.3 พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 4 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่า CV ต่ำ โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างมีค่า CV ต่ำสุด (CV=0.0426) รองลงมา คือ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (CV=0.5302) ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (CV=0.5348) และ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (CV=0.5364) ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่าค่า CV ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (CV=0.0982)

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Coefficient of variation of estimate: CV) ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีค่าเท่ากับ 0.5 พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 4 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่า CV ต่ำ โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างมีค่า CV ต่ำสุด (CV=0.0398) รองลงมา คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (CV=0.5310) ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (CV=0.5327) และ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (CV=0.5356) ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่าค่า CV ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (CV=0.7536)

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Coefficient of variation of estimate: CV) ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีค่าเท่ากับ 0.7 พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 4 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่า CV ต่ำ โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างมีค่า CV ต่ำสุด (CV=0.0352) รองลงมาคือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (CV=0.5245) ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (CV=0.5289) และ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (CV=0.5299) ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่าค่า CV ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วย ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (CV=0.6392)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

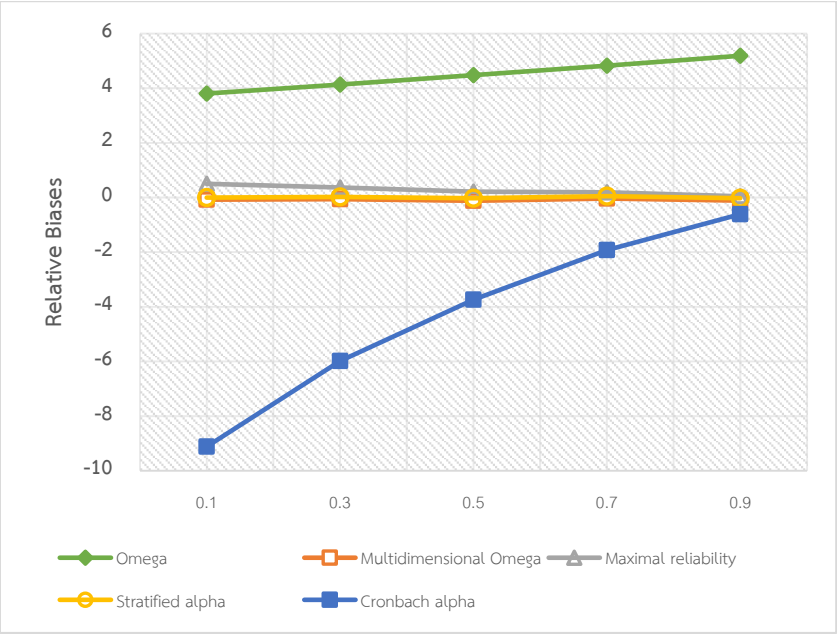
เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Coefficient of variation of estimate: CV) ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีค่าเท่ากับ 0.9 พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 4 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่า CV ต่ำ โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างมีค่า CV ต่ำสุด (CV=0.0329) รองลงมาคือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด (CV=0.5294) ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ (CV=0.5324) และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น (CV=0.5327) ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่าค่า CV ของวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (CV=0.5626)

จากผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Coefficient of variation of estimate: CV) ที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9 ในข้างต้น พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงในด้านความถูกต้องมากกกว่าวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ในทุกระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ (r=0.1, r=0.3, r=0.5, r=0.7 และ r= 0.9) โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง เป็นวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีความถูกต้องในการประมาณค่าความเที่ยงมากที่สุด ส่วนค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น มีความถูกต้องในการประมาณค่าความเที่ยงใกล้เคียงกัน และ เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคมีความถูกต้องในการประมาณค่าความเที่ยงมากขึ้น ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีความถูกต้องในการประมาณค่าความเที่ยงคงที่ ดังภาพที่ 20

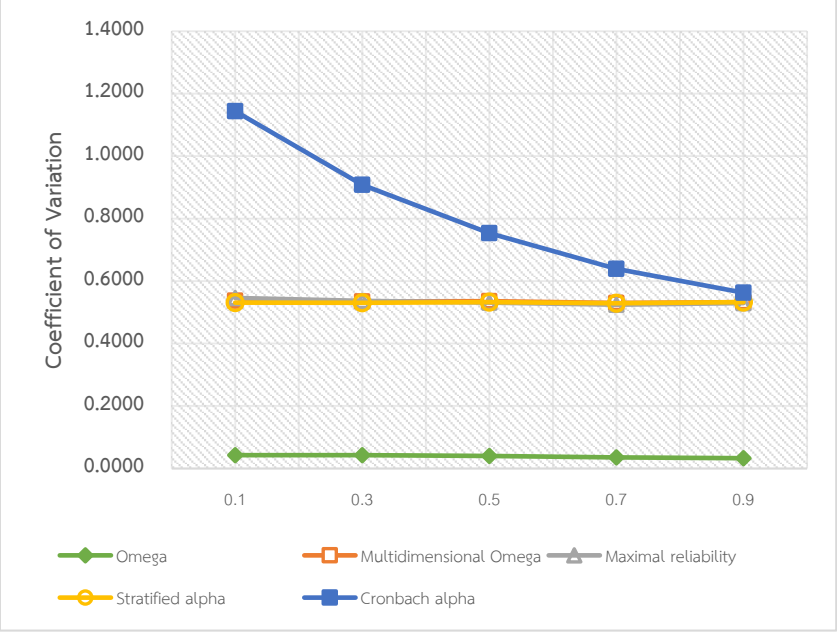
ตารางที่ 23 ความลำเอียงสัมพัทธ์ (RB) และ สัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (CV) ของค่าประมาณความเที่ยง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีประมาณ	ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ									
	0.1		0.3		0.5		0.7		0.9	
	RB	CV	RB	CV	RB	CV	RB	CV	RB	CV
ω	3.8070	0.0425	4.1329	0.0426	4.4750	0.0398	4.8216	0.0352	5.1878	0.0329
Ω_{MD}	-0.0801	0.5373	-0.0639	0.5348	-0.1221	0.5356	-0.0397	0.5299	-0.1126	0.5324
Ω_w	0.5014	0.5456	0.3660	0.5364	0.2140	0.5310	0.1921	0.5245	0.0447	0.5294
α_s	-0.0005	0.5311	0.0219	0.5302	-0.0257	0.5327	0.0474	0.5289	-0.0255	0.5327
α	-9.1149	1.1438	-5.9815	0.9082	-3.7408	0.7536	-1.9214	0.6392	-0.6128	0.5626



ภาพที่ 19 ความลำเอียงสัมพัทธ์ (RB) ของค่าประมาณความเที่ยง



ภาพที่ 20 สัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (CV)

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่สามารถใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคแทนวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ

จากผลการวิเคราะห์ค่าประมาณความเที่ยงในตอนที่ 1 พบว่า เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีค่าเท่ากับ 0.90 วิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค จะมีค่าประมาณความเที่ยงใกล้เคียงกับวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 3 วิธี คือ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และจากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยง ในตอนที่ 2 พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคมีความแม่นยำ และ ความถูกต้องของการประมาณค่าความเที่ยงใกล้เคียงกับวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 3 วิธี คือ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น นอกจากนี้ยังมีความแม่นยำ และ ความถูกต้องของการประมาณค่าความเที่ยงมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ดังนั้นวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคสามารถใช้แทนวิธีการประมาณค่าแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง “อิทธิพลของความสัมพันธ์ระหว่างมิติและวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีต่อค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ความแม่นยำ และความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง” โดยมีวัตถุประสงค์การวิจัย 3 ประการ ได้แก่ 1) ศึกษาค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยง 5 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน 2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีการประมาณค่าความเที่ยงวิธีต่าง ๆ ภายใต้สถานการณ์ที่การวัดเป็นแบบพหุมิติ และ มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน และ (3) ศึกษาระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่สามารถใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคแทนวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้จากการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล โดยใช้โปรแกรม R ภายใต้สถานการณ์จำลองจำนวนทั้งสิ้น 25 สถานการณ์ (วิธีประมาณค่าความเที่ยงมี 5 วิธี X ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติมี 5 ระดับ) ในแต่ละสถานการณ์กระทำซ้ำจำนวนทั้งสิ้น 1000 รอบ โดยทำการวิเคราะห์ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยง 5 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค พิจารณาจากค่าเฉลี่ย (*M*) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (*SD*) และ ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงในด้านความแม่นยำ และ ความถูกต้องในการประมาณค่าของวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี พิจารณาจากค่าความลำเอียงสัมพัทธ์ (Relative Bias: RB) และ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error: SE) โดยเพื่อให้การแปลผลค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานมีความหมายผู้วิจัยจึงจะแปลผลจากค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Coefficient of variation of standard error: CV)

สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยแบ่งการนำเสนอผลการวิจัย ออกเป็น 3 ตอน ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ คือ 1) ผลการวิเคราะห์ค่าประมาณความเที่ยง 2) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยง และ 3) ผลการวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่สามารถใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคแทนการวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์ค่าประมาณความเที่ยง

ผลการวิเคราะห์ค่าประมาณความเที่ยง พบว่า เมื่อศึกษาค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ภายใต้ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9 พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี มีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ

ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างมีค่าประมาณความเที่ยงอยู่ในช่วงระหว่าง 0.93 ถึง 0.95 ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ มีค่าประมาณความเที่ยงอยู่ในช่วง 0.90 ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุดมีค่าประมาณความเที่ยงอยู่ในช่วง 0.90 ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่าประมาณความเที่ยงอยู่ในช่วง 0.90 และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคมีค่าประมาณความเที่ยงอยู่ในช่วงระหว่าง 0.82 ถึง 0.90 โดยวิธีการประมาณค่าแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นจะมีค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีค่าเท่ากับ 0.1, 0.3 , 0.5 และ 0.7 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงโครงสร้าง เป็นวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงสูงสุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค มีค่าประมาณความเที่ยงสูงขึ้น ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นมีค่าประมาณความเที่ยงคงที่

2. ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยง

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงในด้านความแม่นยำ และ ความถูกต้องในการประมาณค่า พบว่า เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยง 5 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ภายใต้ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติแตกต่างกัน 5 ระดับ พบว่า เมื่อพิจารณาค่าความลำเอียงสัมพัทธ์ (Relative Bias: RB) ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น มีค่าประมาณความเที่ยงใกล้เคียงกับค่าความเที่ยงที่แท้จริง หรือ มีความแม่นยำในการประมาณค่าสูง แต่ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง จะมีค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Overestimation) ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ซึ่งเป็นวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบเอกมิติ มีค่าประมาณความเที่ยงต่ำกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Underestimation) และ มีค่าประมาณความเที่ยงสูงขึ้น เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเพิ่มขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Coefficient of variation of standard error: CV) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง จะมีการประมาณค่าที่ไม่กระจายตัวของค่า หรือ มีความถูกต้องในการประมาณค่าสูง แต่ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น จะมีการประมาณค่าที่กระจายเล็กน้อย ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค จะมีการประมาณค่าที่กระจายมากเมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่ำ และ จะลดลงเมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเพิ่มขึ้น

3. ผลการวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่สามารถใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคแทนการวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ

ผลการวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่สามารถใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคแทนการวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ พบว่า เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ

มีค่าเท่ากับ 0.9 วิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคสามารถใช้แทนวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้นได้เนื่องจากมีค่าประมาณความเที่ยง และ มีประสิทธิภาพของค่าความเที่ยงใกล้เคียงกับวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 3 วิธี คือ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ มีประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง

อภิปรายผลการวิจัย

การอภิปรายผลการวิจัยนี้จะนำเสนอ โดยยึดตามวัตถุประสงค์ และ ผลที่ได้รับจากการวิจัย มีรายละเอียดดังนี้

1. การศึกษาค่าประมาณความเที่ยง

จากผลการศึกษาค่าประมาณความเที่ยงด้วยวิธีการจำลอง พบว่า วิธีการประมาณค่าความเที่ยงทั้ง 5 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค จะมีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงแตกต่างกัน ในทุกระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ (r=0.1, r=0.3 , r=0.5, r= 0.7 และ r=0.9) วิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีค่าเฉลี่ยของค่าประมาณความเที่ยงมากที่สุด และ น้อยที่สุด คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ตามลำดับ สาเหตุเนื่องจากข้อตกลงเบื้องต้น ข้อจำกัด และ สูตรการคำนวณค่าความเที่ยงของแต่ละวิธีมีความแตกต่างกัน (Osburn, 2000; Kamata et. al., 2003; Widhiraso, 2007; เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี, 2552; วรรณวดี สุขแจ่ม, 2554; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556)

จากผลการศึกษาค่าประมาณความเที่ยงด้วยวิธีการจำลองพบว่า เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่ำ (r=0.1 และ r=0.3) วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น เป็นวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีค่าประมาณความเที่ยงสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ซึ่งค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 3 วิธี คือ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น เป็นค่าประมาณที่ใกล้เคียงกับค่าความเที่ยงที่แท้จริง แต่ค่าประมาณ

ความเที่ยงที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง เป็นค่าประมาณที่สูงกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Overestimation) เล็กน้อย ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ให้ค่าประมาณความเที่ยงที่ต่ำกว่าค่าความเที่ยงที่แท้จริง (Underestimation)

ผลการวิจัยสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 1 และ งานวิจัยในอดีตที่ทำการเปรียบเทียบค่าประมาณความเที่ยง ภายใต้การวัดแบบพหุมิติ (Osburn, 2000; Kamata et al., 2003; Zinbarge , Revelle, Yovel, & Li, 2005; Widhiarso, 2007; Revelle & Zinbarg, 2008; Margono, 2015) สาเหตุเนื่องจาก ข้อมูลจำลองมีมิติการวัดจำนวน 2 มิติ และ แต่ละมิติมีความสัมพันธ์กันน้อย หรือ มีความเป็นอิสระจากกัน ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่บ่งบอกว่าการวัดเป็นการวัดแบบพหุมิติ (ชัยวิชิต เชียรชนะ, 2552; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2555; Osburn, 2000 Kamata et. al., 2003) ดังนั้นวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ที่เป็นวิธีประมาณค่าภายใต้โมเดลการวัดแบบพหุมิติ จึงมีความเหมาะสมมากกว่าวิธีการประมาณค่าด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ที่เป็นวิธีประมาณค่าภายใต้โมเดลการวัดแบบเอกมิติ

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าประมาณความเที่ยงในแต่ละระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติด้วยวิธีการจำลอง พบว่า เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเพิ่มขึ้น (r=0.5 และ r=0.70) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค จะมีค่าประมาณความเที่ยงสูงขึ้น ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค มีค่าประมาณความเที่ยงคงที่ และ เมื่อระดับความสัมพันธ์สูงขึ้นมากพอ (r=0.90) พบว่า ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคมีแนวโน้มลู่เข้าสู่ค่าประมาณเดียวกันกับค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 3 วิธี คือ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น

ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 2 สมมติฐานข้อที่ 4 และ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kamata et al. (2003) และ Osburn (2000) ที่พบว่า เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค จะมีค่าประมาณความเที่ยงสูง อย่างไรก็ตามผลการวิจัยครั้งนี้มีความขัดแย้งกับงานวิจัยในข้างต้น ซึ่ง Kamata et al. (2003) และ Osburn (2000) พบว่า เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น จะมีค่าประมาณความเที่ยงสูงขึ้น อาจเนื่องมาจาก

งานวิจัยทั้งสองงานวิจัยข้างต้นทำการศึกษาปัจจัยอื่น ได้แก่ ขนาดกลุ่มตัวอย่าง จำนวนองค์ประกอบ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการประมาณค่าความเที่ยงด้วย

2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยง

จากผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยงด้วยวิธีการจำลอง พบว่า เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่ำ (r=0.10 และ r= 0.30) วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น เป็นวิธีประมาณค่าความเที่ยงที่มีความแม่นยำ และ ความถูกต้องในการประมาณค่าความเที่ยงมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ซึ่งวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 3 วิธี คือ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น มีความแม่นยำในการประมาณค่าความเที่ยงใกล้เคียงกัน ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างมีความแม่นยำในการประมาณค่าความเที่ยงน้อยกว่าวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 3 วิธี แต่จะเป็นวิธีที่มีความถูกต้องในการประมาณค่ามากที่สุด

ผลการวิจัยสอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 3 และ งานวิจัยในอดีตที่ทำการเปรียบเทียบค่าประมาณความเที่ยง ภายใต้การวัดแบบพหุมิติ (Osburn, 2000; Kamata et al., 2003; Zinbarge , Revelle, Yovel, & Li, 2005; Widhiarso, 2007; Revelle & Zinbarg, 2008; Margono, 2015) เนื่องจากเมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติมีค่าต่ำ แนวโน้มของการวัดจะมีความเป็นพหุมิติมากขึ้น วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ ซึ่งเป็นวิธีประมาณค่าภายใต้สถานการณ์การวัดที่มีข้อคำถาม องค์ประกอบ และ มิติ จำนวนมาก จึงประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าความเที่ยงที่แท้จริง หรือประมาณค่าได้แม่นยำมากกว่า และ มีความถูกต้องในการประมาณค่าความเที่ยงมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ซึ่งเป็นวิธีการประมาณค่าความเที่ยง ภายใต้สถานการณ์การวัดที่มุ่งวัดเพียงคุณลักษณะเดียว หรือ เป็นการวัดแบบเอกมิติ (Unidimensional measurement) (Osburn, 2000; Kamata et al., 2003; Zinbarge et al., 2005; Widhiarso, 2007; Revelle & Zinbarg, 2008)

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของค่าประมาณความเที่ยง ในแต่ละระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติ จากข้อมูลจำลอง 1000 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างมิติ มีอิทธิพลต่อความแม่นยำ และความถูกต้องในการประมาณค่าของวิธีการประมาณค่าแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเพิ่มขึ้น (r=0.5 และ r=0.70) จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้างมีความแม่นยำ

ในการประมาณค่าความเที่ยงลดลง แต่ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น มีความแม่นยำในการประมาณค่าความเที่ยงคงที่ ขณะที่ความถูกต้องในการประมาณค่าความเที่ยงของวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี มีค่าคงที่ นอกจากนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างมิติยังมีอิทธิพลต่อความถูกต้อง และ ความแม่นยำในการประมาณค่าของวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเพิ่มขึ้น (r=0.5 และ r=0.70) จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคมีความแม่นยำและ ความถูกต้องในการประมาณค่ามากขึ้น

ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 4 และ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kamata et al. (2003) และ Osburn (2000) ที่พบว่า เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเพิ่มขึ้น วิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค จะมีความแม่นยำ และ ความถูกต้องในการประมาณค่าความเที่ยงมากขึ้น เนื่องจากเมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเพิ่มขึ้น จะทำให้มิติของการวัดเป็นเหมือนมิติเดียวกัน หรือ มีความเป็นเอกมิติมากขึ้น ซึ่งเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Green et al., 1977; Cortina, 1993; Raykov, 1997, 2001; Widhiarso, 2007, Osburn, 2000; Kamata et al., 2003; Widhiarso & Ravand, 2014; Sijtsma, 2009; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) อย่างไรก็ตามผลการวิจัยนี้ขัดแย้งกับสองงานวิจัยข้างต้น ซึ่ง Kamata et al. (2003) และ Osburn (2000) จะพบว่า เมื่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น จะมีความแม่นยำและความถูกต้องในการประมาณค่ามากขึ้น อาจเนื่องมาจากงานวิจัยทั้งสองงานวิจัยข้างต้น ทำการศึกษาปัจจัยอื่น ได้แก่ ขนาดกลุ่มตัวอย่าง จำนวนองค์ประกอบ ที่เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการประมาณค่าความเที่ยงด้วย

ทั้งนี้เมื่อระดับความสัมพันธ์สูงขึ้นมากพอ (r=0.90) พบว่า วิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค มีความแม่นยำ และ ความถูกต้องในการประมาณค่าความเที่ยงสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง และ มีความแม่นยำ และ ความถูกต้องในการประมาณค่าความเที่ยงใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น สาเหตุอาจเนื่องมาจากธรรมชาติของคุณลักษณะที่ต้องการวัดมีความสัมพันธ์กันสูง ดังนั้นวิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคสามารถใช้แทนวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี แต่หากการสร้างเครื่องมือเพื่อวัดคุณลักษณะที่แตกต่างกัน ไม่สามารถจำแนกคุณลักษณะทั้งสองออกจากกันได้ หรือ มีความสัมพันธ์กัน

สูง ก็จะให้ค่าประมาณความเที่ยงเดียวกัน เนื่องจากไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ

ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

1. วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 4 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น เหมาะสำหรับสถานการณ์การวัดที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่ำ (r=0.10, r=0.30) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความแม่นยำ และ ความถูกต้องในการประมาณค่าความเที่ยงมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค

2. วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 3 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น เหมาะสำหรับสถานการณ์การวัดที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติปานกลาง (r=0.50) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความแม่นยำ และความถูกต้องในการประมาณค่าความเที่ยงมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค

3. วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติทั้ง 3 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น เหมาะสำหรับสถานการณ์การวัดที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติสูง (r = 0.70 และ r = 0.90) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความแม่นยำและความถูกต้องในการประมาณค่าความเที่ยงมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงเชิงโครงสร้าง และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค อย่างไรก็ตามหากความสัมพันธ์ระหว่างมิติอยู่ในระดับสูง (r = 0.90) วิธีประมาณค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคสามารถใช้แทนวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติได้ เมื่อยอมรับความแม่นยำในการประมาณค่าที่น้อยกว่าวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 3 วิธีเพียงเล็กน้อย

4. วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ 3 วิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์โอเมก้าแบบพหุมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น เป็นวิธีที่มีความแม่นยำ และ ความถูกต้องในการประมาณค่าความเที่ยงใกล้เคียงกัน ดังนั้นสามารถเลือกใช้วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติวิธีใดวิธีหนึ่งได้ ซึ่งวิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติที่ดีที่สุด คือ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาแบบแบ่งชั้น เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ต้องวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน เหมือน

วิธีการประมาณค่าแบบพหุมิติอีก 3 วิธี และ มีสูตรการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน จึงมีความสะดวกในการประมาณค่าความเที่ยง

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ศึกษาอิทธิพลของความสัมพันธ์ระหว่างมิติ และ วิธีประมาณค่าความเที่ยง และ กำหนดให้ปัจจัยอื่นมีค่าคงที่ แต่อย่างไรก็ตามค่าประมาณความเที่ยงอาจไม่ได้ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสองปัจจัยข้างต้นเท่านั้น ดังนั้นจึงควรตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยอื่นที่มีต่อการประมาณค่าความเที่ยงแบบพหุมิติ เช่น ขนาดตัวอย่าง จำนวนของข้อคำถาม ความสัมพันธ์ระหว่างข้อคำถาม จำนวนมิติ เป็นต้น

2. เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ศึกษา การวัดแบบพหุมิติในลักษณะความเป็นพหุมิติระหว่างข้อคำถาม (Between-item multidimensionality) เท่านั้น ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะการวัดแบบพหุมิติทั้ง 2 ลักษณะ คือ (1) ความเป็นพหุมิติระหว่างข้อคำถาม (Between-item multidimensionality) และ (2) ความเป็นพหุมิติภายในข้อคำถาม (Within-item multidimensionality)

3. เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ กำหนดให้มิติของการวัดทั้ง 2 มิติ มีค่าความเที่ยงที่แท้จริง (True reliability) เท่ากัน ซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมากในสถานการณ์จริง ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไป ควรกำหนดให้มิติของการวัดทั้ง 2 มิติ มีค่าความเที่ยงที่แท้จริง (True reliability) แตกต่างกัน เพื่อให้การประมาณค่าความเที่ยงมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

4. เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาด้วยข้อมูลจำลองเท่านั้น ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการจำลองกับข้อมูลจริง

5. เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ ไม่ได้เจาะจงลักษณะของการให้คะแนน ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะของการตรวจให้คะแนนทั้ง 2 ลักษณะ คือ (1) การตรวจให้คะแนนแบบสองค่า (Dichotomous Scoring) และ (2) การตรวจให้คะแนนแบบหลายค่า (Polytomous Scoring)

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กมลวรรณ ตังธนกานนท์. (2557). *การวัดและประเมินทักษะการปฏิบัติ*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กังวล เทียนกัณฑ์เทศน์. (2539). *การวัด การวิเคราะห์ การประเมิน ทางการศึกษาเบื้องต้น (Introduction to measurement analysis and evaluation in education)*. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ.

กิตติศักดิ์ นิวรัตน์ บุญเชิด ภิญโญอนันตพงษ์ องอาจ นัยพัฒน์ และ สุรชัย มีชาญ. (2555). การประมาณค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบตามโมเดลคะแนนจริงสัมพันธ์และโมเดลโลจีสติก 3 พารามิเตอร์. วารสารการวัดผลการศึกษา *มหาวิทยาลัยมหาสารคาม,* 17, 83-93.

ชนะศึก นิชานนท์. (2553). *ประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบเบส์โดยใช้การสรุปอ้างอิงความน่าเชื่อถือของโมเดลการตอบสนองข้อสอบ*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทาลัย, กรุงเทพมหานคร.

ชัยวิชิต เชียรชนะ. (2552). การวิเคราะห์พหุมิติ (Multidimensional Analysis). *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น,* 32(4), 13-21.

โชติกา ภาษีผล. (2554). *การสร้างและพัฒนาเครื่องมือในการวัดและประเมินผลการศึกษา*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณัฏฐภรณ์ หลาวทอง. (2559). *การสร้างเครื่องมือการวิจัยทางการศึกษา*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พัชรี จันทร์เพ็ง. (2550). *การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเชื่อมโยงคะแนนตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบแบบพหุมิติ ภายใต้การหมุนแกน โครงสร้างเชิงมิติและระดับความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

มานพ วราภักดิ์. (2550). *การจำลอง (Simulation)*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ยุทธ์ ไกยวรรณ์. (2557). *การวิเคราะห์สถิติหลายตัวแปร สำหรับงานวิจัย*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี. (2552). *การวัดผลและการสร้างแบบสอบผลสัมฤทธิ์*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ล้วน สายยศ และ อังคณา สายยศ. (2543). *เทคนิคการวัดผลการเรียนรู้*. กรุงเทพมหานคร: ชมรมเด็ก.

วรรณวดี สุขแจ่ม. (2554). *การประมาณค่าความเชื่อมั่นมาตรวัดหลายมิติ ที่ใช้วิธีการสกัดองค์ประกอบและขนาดกลุ่มตัวอย่างแตกต่างกัน*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต), มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพมหานคร.

ศิริชัย กาญจนวาสี. (2555). *ทฤษฎีการทดสอบแบบแนวใหม่ (Modern test theory)*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริชัย กาญจนวาสี. (2556). *ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม (Classical test theory)*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สาขาวิชาการการศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. (2545). *ประมวลสาระชุดวิชา การพัฒนาเครื่องมือ สำหรับการประเมินการศึกษา*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

สิวะโชติ ศรีสุทธิยากร. (2555). *วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบเบส์สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลพหุระดับที่ตัวแปรมีความคลาดเคลื่อนจากการวัด: การศึกษาสถานการณ์จำลองแบบมอนติคาร์โลและข้อมูลจริง*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

สุวิมล ติรกานันท์. (2553). *การวิเคราะห์ตัวแปรพหุในงานวิจัยทางสังคมศาสตร์*. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาการประเมินและการวิจัย คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์. (2555). *การจำลอง (Simulation)*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อนันดา สัณฐิติวณิชย์. (2556). *การพัมนาลักษณะเฉพาะของแบบสอบที่บูรณาการระหว่างตัวชี้วัด ความสามารถด้านการอ่าน การคิดวิเคราะห์ และการเขียน กับตัวชี้วัดการประเมินสาระการเรียนรู้ :การประยุกต์ใช้ทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบแบบพหุมิติ*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

อัญชลี ศรีกลชาญ. (2552). *คุณภาพการปรับเทียบคะแนนสำหรับแบบสอบรูปแบบผสม: การประยุกต์ใช้การปรับเทียบตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ ด้วยวิธีโค้งคุณลักษณะและการปรับค่าพารามิเตอร์พร้อมกัน*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

ภาษาอังกฤษ

Ackerman, T. A., Gierl, M. J., & Walker, C. M. (2003). Using multidimensional item response theory to evaluate educational and psychological tests. *Educational Measurement: Issues and Practice,* 22(3), 37-51.

Allen, M. J., & Yen, W. M. (2001). *Introduction to measurement theory*. California: Brook/Cole Publishing Company.

Anastasi, A. (1976). *Psychological testing*. Newyork: MacMillan

Brunner, M., & SÜβ, H.-M. (2005). Analyzing the reliability of multidimensional measures: An example from intelligence research. *Educational and Psychological Measurement,* 65(2), 227-240.

Cortina, J. M. (1993). What is coefficient alpha? An examination of theory and applications. *Journal of applied psychology,* 78(1), 98.

Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *psychometrika,* 16(3), 297-334.

Cronbach, L. J. (1988). Internal consistency of tests: Analyses old and new. *psychometrika,* 53(1), 63-70.

Cronin, J. J., Brady, M. K., & Hult, G. T. M. (2000). Assessing the effects of quality, value, and customer satisfaction on consumer behavioral intentions in service environments. *Journal of retailing,* 76(2), 193-218.

Davey, T., Nering, M. L., & Thompson, T. (1997). *Realistic simulation of item response data* (Vol. 97): ACT, Incorporated.

Drolet, A. L., & Morrison, D. G. (2001). Do we really need multiple-item measures in service research? *Journal of service research,* 3(3), 196-204.

Ebel, R. L. (1965). *Measuring educational achievement*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, Inc.

Eid, M., & Diener, E. (1999). Intraindividual variability in affect: Reliability, validity, and personality correlates. *Journal of Personality and Social Psychology,* 76(4), 662.

Ercan, I. (2007). *Review of Reliability and Factors Affecting the Reliability.* Anadolu University.

Ercan, I., Yazici, B., Sigirli, D., Ediz, B., & Kan, I. (2007). Examining Cronbach Alpha, Theta, Omega Reliability Coefficients According to Sample Size. *Journal of Modern Applied Statistical Methods,* 6(1), 27.

Gaubatz, K. T. (2014). *A Survivor's Guide to R: An Introduction for the Uninitiated and the Unnerved*: SAGE Publications.

Graham, J. M. (2006). Congeneric and (essentially) tau-equivalent estimates of score reliability what they are and how to use them. *Educational and Psychological Measurement,* 66(6), 930-944.

Green, S. B., Lissitz, R. W., & Mulaik, S. A. (1977). Limitations of coefficient alpha as an index of test unidimensionality1. *Educational and Psychological Measurement,* 37(4), 827-838.

Gronlund, E. N. (1976). *Measurement and evaluation in teaching*. London: MacMillan Publishing Co., Inc.

Hancock, G. R., & Mueller, R. O. (2001). Rethinking construct reliability within latent variable systems. *Structural equation modeling: Present and future*, 195-216.

Harwell, M., Stone, C. A., Hsu, T.-C., & Kirisci, L. (1996). Monte Carlo studies in item response theory. *Applied Psychological Measurement,* 20(2), 101-125.

Holt, R., and Winston. (1984). *Measurement and Evaluation in Education and Psichology*. Newyork: HoltRinehart and Winston.

Hsu, M.-H., & Chiu, C.-M. (2004). Internet self-efficacy and electronic service acceptance. *Decision support systems,* 38(3), 369-381.

Kamata, A., Turhan, A., & Darandari, E. (2003). *Estimating reliability for multidimensional composite scale scores.* Paper presented at the annual meeting of American Educational Research Association, Chicago, IL.

Kennedy, S. C., Abell, N., & Mennicke, A. (2014). Initial Validation of the Mental Health Provider Stigma Inventory. *Research on Social Work Practice*, 1049731514563577.

Li, H. (1997). A unifying expression for the maximal reliability of a linear composite. *psychometrika,* 62(2), 245-249.

Lin, H.-H., & Wang, Y.-S. (2006). An examination of the determinants of customer loyalty in mobile commerce contexts. *Information & management,* 43(3), 271-282.

Margono, G. (2015). Multidimensional Reliability of Instrument for Measuring Students' Attitudes Toward Statistics by Using Semantic Differential Scale. *American Journal of Educational Research,* 3(1), 49-53.

McCoach, D. B., Gable, R. K., & Madura, J. P. (2013). Instrument development in the affective domain. *New York, NY: Springer,* 10, 978-971.

Mehrens, W. (1984). *Measurement and Evaluation in Education and Psichology.* Newyork: HoltRinehart and Winston.

MEHRENS, W. A. L., & IRVIN, J. (1973). *Measurement and evaluation in education and psychology*.

Osburn, H. G. (2000). Coefficient alpha and related internal consistency reliability coefficients. *Psychological methods,* 5(3), 343.

Perry, J. L. (1996). Measuring public service motivation: An assessment of construct reliability and validity. *Journal of public administration research and theory,* 6(1), 5-22.

Raykov, T. (1997). Estimation of composite reliability for congeneric measures. *Applied Psychological Measurement,* 21(2), 173-184.

Raykov, T. (2001). Bias of coefficient afor fixed congeneric measures with correlated errors. *Applied Psychological Measurement,* 25(1), 69-76.

Raykov, T., & Marcoulides, G. A. (2012). Evaluation of validity and reliability for hierarchical scales using latent variable modeling. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal,* 19(3), 495-508.

Revelle, W., & Zinbarg, R. E. (2009). Coefficients alpha, beta, omega, and the glb: Comments on Sijtsma. *psychometrika,* 74(1), 145-154.

Sijtsma, K. (2009). On the use, the misuse, and the very limited usefulness of Cronbach's alpha. *psychometrika,* 74(1), 107-120.

Widhiarso, W. (2007). Estimating Reliability for Multidimensional Measure. *Unpublished research summary, Faculty of Psychology, Gadjah Mada Univer., Yogyakarta, Indonesia*.

Widhiarso, W., & Ravand, H. (2014). Estimating reliability coefficient for multidimensional measures: A pedagogical illustration. *Review of Psychology,* 21(2), 111-121.

Zinbarg, R. E., Revelle, W., Yovel, I., & Li, W. (2005). Cronbach's **α**, Revelle's **β**, and McDonald's **ω** H: Their relations with each other and two alternative conceptualizations of reliability. *psychometrika,* 70(1), 123-133.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

คำสั่งที่ใช้ในการศึกษาด้วยวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โลด้วยโปรแกรม R

```
#1) Lambda (factor loading matrix size pxq)
#2) Psi (measurement error diagonal covariance matrix size pxp)
#3) Phi (covariance matrix of ksi size qxq)
library(MASS) # call "MASS"
library(lavaan)
library(semTools)
library(psych)
library(sirt)

### example CFA model with 1 ksi and 3 observed var.
p<-5 # number of observed var
q<-2 # number of latent var.

###reliability
relia1<-0.9
relia2<-0.9
relia<-mean(c(relia1,relia2))

###
n.param<-21
###sample size
n<-1000

### specify the parameters values
lambda<-matrix(0,nrow=p*q,ncol=q)
lambda[1:5,1]<-0.8
lambda[6:10,2]<-0.8
psi1<-0.373
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
psi2<-0.373
psi<-matrix(0,nrow=p*2,ncol=p*2)
diag(psi[1:5,1:5])<-psi1
diag(psi[6:10,6:10])<-psi2

phi<-matrix(0,nrow=q,ncol=q)
diag(phi)<-1
phi[1,2]<-0.05
phi[2,1]<-phi[1,2]

#### cfa model y=lambda*ksi+e

### ksi ~ MVN(vec(0),phi)
### to generate multivariate normal data
### 1) install package "MASS"
### 2) based on "MASS" package use mvrnorm() function to generate MVN data
### 3) ?mvrnorm for help

rep=1000
#rho<-matrix(nrow=rep,ncol=2)
est.relia<-matrix(nrow=rep,ncol=5)## 1=construct relia, 2=stratified relia 3=maximal
relia and 4=cronbach alpha
#rho2<-matrix(nrow=rep,ncol=1)
for(j in 1:rep)
{
mean.ksi<-c(0,0) #for 2 dimension
ksi<-mvrnorm(n,mu=mean.ksi,Sigma=phi)

### e~MVN(vec(0),psi)
mean.e<-rep(0,p*2)   #==c(0,0,0)
e<-mvrnorm(n,mu=mean.e,Sigma=psi)
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
### generate observed var.
y<-matrix(nrow=n,ncol=p*2)
for (i in 1:n)

{
y[i,]<-t(lambda%*%ksi[i,]+e[i,]) ## t()== transpose
}

z<-data.frame(y)
names(z)[1]<-"y1"
names(z)[2]<-"y2"
names(z)[3]<-"y3"
names(z)[4]<-"y4"
names(z)[5]<-"y5"
names(z)[6]<-"y6"
names(z)[7]<-"y7"
names(z)[8]<-"y8"
names(z)[9]<-"y9"
names(z)[10]<-"y10"
z

### validate data
### install package "lavaan"
#install.packages("lavaan")

model<-'ksi1=~NA*y1+y2+y3+y4+y5
ksi2=~NA*y6+y7+y8+y9+y10

ksi1~~1*ksi1
ksi2~~1*ksi2
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
ksi1~~ksi2
'
#start<-Sys.time()
fit<-sem(model,data=z)
#stop<-Sys.time()
#use.time<-stop-start
#use.time
#summary(fit,rsquare=T)

lam<-inspect(fit,what="est")$lambda
phi.est<-inspect(fit,what="est")$psi
one<-matrix(rep(1,10),nrow=10,ncol=1)
S<-cov(z)
multi.omega<-(t(one)%*%lam%*%phi.est%*%t(lam)%*%one)/(t(one)%*%S%*%one)

lam1<-standardizedsolution(fit)[1:5,4]
lam2<-standardizedsolution(fit)[6:10,4]
lam.sum<-standardizedsolution(fit)[,4]

est.relia[j,2]<-multi.omega #multi-dimensional omega
est.relia[j,1]<-(sum(lam.sum)^2)/(sum(lam.sum)^2+sum(1-lam.sum^2)) #McDonale

#rho2[j,1]<-(sum(lam2)^2)/(sum(lam2)^2+sum(1-lam2^2))

##########################################
#method2 stratified reliabity
#install.packages("psych")
#install.packages("sirt")
stra<-cbind(names(z),c(rep(1,5),rep(2,5)))
alpha.stra<-stratified.cronbach.alpha(z, itemstrata=stra)
est.relia[j,4]<-alpha.stra[1,6] #statified alpha
```

```
####

est.relia[j,3]<-maximalRelia(fit)

est.relia[j,5]<-alpha.stra[1,3] #Cronbach alpha (overall)
#est.relia[j,8]<-alpha.stra[2,3]  #ไม่ใช้
#est.relia[j,9]<-alpha.stra[3,3]#ไม่ใช้

cat("rep=",j,"\n")
}

plot(est.relia[,1],type="l",col="pink",ylim=c(0,1.5))
points(est.relia[,2],type="l",col="violet")
plot(est.relia[,3],type="l",col="red")
points(est.relia[,4],type="l",col="darkgreen")
points(est.relia[,5],type="l",col="orange")
abline(h=0.9)

#r12<-mean(cor(z[,1:5],z[,6:10]))
#r1<-cor(z[,1:5])
#r2<-cor(z[,6:10])
#r1<-mean(c(r1[2:5,1],r1[3:5,2],r1[4:5,3],r1[5,4]))
#r2<-mean(c(r2[2:5,1],r2[3:5,2],r2[4:5,3],r2[5,4]))
#r<-r12/sqrt(r1*r2) #common correlation

library(Metrics)
actual<-rep(relia,rep)

RB<-matrix(nrow=5,ncol=1)
RB[1,1]<-(mean(est.relia[,1])-relia)/relia
RB[2,1]<-(mean(est.relia[,2])-relia)/relia
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
RB[3,1]<-(mean(est.relia[,3])-relia)/relia
RB[4,1]<-(mean(est.relia[,4])-relia)/relia
RB[5,1]<-(mean(est.relia[,5])-relia)/relia

se<-matrix(nrow=5,ncol=1)
se[1,1]<-sd(est.relia[,1])
se[2,1]<-sd(est.relia[,2])
se[3,1]<-sd(est.relia[,3])
se[4,1]<-sd(est.relia[,4])
se[5,1]<-sd(est.relia[,5])

cv<-matrix(nrow=5,ncol=1)
cv[1,1]<-se[1,1]/mean(est.relia[,1])
cv[2,1]<-se[2,1]/mean(est.relia[,2])
cv[3,1]<-se[3,1]/mean(est.relia[,3])
cv[4,1]<-se[4,1]/mean(est.relia[,4])
cv[5,1]<-se[5,1]/mean(est.relia[,5])

###CFA
library(lavaan)
# specify the model
model <- ' Factor1  =~ x1 + x2 + x3 + x4 + x5
           Factor2  =~ x6 + x7 + x8 + x9 + x10 '
# fit the model
fit <- cfa(model, data=data)
# display summary output
summary(fit, fit.measures=TRUE)
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ด้วยโปรแกรม R

1. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ภายใต้สถานการณ์การวัดที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.1

lavaan (0.5-20) converged normally after 18 iterations

Number of observations	1000
Estimator	ML
Minimum Function Test Statistic	44.402
Degrees of freedom	34
P-value (Chi-square)	0.109

Model test baseline model:

Minimum Function Test Statistic	5495.982
Degrees of freedom	45
P-value	0.000

User model versus baseline model:

Comparative Fit Index (CFI)	0.998
Tucker-Lewis Index (TLI)	0.997

Loglikelihood and Information Criteria:

Loglikelihood user model (H0)	-11669.553
Loglikelihood unrestricted model (H1)	-11647.352
Number of free parameters	21
Akaike (AIC)	23381.107

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Bayesian (BIC) 23484.169

Sample-size adjusted Bayesian (BIC) 23417.472

Root Mean Square Error of Approximation:

RMSEA 0.017

90 Percent Confidence Interval 0.000 0.031

P-value RMSEA <= 0.05 1.000

Standardized Root Mean Square Residual:

SRMR 0.018

Parameter Estimates:

Information Expected

Standard Errors Standard

Latent Variables:

	Estimate	Std.Err	Z-value	P(>|z|)
ksi1 =~				
y1	0.818	0.028	29.558	0.000
y2	0.791	0.028	28.161	0.000
y3	0.770	0.027	28.158	0.000
y4	0.811	0.028	29.434	0.000
y5	0.855	0.028	30.198	0.000
ksi2 =~				
y6	0.793	0.028	28.668	0.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

y7	0.833	0.029	28.656	0.000
y8	0.805	0.028	29.098	0.000
y9	0.816	0.028	29.083	0.000
y10	0.814	0.028	29.327	0.000

Covariances:

	Estimate	Std.Err	Z-value	P(>|z|)
ksi1 ~~				
ksi2	0.065	0.035	1.861	0.063

Variances:

	Estimate	Std.Err	Z-value	P(>|z|)
ksi1	1.000			
ksi2	1.000			
y1	0.368	0.021	17.520	0.000
y2	0.411	0.022	18.318	0.000
y3	0.389	0.021	18.319	0.000
y4	0.367	0.021	17.598	0.000
y5	0.369	0.022	17.092	0.000
y6	0.385	0.021	17.949	0.000
y7	0.426	0.024	17.955	0.000
y8	0.376	0.021	17.697	0.000
y9	0.387	0.022	17.706	0.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

y10	0.374	0.021	17.556	0.000

R-Square:

	Estimate
y1	0.645
y2	0.604
y3	0.604
y4	0.642
y5	0.664
y6	0.620
y7	0.620
y8	0.633
y9	0.632
y10	0.639

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ภายใต้สถานการณ์การวัดที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.3

lavaan (0.5-20) converged normally after 14 iterations

Number of observations	1000
Estimator	ML
Minimum Function Test Statistic	43.184
Degrees of freedom	34
P-value (Chi-square)	0.134

Model test baseline model:

Minimum Function Test Statistic	4807.406
Degrees of freedom	45
P-value	0.000

User model versus baseline model:

Comparative Fit Index (CFI)	0.998
Tucker-Lewis Index (TLI)	0.997

Loglikelihood and Information Criteria:

Loglikelihood user model (H0)	-12318.092
Loglikelihood unrestricted model (H1)	-12296.500
Number of free parameters	21
Akaike (AIC)	24678.185
Bayesian (BIC)	24781.247

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Sample-size adjusted Bayesian (BIC) 24714.550

Root Mean Square Error of Approximation:

RMSEA 0.016

90 Percent Confidence Interval 0.000 0.030

P-value RMSEA <= 0.05 1.000

Standardized Root Mean Square Residual:

SRMR 0.018

Parameter Estimates:

Information Expected

Standard Errors Standard

Latent Variables:

	Estimate	Std.Err	Z-value	P(>|z|)
ksi1 =~				
y1	0.819	0.029	27.963	0.000
y2	0.784	0.030	26.375	0.000
y3	0.764	0.029	26.414	0.000
y4	0.811	0.029	27.851	0.000
y5	0.861	0.030	28.764	0.000
ksi2 =~				
y6	0.790	0.029	27.000	0.000
y7	0.823	0.031	26.782	0.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

y8	0.801	0.029	27.405	0.000
y9	0.819	0.030	27.553	0.000
y10	0.810	0.029	27.631	0.000

Covariances:

	Estimate	Std.Err	Z-value	P(>|z|)
ksi1 ~~				
ksi2	0.266	0.034	7.881	0.000

Variances:

	Estimate	Std.Err	Z-value	P(>|z|)
ksi1	1.000			
ksi2	1.000			
y1	0.434	0.025	17.555	0.000
y2	0.486	0.026	18.435	0.000
y3	0.459	0.025	18.416	0.000
y4	0.433	0.025	17.624	0.000
y5	0.434	0.025	17.026	0.000
y6	0.453	0.025	17.977	0.000
y7	0.506	0.028	18.096	0.000
y8	0.443	0.025	17.744	0.000
y9	0.455	0.026	17.655	0.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

y10	0.441	0.025	17.608	0.000

R-Square:

	Estimate
y1	0.607
y2	0.559
y3	0.560
y4	0.603
y5	0.631
y6	0.579
y7	0.572
y8	0.591
y9	0.596
y10	0.598

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ภายใต้สถานการณ์การวัดที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.5

lavaan (0.5-20) converged normally after 14 iterations

Number of observations	1000
Estimator	ML
Minimum Function Test Statistic	41.630
Degrees of freedom	34
P-value (Chi-square)	0.173

Model test baseline model:

Minimum Function Test Statistic	4317.038
Degrees of freedom	45
P-value	0.000

User model versus baseline model:

Comparative Fit Index (CFI)	0.998
Tucker-Lewis Index (TLI)	0.998

Loglikelihood and Information Criteria:

Loglikelihood user model (H0)	-12862.356
Loglikelihood unrestricted model (H1)	-12841.541
Number of free parameters	21
Akaike (AIC)	25766.712
Bayesian (BIC)	25869.775

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Sample-size adjusted Bayesian (BIC) 25803.078

Root Mean Square Error of Approximation:

RMSEA 0.015

90 Percent Confidence Interval 0.000 0.029

P-value RMSEA <= 0.05 1.000

7Standardized Root Mean Square Residual:

SRMR 0.017

Parameter Estimates:

Information Expected

Standard Errors Standard

Latent Variables:

	Estimate	Std.Err	Z-value	P(>|z|)
ksi1 =~				
y1	0.819	0.031	26.531	0.000
y2	0.777	0.031	24.762	0.000
y3	0.759	0.030	24.891	0.000
y4	0.812	0.031	26.451	0.000
y5	0.868	0.032	27.477	0.000
ksi2 =~				
y6	0.787	0.031	25.532	0.000
y7	0.811	0.032	25.013	0.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

y8	0.797	0.031	25.874	0.000
y9	0.822	0.031	26.208	0.000
y10	0.806	0.031	26.098	0.000

Covariances:

	Estimate	Std.Err	Z-value	P(>|z|)
ksi1 ~~				
ksi2	0.470	0.030	15.719	0.000

Variances:

	Estimate	Std.Err	Z-value	P(>|z|)
ksi1	1.000			
ksi2	1.000			
y1	0.504	0.028	17.691	0.000
y2	0.565	0.030	18.631	0.000
y3	0.531	0.029	18.570	0.000
y4	0.501	0.028	17.739	0.000
y5	0.502	0.029	17.084	0.000
y6	0.524	0.029	18.079	0.000
y7	0.592	0.032	18.352	0.000
y8	0.514	0.029	17.888	0.000
y9	0.525	0.030	17.692	0.000
y10	0.511	0.029	17.758	0.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

R-Square:

	Estimate
y1	0.571
y2	0.516
y3	0.520
y4	0.568
y5	0.600
y6	0.542
y7	0.526
y8	0.553
y9	0.563
y10	0.560

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ภายใต้สถานการณ์การวัดที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.7

lavaan (0.5-20) converged normally after 14 iterations

Number of observations	1000
Estimator	ML
Minimum Function Test Statistic	39.712
Degrees of freedom	34
P-value (Chi-square)	0.231

Model test baseline model:

Minimum Function Test Statistic	4076.600
Degrees of freedom	45
P-value	0.000

User model versus baseline model:

Comparative Fit Index (CFI)	0.999
Tucker-Lewis Index (TLI)	0.998

Loglikelihood and Information Criteria:

Loglikelihood user model (H0)	-13236.898
Loglikelihood unrestricted model (H1)	-13217.042
Number of free parameters	21
Akaike (AIC)	26515.796
Bayesian (BIC)	26618.859

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Sample-size adjusted Bayesian (BIC) 26552.161

Root Mean Square Error of Approximation:

RMSEA 0.013

90 Percent Confidence Interval 0.000 0.027

P-value RMSEA <= 0.05 1.000

Standardized Root Mean Square Residual:

SRMR 0.015

Parameter Estimates:

Information Expected

Standard Errors Standard

Latent Variables:

	Estimate	Std.Err	Z-value	P(>|z|)
ksi1 =~				
y1	0.818	0.032	25.466	0.000
y2	0.769	0.033	23.550	0.000
y3	0.756	0.032	23.840	0.000
y4	0.814	0.032	25.445	0.000
y5	0.873	0.033	26.514	0.000
ksi2 =~				
y6	0.786	0.032	24.496	0.000
y7	0.794	0.034	23.578	0.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

y8	0.793	0.032	24.719	0.000
y9	0.825	0.033	25.230	0.000
y10	0.801	0.032	24.966	0.000

Covariances:

	Estimate	Std.Err	Z-value	P(>|z|)
ksi1 ~~				
ksi2	0.676	0.023	28.929	0.000

Variances:

	Estimate	Std.Err	Z-value	P(>|z|)
ksi1	1.000			
ksi2	1.000			
y1	0.568	0.032	18.032	0.000
y2	0.637	0.034	18.963	0.000
y3	0.594	0.032	18.836	0.000
y4	0.563	0.031	18.044	0.000
y5	0.566	0.032	17.412	0.000
y6	0.586	0.032	18.347	0.000
y7	0.671	0.036	18.787	0.000
y8	0.580	0.032	18.231	0.000
y9	0.589	0.033	17.954	0.000
y10	0.573	0.032	18.100	0.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

R-Square:

	Estimate
y1	0.541
y2	0.482
y3	0.491
y4	0.540
y5	0.574
y6	0.513
y7	0.485
y8	0.520
y9	0.536
y10	0.528

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ภายใต้สถานการณ์การวัดที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.9

lavaan (0.5-20) converged normally after 15 iterations

Number of observations	1000
Estimator	ML
Minimum Function Test Statistic	37.560
Degrees of freedom	34
P-value (Chi-square)	0.309

Model test baseline model:

Minimum Function Test Statistic	4026.862
Degrees of freedom	45
P-value	0.000

User model versus baseline model:

Comparative Fit Index (CFI)	0.999
Tucker-Lewis Index (TLI)	0.999

Loglikelihood and Information Criteria:

Loglikelihood user model (H0)	-13534.528
Loglikelihood unrestricted model (H1)	-13515.748
Number of free parameters	21
Akaike (AIC)	27111.056

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Bayesian (BIC) 27214.119

Sample-size adjusted Bayesian (BIC) 27147.422

Root Mean Square Error of Approximation:

RMSEA 0.010

90 Percent Confidence Interval 0.000 0.026

P-value RMSEA <= 0.05 1.000

Standardized Root Mean Square Residual:

SRMR 0.014

Parameter Estimates:

Information Expected

Standard Errors Standard

Latent Variables:

	Estimate	Std.Err	Z-value	P(>|z|)
ksi1 =~				
y1	0.817	0.033	24.621	0.000
y2	0.763	0.034	22.629	0.000
y3	0.758	0.033	23.187	0.000
y4	0.815	0.033	24.696	0.000
y5	0.874	0.034	25.712	0.000
ksi2 =~				
y6	0.786	0.033	23.763	0.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

y7	0.776	0.035	22.422	0.000
y8	0.787	0.033	23.787	0.000
y9	0.825	0.034	24.378	0.000
y10	0.796	0.033	24.170	0.000

Covariances:

	Estimate	Std.Err	Z-value	P(>|z|)
ksi1 ~~				
ksi2	0.886	0.015	59.706	0.000

Variances:

	Estimate	Std.Err	Z-value	P(>|z|)
ksi1	1.000			
ksi2	1.000			
y1	0.643	0.034	18.876	0.000
y2	0.715	0.036	19.643	0.000
y3	0.660	0.034	19.447	0.000
y4	0.634	0.034	18.843	0.000
y5	0.643	0.035	18.364	0.000
y6	0.657	0.034	19.096	0.000
y7	0.754	0.038	19.602	0.000
y8	0.655	0.034	19.086	0.000
y9	0.671	0.036	18.834	0.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

y10	0.640	0.034	18.925	0.000

R-Square:

	Estimate
y1	0.509
y2	0.449
y3	0.466
y4	0.512
y5	0.543
y6	0.485
y7	0.444
y8	0.486
y9	0.504
y10	0.498

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค
การประมาณค่าความเที่ยงด้วยโปรแกรม R

(แสดงตัวอย่างค่าประมาณความเที่ยงบางส่วน)

1. ผลการประมาณค่าความเที่ยงที่ได้จากข้อมูลจำลอง 500 ชุด จำแนกตามวิธีประมาณค่าความเที่ยง ภายใต้สถานการณ์การวัดที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.1

ตาราง ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากข้อมูลจำลอง 500 ชุด

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
1	0.934615	0.899285	0.903212	0.898655499	0.81975
2	0.9339	0.895894	0.898435	0.896046686	0.807572
3	0.934158	0.895755	0.898875	0.896557605	0.811603
4	0.934067	0.902695	0.906135	0.904036123	0.822296
5	0.934622	0.90193	0.908754	0.902858211	0.826532
6	0.934436	0.897803	0.89971	0.897781411	0.81656
7	0.933807	0.899601	0.905452	0.900786583	0.813862
8	0.934673	0.908415	0.915601	0.9085904	0.835733
9	0.934603	0.89898	0.904355	0.900449284	0.822754
10	0.934041	0.902049	0.907216	0.90356964	0.821326
11	0.93443	0.900854	0.908789	0.902268485	0.823624
12	0.934185	0.900935	0.907231	0.902806115	0.821796
13	0.93401	0.893564	0.897783	0.894358674	0.806356
14	0.933694	0.902359	0.906489	0.902774934	0.815619
15	0.933988	0.891071	0.897004	0.892583966	0.803371
16	0.934665	0.902319	0.90707	0.903482287	0.827885
17	0.934737	0.911623	0.915779	0.912762051	0.842842
18	0.934337	0.906291	0.908265	0.905570768	0.827367
19	0.934164	0.905227	0.909235	0.906613606	0.827436

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
20	0.934528	0.899641	0.903253	0.899777022	0.820684
21	0.934375	0.898246	0.90542	0.89857431	0.817158
22	0.934515	0.898859	0.904147	0.900363599	0.821426
23	0.934624	0.906718	0.916629	0.908576963	0.835482
24	0.933694	0.906418	0.910469	0.907454487	0.823148
25	0.934387	0.897446	0.903617	0.899439714	0.818863
26	0.934236	0.901959	0.906445	0.90321835	0.822901
27	0.934433	0.885256	0.895662	0.887494157	0.800641
28	0.934453	0.904418	0.909081	0.9053014	0.828453
29	0.934117	0.902634	0.911164	0.901811207	0.818447
30	0.934348	0.896909	0.8998	0.897409188	0.815075
31	0.934436	0.902925	0.907032	0.903452937	0.825389
32	0.934427	0.898598	0.903088	0.899568288	0.819293
33	0.934424	0.902713	0.907261	0.903981807	0.826137
34	0.934714	0.900633	0.903825	0.901305734	0.825049
35	0.933766	0.903427	0.907903	0.903672658	0.817939
36	0.933496	0.900038	0.905782	0.900774285	0.810064
37	0.935496	0.905323	0.907798	0.905655405	0.839345
38	0.934076	0.905036	0.907947	0.905426829	0.82423
39	0.934598	0.8996	0.907934	0.900333158	0.821502
40	0.934375	0.898368	0.901991	0.899336373	0.818207
41	0.934524	0.897565	0.900217	0.898032269	0.817884
42	0.934614	0.895497	0.900301	0.897214951	0.817972
43	0.934588	0.898122	0.906609	0.900621223	0.822981
44	0.93484	0.905983	0.911722	0.906862209	0.834313
45	0.934301	0.90501	0.908785	0.904840327	0.825941
46	0.933338	0.896719	0.902185	0.898507796	0.804493

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
47	0.934609	0.905811	0.913278	0.907480866	0.833556
48	0.933896	0.903318	0.906872	0.903092468	0.818454
49	0.934413	0.905498	0.908424	0.905081711	0.827472
50	0.93465	0.899105	0.906668	0.898551826	0.820016
51	0.934751	0.901242	0.904109	0.902117051	0.826786
52	0.934633	0.895877	0.900023	0.896898602	0.817623
53	0.934005	0.906298	0.909983	0.90754093	0.827034
54	0.934101	0.902943	0.911078	0.90416935	0.822815
55	0.934511	0.898603	0.90191	0.899849673	0.820575
56	0.934476	0.895519	0.900122	0.894486694	0.811744
57	0.934048	0.900362	0.90484	0.900226357	0.815616
58	0.933717	0.90237	0.905003	0.903012718	0.816422
59	0.933522	0.902488	0.905101	0.90328164	0.814452
60	0.933995	0.907231	0.911844	0.90759333	0.826764
61	0.934515	0.904397	0.908665	0.905086336	0.828505
62	0.934193	0.904053	0.908166	0.904352658	0.823855
63	0.934524	0.905567	0.911781	0.907353769	0.832321
64	0.93448	0.893119	0.90001	0.894070652	0.811384
65	0.934683	0.907427	0.911095	0.908204285	0.835364
66	0.93427	0.889786	0.892804	0.889802655	0.802177
67	0.934815	0.908392	0.913065	0.909449746	0.838643
68	0.934994	0.902074	0.905851	0.903205674	0.830972
69	0.933747	0.905473	0.908906	0.907101389	0.823341
70	0.933746	0.896897	0.901842	0.897379019	0.807739
71	0.933825	0.897691	0.905355	0.898442398	0.810436
72	0.934042	0.899134	0.909391	0.900842127	0.816933
73	0.93349	0.901894	0.907266	0.90182072	0.811444

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
74	0.934251	0.90468	0.907578	0.905541141	0.826612
75	0.933713	0.893375	0.901643	0.895247892	0.804053
76	0.934377	0.903202	0.908502	0.903739752	0.825171
77	0.933205	0.890847	0.905166	0.895494935	0.797681
78	0.934589	0.900389	0.904182	0.902027678	0.825022
79	0.934575	0.90009	0.906794	0.900997322	0.823152
80	0.934054	0.90951	0.915977	0.911123463	0.833168
81	0.934278	0.904234	0.909517	0.906110111	0.827949
82	0.933988	0.906916	0.910565	0.907659155	0.826882
83	0.934548	0.896951	0.904513	0.898165944	0.818625
84	0.93456	0.893818	0.897145	0.893539715	0.811325
85	0.934644	0.902627	0.905002	0.902844732	0.826728
86	0.934897	0.903155	0.907711	0.903684504	0.830662
87	0.934385	0.892808	0.895855	0.892821021	0.808316
88	0.934131	0.903417	0.90667	0.903868892	0.822641
89	0.934101	0.898647	0.903652	0.899399362	0.815232
90	0.934353	0.898121	0.910896	0.898186324	0.816262
91	0.93442	0.895631	0.902861	0.89704678	0.815232
92	0.934418	0.886865	0.889531	0.887032297	0.799791
93	0.934457	0.893486	0.896902	0.894306452	0.811528
94	0.934149	0.902335	0.907452	0.902420009	0.820299
95	0.933613	0.899922	0.905749	0.901369672	0.812527
96	0.933468	0.889498	0.896307	0.890587636	0.79317
97	0.934306	0.89604	0.900546	0.895444346	0.811365
98	0.934274	0.894068	0.897783	0.893819995	0.808481
99	0.933921	0.89912	0.903755	0.899348474	0.812857
100	0.934063	0.895759	0.899067	0.896657159	0.810564

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
101	0.934201	0.893039	0.899237	0.894627715	0.809061
102	0.934399	0.899149	0.904183	0.900011716	0.819793
103	0.934491	0.892725	0.896556	0.894471739	0.812288
104	0.934066	0.895773	0.898023	0.896602821	0.810579
105	0.934836	0.903025	0.906986	0.904275816	0.830995
106	0.934055	0.903859	0.913215	0.903888743	0.821362
107	0.934165	0.89732	0.900774	0.897214248	0.812531
108	0.933779	0.903771	0.909739	0.903736501	0.818242
109	0.933715	0.893858	0.899698	0.895055401	0.803766
110	0.934768	0.897752	0.899739	0.898832135	0.821998
111	0.934251	0.900369	0.904794	0.901548202	0.82045
112	0.934288	0.89604	0.900554	0.896419616	0.812822
113	0.933578	0.896656	0.904694	0.898184317	0.806929
114	0.934295	0.900801	0.9047	0.901149046	0.820221
115	0.933753	0.898769	0.904148	0.898761349	0.80991
116	0.933807	0.8992	0.905588	0.900671748	0.813727
117	0.934808	0.896828	0.904379	0.898065619	0.820686
118	0.934779	0.906354	0.910687	0.906226781	0.833084
119	0.934112	0.902839	0.909185	0.902488736	0.81998
120	0.934256	0.894413	0.899063	0.895386862	0.81091
121	0.934876	0.90027	0.904002	0.901645889	0.827449
122	0.934571	0.908225	0.913462	0.908134351	0.833717
123	0.934537	0.889207	0.895291	0.88873415	0.803709
124	0.93388	0.898307	0.905357	0.899456671	0.812831
125	0.934016	0.897653	0.901843	0.897957516	0.811964
126	0.93446	0.897468	0.902023	0.897524242	0.816349
127	0.934545	0.899594	0.90269	0.899340864	0.820164

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
128	0.933998	0.905862	0.912089	0.908026507	0.827842
129	0.934952	0.907468	0.90964	0.908291315	0.838153
130	0.934459	0.898897	0.901514	0.899778595	0.820047
131	0.934736	0.897185	0.90475	0.898198278	0.82046
132	0.934097	0.897214	0.902237	0.898322051	0.813539
133	0.934001	0.898286	0.903291	0.89977997	0.81486
134	0.934865	0.906366	0.911257	0.907196228	0.835376
135	0.934102	0.88842	0.901209	0.889882732	0.79987
136	0.934701	0.892579	0.898732	0.89373992	0.813484
137	0.935006	0.903056	0.906767	0.90332639	0.830975
138	0.934391	0.907958	0.916455	0.907961643	0.831021
139	0.934521	0.905135	0.907753	0.905537275	0.829466
140	0.934945	0.899212	0.901472	0.899535555	0.824858
141	0.934091	0.89613	0.901025	0.896975684	0.81146
142	0.934108	0.904753	0.908661	0.903933987	0.822268
143	0.93386	0.892995	0.904872	0.895312491	0.806208
144	0.934628	0.903219	0.905723	0.904011893	0.828334
145	0.933987	0.892611	0.897592	0.893213091	0.804257
146	0.934903	0.894171	0.899322	0.895468304	0.81794
147	0.93415	0.89098	0.896136	0.891882988	0.804128
148	0.933945	0.900987	0.909732	0.903117324	0.819472
149	0.933535	0.89807	0.905321	0.899473632	0.808487
150	0.934303	0.901017	0.907139	0.900887722	0.819773
151	0.934741	0.897437	0.899736	0.89726655	0.819107
152	0.934266	0.898626	0.905849	0.89913589	0.816589
153	0.934205	0.896886	0.900382	0.89734999	0.813211
154	0.934213	0.896339	0.898423	0.896292302	0.811739

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
155	0.934194	0.895309	0.899763	0.896840113	0.812477
156	0.934362	0.897201	0.900522	0.897793791	0.815845
157	0.93367	0.890447	0.892552	0.891437922	0.797401
158	0.934049	0.894442	0.899996	0.896152938	0.809743
159	0.934002	0.898039	0.902026	0.898689707	0.81306
160	0.933616	0.900398	0.910961	0.902329559	0.81413
161	0.934096	0.904431	0.908742	0.905506534	0.82479
162	0.934915	0.896909	0.902333	0.898183982	0.822439
163	0.934366	0.902318	0.908802	0.903599245	0.824988
164	0.934082	0.897874	0.904198	0.899259503	0.814955
165	0.933954	0.901154	0.905633	0.900089226	0.814351
166	0.934286	0.894356	0.90056	0.894836655	0.810352
167	0.934159	0.901287	0.905899	0.902163761	0.82033
168	0.934522	0.895149	0.90035	0.89609139	0.815088
169	0.934011	0.894701	0.899535	0.895782613	0.808511
170	0.934594	0.902135	0.906883	0.903299657	0.826877
171	0.934392	0.906357	0.909092	0.906496682	0.829529
172	0.933932	0.89799	0.902165	0.898503183	0.811924
173	0.934535	0.900458	0.908889	0.902697689	0.825569
174	0.934806	0.899819	0.903352	0.901198623	0.826061
175	0.934465	0.897366	0.902087	0.898219305	0.817693
176	0.934551	0.904766	0.908144	0.905024109	0.829006
177	0.934347	0.902993	0.906877	0.903648377	0.824811
178	0.933927	0.902252	0.904772	0.903010345	0.818964
179	0.93334	0.901624	0.907499	0.903487663	0.812582
180	0.934188	0.900106	0.903833	0.901575254	0.819631
181	0.934056	0.898953	0.904172	0.899159835	0.814326

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
182	0.934448	0.903608	0.907941	0.903927072	0.826202
183	0.934144	0.90247	0.904963	0.903626824	0.822401
184	0.934836	0.903892	0.906906	0.903080104	0.828852
185	0.934945	0.892416	0.897719	0.89450038	0.817218
186	0.934434	0.904875	0.90984	0.903928644	0.82587
187	0.934322	0.897556	0.903482	0.896970584	0.81389
188	0.934466	0.887897	0.891552	0.888135147	0.802034
189	0.933807	0.89653	0.907159	0.897418911	0.808694
190	0.933907	0.897979	0.902905	0.898512762	0.81151
191	0.934668	0.907599	0.914371	0.907914915	0.834213
192	0.933483	0.903764	0.908378	0.905427034	0.817525
193	0.93376	0.899164	0.903332	0.898192162	0.809062
194	0.934448	0.898479	0.901385	0.899753926	0.819958
195	0.934334	0.89294	0.898085	0.893123655	0.808211
196	0.933905	0.8865	0.889144	0.887097627	0.793524
197	0.933871	0.898478	0.904838	0.899540446	0.81285
198	0.933916	0.905361	0.909379	0.906268471	0.823948
199	0.933876	0.893094	0.901321	0.894610749	0.80507
200	0.934031	0.902357	0.90556	0.903472024	0.820956
201	0.934288	0.903102	0.907563	0.903842	0.824357
202	0.93433	0.90568	0.911627	0.906075346	0.828166
203	0.934049	0.903901	0.907975	0.904173577	0.822115
204	0.934477	0.895917	0.903455	0.897816153	0.817034
205	0.934675	0.896827	0.902696	0.897388011	0.818499
206	0.934244	0.907089	0.911641	0.906986266	0.828653
207	0.934333	0.903065	0.913938	0.905243616	0.827235
208	0.933291	0.900147	0.906842	0.901301898	0.808349

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
209	0.9341	0.905966	0.913894	0.905655744	0.824898
210	0.934207	0.899073	0.900936	0.899499022	0.816747
211	0.934367	0.906399	0.908493	0.906734002	0.829582
212	0.934462	0.90173	0.90512	0.902313356	0.82388
213	0.934712	0.902895	0.907253	0.904174529	0.829441
214	0.934672	0.898244	0.903602	0.899857698	0.822432
215	0.934202	0.902332	0.906705	0.90411113	0.823894
216	0.933808	0.89745	0.903818	0.898481468	0.810213
217	0.934115	0.89974	0.905048	0.901396197	0.818554
218	0.934313	0.902589	0.906068	0.903506827	0.824158
219	0.933761	0.893479	0.897515	0.893697803	0.801966
220	0.93321	0.894222	0.901603	0.894598004	0.79583
221	0.935093	0.898257	0.904594	0.898737759	0.825223
222	0.934763	0.901795	0.90447	0.902397811	0.827323
223	0.934527	0.907161	0.909545	0.907437539	0.832363
224	0.93415	0.902369	0.905758	0.903847177	0.822878
225	0.934079	0.895543	0.90026	0.89593779	0.809569
226	0.934202	0.907644	0.912841	0.907458981	0.828281
227	0.934266	0.895769	0.900006	0.896809593	0.81325
228	0.934353	0.903835	0.908619	0.904825489	0.826659
229	0.933881	0.894743	0.899123	0.895339779	0.806277
230	0.934323	0.899282	0.905022	0.900231175	0.819244
231	0.933764	0.900157	0.908779	0.901582528	0.8148
232	0.933798	0.895977	0.898463	0.89715928	0.808186
233	0.93424	0.896155	0.902377	0.895653577	0.810712
234	0.934499	0.904771	0.907679	0.905264622	0.828807
235	0.93406	0.899537	0.902749	0.900231967	0.816109

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
236	0.934343	0.885112	0.890077	0.886137181	0.797506
237	0.934047	0.900477	0.904379	0.901911667	0.818689
238	0.93424	0.900935	0.904486	0.901919765	0.820843
239	0.933452	0.897786	0.905397	0.899183231	0.806883
240	0.934106	0.904156	0.907931	0.90524377	0.824577
241	0.934153	0.908496	0.912594	0.909631967	0.831908
242	0.933668	0.897969	0.902763	0.898858597	0.809283
243	0.933712	0.901333	0.907293	0.901225588	0.813402
244	0.934446	0.901578	0.904621	0.901991908	0.82324
245	0.934384	0.893369	0.899913	0.893182664	0.808842
246	0.934932	0.900645	0.902661	0.90079652	0.826608
247	0.934444	0.901003	0.905901	0.901990458	0.823306
248	0.933964	0.894968	0.901618	0.894254354	0.805338
249	0.934308	0.903647	0.910874	0.905013347	0.826523
250	0.933967	0.899203	0.906556	0.900915496	0.816199
251	0.933987	0.895519	0.903111	0.896831032	0.810009
252	0.934479	0.90647	0.910109	0.90572715	0.829046
253	0.934702	0.895054	0.899648	0.896129783	0.817156
254	0.934483	0.890117	0.891969	0.889623473	0.804382
255	0.934878	0.903605	0.906474	0.904720034	0.832131
256	0.934201	0.889859	0.903791	0.891170494	0.803293
257	0.934228	0.908537	0.911508	0.906808688	0.827776
258	0.934511	0.899635	0.906022	0.899968883	0.820742
259	0.934242	0.903886	0.908418	0.90473336	0.82522
260	0.934285	0.904692	0.907687	0.904821166	0.825713
261	0.934181	0.893657	0.900302	0.894128293	0.807991
262	0.93431	0.89551	0.901642	0.897562103	0.815088

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
263	0.934436	0.89664	0.901991	0.897212835	0.81576
264	0.934646	0.901621	0.912715	0.901694116	0.824889
265	0.934712	0.898704	0.902697	0.900027588	0.823191
266	0.934305	0.898535	0.904116	0.899762759	0.818336
267	0.934225	0.89739	0.904146	0.897466606	0.813683
268	0.934281	0.897539	0.905142	0.898801317	0.816423
269	0.934182	0.90011	0.90462	0.900582411	0.818067
270	0.934217	0.901673	0.906814	0.902819724	0.821894
271	0.934525	0.895488	0.904322	0.896093172	0.814837
272	0.933638	0.898591	0.902624	0.900026636	0.810768
273	0.934351	0.899145	0.90411	0.899848527	0.818865
274	0.933957	0.890934	0.896269	0.892073373	0.802102
275	0.934254	0.900389	0.905527	0.900705309	0.819052
276	0.93425	0.896848	0.90195	0.897171369	0.813448
277	0.934218	0.900649	0.904413	0.900700201	0.818492
278	0.934328	0.896795	0.901863	0.895647555	0.811868
279	0.933827	0.89079	0.895237	0.891339405	0.799141
280	0.934692	0.897564	0.901712	0.898906054	0.821308
281	0.934261	0.891436	0.895523	0.891140804	0.804218
282	0.934447	0.906569	0.909369	0.90468268	0.826903
283	0.934602	0.902429	0.911105	0.905821497	0.831206
284	0.93418	0.899965	0.90709	0.902350422	0.821103
285	0.934548	0.891287	0.896422	0.892136786	0.809226
286	0.933741	0.892238	0.899562	0.893560499	0.801646
287	0.933991	0.89342	0.898826	0.894926157	0.807082
288	0.934069	0.893234	0.902306	0.895219148	0.808617
289	0.935125	0.896245	0.898586	0.895984817	0.821274

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
290	0.933983	0.903814	0.912543	0.906617566	0.825513
291	0.933805	0.897948	0.903535	0.900096186	0.812957
292	0.934572	0.897647	0.900223	0.897145453	0.817022
293	0.9346	0.896217	0.900111	0.896999965	0.817317
294	0.934109	0.907771	0.912837	0.90882682	0.830159
295	0.93374	0.90217	0.911636	0.901307501	0.813723
296	0.935163	0.902343	0.905841	0.902703926	0.831628
297	0.934143	0.904295	0.91026	0.905297363	0.82512
298	0.934298	0.891346	0.900756	0.892635095	0.807158
299	0.934116	0.900964	0.906858	0.901966602	0.819564
300	0.935127	0.911343	0.913447	0.910735319	0.843381
301	0.934035	0.899662	0.90293	0.900452126	0.816246
302	0.934047	0.898733	0.903964	0.899415726	0.814639
303	0.933776	0.898995	0.90374	0.90085933	0.813885
304	0.93424	0.896824	0.902368	0.897048753	0.813165
305	0.934048	0.896672	0.903949	0.896368701	0.809788
306	0.934466	0.900817	0.903756	0.902105432	0.823765
307	0.934014	0.89972	0.905932	0.9008554	0.816527
308	0.933759	0.898438	0.908769	0.899634239	0.811663
309	0.934178	0.893551	0.903107	0.896644503	0.812149
310	0.934222	0.902547	0.907019	0.90365369	0.823218
311	0.933977	0.896047	0.900014	0.896739257	0.809544
312	0.934411	0.902818	0.908844	0.903132209	0.82431
313	0.934358	0.894795	0.901177	0.895809568	0.812858
314	0.933704	0.90746	0.912137	0.908228327	0.824502
315	0.934166	0.910588	0.918492	0.910381669	0.833056
316	0.934296	0.899784	0.907614	0.900515718	0.819242

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
317	0.933844	0.901786	0.906905	0.901805507	0.815869
318	0.934633	0.904552	0.91383	0.905592246	0.830735
319	0.934044	0.90097	0.906175	0.901316613	0.817548
320	0.934592	0.901702	0.906347	0.903341958	0.82711
321	0.934141	0.896975	0.901493	0.897723375	0.812909
322	0.934382	0.89368	0.899892	0.894805371	0.811489
323	0.934394	0.900463	0.906393	0.901817117	0.822527
324	0.934545	0.898431	0.904763	0.900839059	0.822765
325	0.934543	0.897873	0.904013	0.898633783	0.819186
326	0.934575	0.898566	0.905853	0.899235617	0.820405
327	0.934905	0.907234	0.911232	0.908897524	0.838736
328	0.93413	0.903227	0.911066	0.905151634	0.824804
329	0.934517	0.904796	0.913742	0.906403467	0.830931
330	0.934089	0.902609	0.906083	0.90326198	0.821198
331	0.933833	0.892324	0.895689	0.892666655	0.801326
332	0.934227	0.896706	0.905136	0.897670842	0.814013
333	0.933176	0.896315	0.905312	0.896560667	0.798879
334	0.934859	0.907055	0.911458	0.907497308	0.835913
335	0.93386	0.901605	0.905544	0.901771585	0.816073
336	0.93419	0.898444	0.90454	0.899333552	0.815981
337	0.933882	0.901618	0.907433	0.902123873	0.817134
338	0.934444	0.892397	0.896581	0.892176752	0.807962
339	0.934858	0.898745	0.903068	0.899540631	0.824058
340	0.934696	0.893124	0.900938	0.893930785	0.813575
341	0.934002	0.896076	0.902695	0.897159007	0.810636
342	0.934019	0.895066	0.897984	0.896117366	0.809255
343	0.93519	0.904936	0.908614	0.905132691	0.835698

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
344	0.934698	0.903455	0.906543	0.904624497	0.830057
345	0.933788	0.892695	0.896463	0.891374077	0.798484
346	0.934404	0.906522	0.910566	0.907710654	0.831646
347	0.934483	0.893815	0.901363	0.89599534	0.814661
348	0.933859	0.890969	0.898936	0.891737284	0.800229
349	0.933602	0.897928	0.901872	0.898375199	0.807561
350	0.933713	0.89404	0.898606	0.8950468	0.803587
351	0.934036	0.899958	0.905719	0.900145053	0.81563
352	0.933844	0.896812	0.901634	0.898023694	0.810177
353	0.934674	0.903978	0.91089	0.904583706	0.829729
354	0.934552	0.898341	0.901762	0.899784965	0.821272
355	0.934467	0.906006	0.910079	0.906569047	0.830474
356	0.933279	0.899124	0.903155	0.900227895	0.806413
357	0.934529	0.898642	0.900735	0.899015633	0.819529
358	0.934553	0.899504	0.904707	0.899556996	0.820573
359	0.93515	0.897649	0.900949	0.898260846	0.824957
360	0.934896	0.911544	0.914561	0.910803266	0.841166
361	0.933388	0.909864	0.915449	0.911295435	0.825691
362	0.934518	0.897621	0.902618	0.899000744	0.819454
363	0.934409	0.887977	0.896743	0.888862901	0.802687
364	0.934515	0.905265	0.908883	0.905567766	0.829455
365	0.933808	0.903288	0.907305	0.90419213	0.819427
366	0.935236	0.900051	0.906171	0.900375865	0.828759
367	0.93447	0.903534	0.90558	0.904239572	0.827003
368	0.934709	0.906219	0.912929	0.907977555	0.835248
369	0.934964	0.90144	0.90625	0.903263725	0.83073
370	0.934736	0.900112	0.905523	0.900805422	0.824589

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
371	0.934221	0.898965	0.904036	0.900148077	0.817949
372	0.933971	0.899128	0.904958	0.899748432	0.814203
373	0.93393	0.899245	0.90727	0.89783533	0.810071
374	0.933924	0.905442	0.911029	0.905923532	0.823515
375	0.934027	0.897458	0.903795	0.898550988	0.812978
376	0.934027	0.895581	0.902483	0.897316212	0.811203
377	0.934181	0.901929	0.907593	0.902376087	0.820553
378	0.933483	0.89894	0.903055	0.900179225	0.809042
379	0.934209	0.896994	0.902859	0.898070272	0.814491
380	0.934771	0.895077	0.898439	0.896120323	0.817866
381	0.934081	0.903404	0.912794	0.905240718	0.824215
382	0.934754	0.899246	0.90386	0.900273415	0.824014
383	0.933965	0.895684	0.904351	0.897254501	0.810115
384	0.934632	0.903041	0.90657	0.903655075	0.827479
385	0.934505	0.906893	0.91167	0.907855714	0.832932
386	0.933902	0.900923	0.905002	0.900788244	0.815097
387	0.933816	0.900646	0.903316	0.90040522	0.813358
388	0.93345	0.893442	0.898635	0.894784386	0.799964
389	0.933788	0.906346	0.910428	0.906556776	0.822627
390	0.934032	0.903619	0.906098	0.904638627	0.822745
391	0.93466	0.898964	0.904084	0.899402487	0.821358
392	0.934359	0.896561	0.900902	0.896231745	0.813137
393	0.934681	0.907733	0.910222	0.907861633	0.834504
394	0.93522	0.904633	0.908311	0.904028104	0.834237
395	0.934485	0.897781	0.90105	0.898434216	0.818213
396	0.934989	0.898262	0.901646	0.898910456	0.824413
397	0.933738	0.893684	0.900302	0.894537865	0.803156

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
398	0.933961	0.901629	0.90648	0.902050121	0.817757
399	0.933358	0.897804	0.899726	0.898762819	0.805134
400	0.934364	0.894393	0.897925	0.894725489	0.811015
401	0.934142	0.899778	0.905579	0.900294264	0.817211
402	0.934592	0.900457	0.906063	0.901574753	0.824222
403	0.934221	0.901524	0.905191	0.902626341	0.821753
404	0.933823	0.896801	0.902118	0.897857951	0.809614
405	0.934127	0.902838	0.904939	0.902695665	0.820563
406	0.934554	0.902001	0.904954	0.902657821	0.825467
407	0.934633	0.902634	0.914018	0.903447158	0.827309
408	0.934355	0.899094	0.908127	0.900445532	0.819923
409	0.934155	0.895817	0.899973	0.897059433	0.812452
410	0.934469	0.896906	0.903407	0.89801946	0.817447
411	0.934986	0.906392	0.909659	0.907176924	0.83676
412	0.934067	0.903892	0.906973	0.90267493	0.819756
413	0.934479	0.90077	0.905429	0.900828825	0.82156
414	0.934694	0.89796	0.900143	0.898168779	0.820027
415	0.934439	0.899413	0.902262	0.90021207	0.820397
416	0.934479	0.894646	0.901729	0.895330849	0.813115
417	0.934391	0.890552	0.895334	0.891451049	0.80636
418	0.934586	0.894749	0.899207	0.895927204	0.815396
419	0.934192	0.908728	0.915169	0.908933998	0.831119
420	0.934083	0.903787	0.90942	0.905880806	0.825412
421	0.934405	0.894729	0.899685	0.895001961	0.811993
422	0.934544	0.90213	0.906383	0.903337139	0.826483
423	0.934303	0.901527	0.907501	0.902609628	0.822667
424	0.934711	0.90307	0.907749	0.903290604	0.828063

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
425	0.93464	0.901218	0.908602	0.901346778	0.824062
426	0.934432	0.884936	0.889763	0.886050929	0.798481
427	0.934861	0.8948	0.901729	0.895637156	0.81793
428	0.934649	0.902915	0.908307	0.90399859	0.828623
429	0.933519	0.903026	0.910839	0.903217712	0.813689
430	0.934485	0.891357	0.897259	0.892047989	0.80824
431	0.934791	0.899944	0.907415	0.901908259	0.826976
432	0.934292	0.90831	0.91191	0.909581251	0.833392
433	0.934339	0.898027	0.905273	0.899186675	0.817821
434	0.933465	0.895456	0.901047	0.896616434	0.803016
435	0.934099	0.899544	0.905667	0.900690585	0.817383
436	0.934819	0.899421	0.907994	0.901884199	0.827352
437	0.935086	0.892868	0.898132	0.891674909	0.814213
438	0.934193	0.901878	0.906859	0.903553016	0.822995
439	0.934614	0.904543	0.909346	0.90519785	0.829673
440	0.934306	0.893547	0.898508	0.893508682	0.808339
441	0.933889	0.901823	0.907768	0.903214052	0.818934
442	0.934568	0.891846	0.89668	0.892043933	0.809332
443	0.934224	0.91224	0.915237	0.912012722	0.836125
444	0.934192	0.903206	0.910885	0.905201928	0.825385
445	0.934298	0.89225	0.896259	0.893118476	0.8079
446	0.934691	0.900088	0.906325	0.899769317	0.822388
447	0.934008	0.897603	0.908299	0.899413916	0.814247
448	0.934921	0.897264	0.902977	0.897939276	0.822007
449	0.934218	0.894129	0.900082	0.892595697	0.805626
450	0.933816	0.897482	0.904276	0.898211445	0.809956
451	0.933483	0.903527	0.908619	0.904831856	0.816514

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
452	0.934199	0.901495	0.905839	0.902509046	0.821341
453	0.933667	0.901596	0.903696	0.902027444	0.814158
454	0.933972	0.899802	0.907014	0.901663098	0.817345
455	0.934643	0.903864	0.907386	0.904784561	0.829728
456	0.934453	0.903676	0.909191	0.905378038	0.828689
457	0.933797	0.899803	0.907905	0.900880638	0.813866
458	0.933565	0.902928	0.906701	0.903575817	0.815454
459	0.934563	0.902902	0.905446	0.9037644	0.827201
460	0.934643	0.897945	0.901291	0.898872246	0.820734
461	0.9351	0.907271	0.914765	0.907571424	0.83851
462	0.934417	0.90721	0.912695	0.908523756	0.832942
463	0.934452	0.893445	0.896233	0.894411767	0.811682
464	0.934009	0.897282	0.901737	0.898035813	0.811837
465	0.934333	0.892499	0.897691	0.893461967	0.808887
466	0.934054	0.897774	0.904639	0.899122992	0.814429
467	0.933895	0.900518	0.905662	0.902245116	0.817413
468	0.934556	0.903011	0.905586	0.90343278	0.826636
469	0.934663	0.893893	0.897832	0.895558008	0.815868
470	0.933407	0.894888	0.905422	0.895811555	0.800963
471	0.934136	0.896511	0.902832	0.897702514	0.813176
472	0.934561	0.90349	0.906459	0.903614791	0.826925
473	0.934234	0.898169	0.908047	0.899164895	0.816494
474	0.933992	0.905655	0.909826	0.905577805	0.823569
475	0.934516	0.893836	0.899907	0.895685403	0.81458
476	0.933952	0.90035	0.907292	0.900924934	0.815939
477	0.934679	0.897666	0.904834	0.897898687	0.81951
478	0.934404	0.905684	0.914885	0.906935245	0.830388

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
479	0.934611	0.907557	0.914587	0.90911898	0.836065
480	0.934161	0.891185	0.898282	0.892902064	0.805992
481	0.933981	0.895907	0.905327	0.898333819	0.81236
482	0.934658	0.898243	0.90352	0.899399306	0.821707
483	0.934343	0.897207	0.900596	0.897810691	0.815638
484	0.933861	0.899241	0.907415	0.899486862	0.812495
485	0.934628	0.905199	0.909967	0.905343723	0.830249
486	0.93394	0.889179	0.893576	0.891016866	0.800227
487	0.933947	0.898193	0.903877	0.898222699	0.811218
488	0.934512	0.904316	0.907829	0.905345218	0.829213
489	0.933882	0.897871	0.902994	0.898540638	0.811296
490	0.934536	0.900709	0.905954	0.900906839	0.822547
491	0.934381	0.89494	0.901629	0.895517583	0.812483
492	0.933771	0.890794	0.896472	0.891585063	0.798898
493	0.934218	0.902508	0.906502	0.903057629	0.822331
494	0.934503	0.89928	0.908271	0.89931072	0.819707
495	0.934464	0.896023	0.899102	0.897167568	0.81604
496	0.934965	0.899684	0.904634	0.901313928	0.827823
497	0.934183	0.902028	0.907162	0.902176275	0.820322
498	0.934332	0.896572	0.901867	0.897814417	0.815592
499	0.934083	0.89311	0.897803	0.894720427	0.807999
500	0.934529	0.8975	0.904246	0.8991768	0.81991

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. ผลการประมาณค่าความเที่ยงที่ได้จากข้อมูลจำลอง 500 ชุด จำแนกตามวิธีการประมาณความเที่ยง ภายใต้สถานการณ์การวัดที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.5

ตาราง ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากข้อมูลจำลอง 500 ชุด

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
1	0.940693	0.898469	0.900531	0.898385	0.940693
2	0.939933	0.895205	0.897158	0.895758	0.939933
3	0.940144	0.895379	0.897826	0.896273	0.940144
4	0.939888	0.902622	0.905349	0.903771	0.939888
5	0.940625	0.901833	0.906043	0.902587	0.940625
6	0.940417	0.89704	0.898521	0.897501	0.940417
7	0.939815	0.899444	0.9021	0.90051	0.939815
8	0.940619	0.908273	0.911741	0.908342	0.940619
9	0.940783	0.899104	0.902486	0.900177	0.940783
10	0.939986	0.902394	0.904947	0.903305	0.939986
11	0.940356	0.90136	0.904913	0.902009	0.940356
12	0.940244	0.900776	0.905127	0.902542	0.940244
13	0.940011	0.893362	0.895762	0.894072	0.940011
14	0.939661	0.901999	0.904684	0.90251	0.939661
15	0.940016	0.891081	0.89525	0.892289	0.940016
16	0.940534	0.902136	0.905028	0.903218	0.940534
17	0.940446	0.9117	0.913798	0.912525	0.940446
18	0.940272	0.905124	0.906874	0.905313	0.940272
19	0.939978	0.905232	0.907981	0.906359	0.939978
20	0.940424	0.899243	0.901537	0.8995	0.940424
21	0.940304	0.898102	0.901072	0.898292	0.940304
22	0.940416	0.89884	0.901871	0.900091	0.940416
23	0.940482	0.907339	0.911783	0.908325	0.940482

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
24	0.939686	0.906256	0.90821	0.907197	0.939686
25	0.940333	0.897077	0.902366	0.899164	0.940333
26	0.940187	0.902018	0.904387	0.90295	0.940187
27	0.940729	0.885608	0.891273	0.887186	0.940729
28	0.940456	0.904115	0.906938	0.905041	0.940456
29	0.940198	0.900645	0.905503	0.901543	0.940198
30	0.940424	0.89644	0.898287	0.897132	0.940424
31	0.940343	0.902659	0.904952	0.903184	0.940343
32	0.940324	0.89824	0.900757	0.899295	0.940324
33	0.940451	0.902172	0.905606	0.90372	0.940451
34	0.940655	0.900355	0.90221	0.90104	0.940655
35	0.939715	0.902876	0.904854	0.903408	0.939715
36	0.939508	0.899735	0.902983	0.900501	0.939508
37	0.941241	0.90491	0.906328	0.905398	0.941241
38	0.940046	0.904472	0.906102	0.905169	0.940046
39	0.940611	0.89914	0.902258	0.900057	0.940611
40	0.940381	0.898174	0.900153	0.899059	0.940381
41	0.94043	0.897169	0.898624	0.897749	0.94043
42	0.940724	0.895787	0.898303	0.896934	0.940724
43	0.940626	0.898887	0.903604	0.900352	0.940626
44	0.940627	0.905753	0.908962	0.906607	0.940627
45	0.940375	0.904552	0.906457	0.904579	0.940375
46	0.939595	0.896477	0.900761	0.898233	0.939595
47	0.940457	0.905763	0.910385	0.90723	0.940457
48	0.939847	0.902548	0.90467	0.90283	0.939847
49	0.940438	0.904694	0.906558	0.904821	0.940438
50	0.940633	0.898508	0.901344	0.898276	0.940633

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
51	0.940658	0.90064	0.903167	0.90185	0.940658
52	0.940743	0.89584	0.898194	0.896614	0.940743
53	0.939924	0.90637	0.908612	0.907285	0.939924
54	0.940115	0.903228	0.906831	0.903906	0.940115
55	0.94063	0.898296	0.900561	0.899577	0.94063
56	0.940613	0.894228	0.896845	0.894202	0.940613
57	0.940063	0.899291	0.902122	0.899953	0.940063
58	0.939749	0.902076	0.903767	0.902745	0.939749
59	0.939464	0.901854	0.90428	0.903017	0.939464
60	0.939923	0.906867	0.909913	0.907341	0.939923
61	0.940446	0.904081	0.906226	0.904823	0.940446
62	0.940091	0.90383	0.905873	0.904092	0.940091
63	0.940266	0.905409	0.909553	0.907101	0.940266
64	0.940767	0.89325	0.896599	0.893775	0.940767
65	0.940539	0.907201	0.909259	0.907955	0.940539
66	0.940482	0.889088	0.890655	0.889498	0.940482
67	0.940699	0.908502	0.910571	0.90921	0.940699
68	0.940753	0.902051	0.904105	0.902939	0.940753
69	0.939763	0.905601	0.907621	0.906849	0.939763
70	0.939942	0.896166	0.89932	0.897104	0.939942
71	0.939778	0.897458	0.90197	0.898162	0.939778
72	0.940096	0.899887	0.90488	0.900573	0.940096
73	0.939578	0.90151	0.903666	0.901552	0.939578
74	0.940134	0.904567	0.906444	0.905285	0.940134
75	0.939821	0.892665	0.897257	0.894957	0.939821
76	0.940126	0.902827	0.905353	0.903477	0.940126
77	0.939361	0.891572	0.900541	0.895211	0.939361

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
78	0.940589	0.900537	0.903203	0.901758	0.940589
79	0.940445	0.899926	0.904105	0.900726	0.940445
80	0.93994	0.909639	0.913304	0.910882	0.93994
81	0.940154	0.904409	0.907879	0.905854	0.940154
82	0.939987	0.906357	0.908958	0.90741	0.939987
83	0.940503	0.897135	0.900633	0.897883	0.940503
84	0.940739	0.893015	0.895538	0.893248	0.940739
85	0.940475	0.902235	0.903584	0.902584	0.940475
86	0.940786	0.90297	0.905297	0.903422	0.940786
87	0.940431	0.892398	0.894035	0.892526	0.940431
88	0.940094	0.902824	0.904897	0.903603	0.940094
89	0.940121	0.898416	0.901432	0.899123	0.940121
90	0.940362	0.898212	0.902589	0.897905	0.940362
91	0.940506	0.895303	0.899555	0.896762	0.940506
92	0.940528	0.886181	0.887502	0.886731	0.940528
93	0.940633	0.89295	0.895863	0.894015	0.940633
94	0.940165	0.901925	0.903785	0.902153	0.940165
95	0.93974	0.899676	0.903057	0.901097	0.93974
96	0.939686	0.889369	0.892505	0.89029	0.939686
97	0.940398	0.895267	0.897546	0.895155	0.940398
98	0.940384	0.893085	0.895397	0.893531	0.940384
99	0.939977	0.898232	0.901141	0.899074	0.939977
100	0.94023	0.895586	0.897567	0.896376	0.94023
101	0.940346	0.893178	0.896195	0.894343	0.940346
102	0.940438	0.898987	0.901778	0.899736	0.940438
103	0.940556	0.892277	0.896058	0.894188	0.940556
104	0.940045	0.895434	0.897328	0.896314	0.940045

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
105	0.940746	0.902799	0.90567	0.904012	0.940746
106	0.940097	0.903593	0.906763	0.903624	0.940097
107	0.940208	0.896428	0.898943	0.896936	0.940208
108	0.939825	0.903601	0.906438	0.903475	0.939825
109	0.939878	0.893955	0.896738	0.894767	0.939878
110	0.940713	0.897044	0.89946	0.898549	0.940713
111	0.940238	0.899996	0.903071	0.901279	0.940238
112	0.940415	0.895693	0.898056	0.896133	0.940415
113	0.939727	0.896164	0.900796	0.897905	0.939727
114	0.940279	0.90039	0.902909	0.900875	0.940279
115	0.939874	0.898368	0.901104	0.898481	0.939874
116	0.939789	0.899319	0.902348	0.900399	0.939789
117	0.940967	0.896702	0.899986	0.897782	0.940967
118	0.940548	0.905544	0.908672	0.905973	0.940548
119	0.94013	0.902164	0.904543	0.902225	0.94013
120	0.940469	0.894191	0.8969	0.895095	0.940469
121	0.940831	0.900264	0.902766	0.901369	0.940831
122	0.940474	0.907782	0.91013	0.907884	0.940474
123	0.940717	0.888917	0.890756	0.88843	0.940717
124	0.93995	0.898461	0.902246	0.899184	0.93995
125	0.94007	0.897271	0.899544	0.89768	0.94007
126	0.940654	0.896574	0.899449	0.897243	0.940654
127	0.940451	0.899047	0.90074	0.899066	0.940451
128	0.94004	0.90633	0.909789	0.907773	0.94004
129	0.94082	0.90702	0.909013	0.908037	0.94082
130	0.940448	0.898562	0.900713	0.899503	0.940448
131	0.940779	0.897212	0.900389	0.897921	0.940779

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
132	0.940063	0.897045	0.899789	0.898046	0.940063
133	0.940093	0.898071	0.901642	0.899506	0.940093
134	0.940644	0.906148	0.909402	0.906939	0.940644
135	0.94029	0.888293	0.892556	0.889576	0.94029
136	0.940693	0.892295	0.896319	0.893448	0.940693
137	0.940885	0.902072	0.905192	0.903064	0.940885
138	0.940422	0.907324	0.910732	0.90771	0.940422
139	0.940338	0.904454	0.906577	0.905279	0.940338
140	0.941026	0.898681	0.900441	0.899255	0.941026
141	0.940185	0.895984	0.898314	0.896693	0.940185
142	0.940121	0.904096	0.905585	0.903674	0.940121
143	0.939943	0.893744	0.89868	0.895024	0.939943
144	0.940551	0.902951	0.904592	0.903752	0.940551
145	0.940165	0.892352	0.894615	0.892921	0.940165
146	0.940927	0.893792	0.897105	0.895188	0.940927
147	0.940362	0.890772	0.893689	0.891592	0.940362
148	0.939932	0.901336	0.906334	0.902855	0.939932
149	0.939599	0.897957	0.901308	0.899199	0.939599
150	0.940335	0.900647	0.903926	0.900613	0.940335
151	0.940841	0.896443	0.898343	0.896983	0.940841
152	0.940222	0.89863	0.901362	0.898865	0.940222
153	0.940353	0.896199	0.898481	0.897069	0.940353
154	0.940241	0.895647	0.897029	0.896011	0.940241
155	0.940288	0.895036	0.89806	0.896552	0.940288
156	0.94042	0.896312	0.899436	0.897512	0.94042
157	0.939865	0.890054	0.891928	0.891141	0.939865
158	0.940195	0.894287	0.898071	0.895874	0.940195

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
159	0.940101	0.897828	0.899834	0.898412	0.940101
160	0.93993	0.900595	0.906549	0.90206	0.93993
161	0.940153	0.904383	0.906933	0.90525	0.940153
162	0.940895	0.896839	0.900358	0.897906	0.940895
163	0.94038	0.902403	0.906034	0.903328	0.94038
164	0.940018	0.897908	0.90225	0.898986	0.940018
165	0.940004	0.900135	0.901875	0.899819	0.940004
166	0.940366	0.894395	0.896857	0.894552	0.940366
167	0.940127	0.901113	0.903751	0.901895	0.940127
168	0.940657	0.894929	0.89842	0.895805	0.940657
169	0.940253	0.894387	0.897473	0.8955	0.940253
170	0.940478	0.901561	0.90576	0.903036	0.940478
171	0.940313	0.90578	0.907546	0.906232	0.940313
172	0.940059	0.897806	0.899922	0.89823	0.940059
173	0.940496	0.90086	0.905585	0.902431	0.940496
174	0.940673	0.899791	0.902288	0.900928	0.940673
175	0.940449	0.896815	0.89986	0.89794	0.940449
176	0.940548	0.90421	0.906234	0.904766	0.940548
177	0.940079	0.902867	0.904973	0.903384	0.940079
178	0.939991	0.902045	0.903706	0.902747	0.939991
179	0.939279	0.901613	0.905607	0.903218	0.939279
180	0.940207	0.899986	0.902378	0.901309	0.940207
181	0.940008	0.898183	0.90164	0.898886	0.940008
182	0.940355	0.903187	0.905292	0.903667	0.940355
183	0.940009	0.902029	0.904353	0.903356	0.940009
184	0.940584	0.902949	0.904406	0.902813	0.940584
185	0.941097	0.892593	0.895743	0.894213	0.941097

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
186	0.940319	0.903982	0.906869	0.903665	0.940319
187	0.940408	0.897283	0.899635	0.896684	0.940408
188	0.940775	0.88737	0.889667	0.88783	0.940775
189	0.939873	0.897156	0.901945	0.897139	0.939873
190	0.939856	0.897641	0.90002	0.898237	0.939856
191	0.940515	0.906842	0.909631	0.907664	0.940515
192	0.939427	0.903851	0.906857	0.90517	0.939427
193	0.939938	0.898342	0.90005	0.897916	0.939938
194	0.940437	0.898092	0.900543	0.89948	0.940437
195	0.94041	0.892622	0.895353	0.892827	0.94041
196	0.940358	0.886355	0.887707	0.886789	0.940358
197	0.939829	0.898613	0.901656	0.899269	0.939829
198	0.939817	0.905242	0.907329	0.906013	0.939817
199	0.939959	0.89273	0.897712	0.894321	0.939959
200	0.939896	0.902108	0.904511	0.903209	0.939896
201	0.940062	0.90285	0.905094	0.90358	0.940062
202	0.940281	0.905487	0.908214	0.905818	0.940281
203	0.939875	0.903747	0.905869	0.903913	0.939875
204	0.940467	0.895789	0.899912	0.897541	0.940467
205	0.940732	0.896672	0.899367	0.897104	0.940732
206	0.939916	0.906711	0.908862	0.906738	0.939916
207	0.940266	0.903629	0.909628	0.904986	0.940266
208	0.939437	0.900259	0.903852	0.901034	0.939437
209	0.940189	0.905472	0.909499	0.9054	0.940189
210	0.94015	0.898449	0.900133	0.899226	0.94015
211	0.94013	0.905853	0.907315	0.906483	0.94013
212	0.940463	0.901305	0.903757	0.902049	0.940463

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
213	0.940416	0.902787	0.905219	0.903918	0.940416
214	0.940481	0.897944	0.902037	0.899585	0.940481
215	0.940217	0.902297	0.905745	0.903846	0.940217
216	0.939732	0.897315	0.900004	0.898198	0.939732
217	0.940054	0.899317	0.903513	0.901127	0.940054
218	0.940302	0.902207	0.905211	0.903247	0.940302
219	0.939959	0.892855	0.894494	0.893409	0.939959
220	0.939257	0.893266	0.896087	0.894312	0.939257
221	0.941056	0.89829	0.900925	0.89846	0.941056
222	0.940712	0.901555	0.903264	0.902135	0.940712
223	0.94035	0.906207	0.908498	0.907182	0.94035
224	0.940046	0.902213	0.905018	0.903588	0.940046
225	0.940122	0.895021	0.897622	0.895654	0.940122
226	0.940149	0.906139	0.909669	0.907205	0.940149
227	0.940264	0.895556	0.89853	0.896522	0.940264
228	0.940525	0.903841	0.906064	0.904564	0.940525
229	0.940022	0.894523	0.896942	0.895053	0.940022
230	0.940384	0.899468	0.901986	0.899957	0.940384
231	0.93987	0.900321	0.904319	0.901313	0.93987
232	0.939795	0.895241	0.898168	0.896875	0.939795
233	0.94028	0.89546	0.897385	0.895367	0.94028
234	0.940353	0.904324	0.906058	0.905003	0.940353
235	0.940274	0.898383	0.90148	0.89996	0.940274
236	0.94051	0.88493	0.887946	0.885823	0.94051
237	0.9402	0.900419	0.903201	0.901646	0.9402
238	0.940218	0.900553	0.902908	0.901651	0.940218
239	0.939531	0.897536	0.90141	0.898909	0.939531

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
240	0.93984	0.903914	0.906742	0.904988	0.93984
241	0.940104	0.908313	0.910925	0.909381	0.940104
242	0.939636	0.897877	0.900649	0.898583	0.939636
243	0.939597	0.900948	0.903318	0.900959	0.939597
244	0.940284	0.900817	0.903322	0.901723	0.940284
245	0.940644	0.893067	0.895909	0.892888	0.940644
246	0.940933	0.900007	0.901402	0.900526	0.940933
247	0.940603	0.901107	0.903646	0.901722	0.940603
248	0.940031	0.894517	0.897877	0.893969	0.940031
249	0.940197	0.903802	0.90748	0.90475	0.940197
250	0.94	0.899569	0.902794	0.900645	0.94
251	0.940077	0.895327	0.900002	0.896548	0.940077
252	0.940376	0.905449	0.907203	0.905468	0.940376
253	0.940746	0.895045	0.897567	0.895844	0.940746
254	0.940548	0.888823	0.89078	0.889324	0.940548
255	0.940939	0.903336	0.905651	0.90446	0.940939
256	0.940324	0.890035	0.894173	0.890874	0.940324
257	0.940045	0.906987	0.908939	0.906555	0.940045
258	0.940542	0.899334	0.902484	0.899692	0.940542
259	0.94002	0.903642	0.906545	0.904472	0.94002
260	0.940217	0.904047	0.905906	0.904561	0.940217
261	0.940219	0.893104	0.897447	0.89384	0.940219
262	0.940247	0.895567	0.900176	0.897285	0.940247
263	0.940555	0.896435	0.898987	0.896934	0.940555
264	0.940498	0.901791	0.906973	0.901424	0.940498
265	0.940722	0.898538	0.900943	0.899751	0.940722
266	0.940322	0.898621	0.901849	0.899491	0.940322

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
267	0.940256	0.897049	0.899512	0.897183	0.940256
268	0.940343	0.897269	0.901811	0.898527	0.940343
269	0.940259	0.899755	0.902236	0.900313	0.940259
270	0.940172	0.901398	0.904159	0.902552	0.940172
271	0.940556	0.895203	0.898647	0.895807	0.940556
272	0.939539	0.898022	0.901563	0.899751	0.939539
273	0.940277	0.898847	0.901731	0.899576	0.940277
274	0.939943	0.890398	0.894577	0.891774	0.939943
275	0.940346	0.900054	0.902806	0.900434	0.940346
276	0.940287	0.896683	0.898744	0.896893	0.940287
277	0.940188	0.899937	0.902742	0.900432	0.940188
278	0.940309	0.89595	0.8985	0.895364	0.940309
279	0.939963	0.890389	0.893082	0.891046	0.939963
280	0.940677	0.897077	0.900885	0.898633	0.940677
281	0.940442	0.890995	0.892625	0.890842	0.940442
282	0.940436	0.904807	0.906583	0.904422	0.940436
283	0.940474	0.90296	0.909782	0.905564	0.940474
284	0.940257	0.900494	0.90544	0.90208	0.940257
285	0.940646	0.89042	0.894136	0.891843	0.940646
286	0.939956	0.89251	0.895775	0.893263	0.939956
287	0.940061	0.893387	0.897511	0.894642	0.940061
288	0.9402	0.893646	0.897614	0.894934	0.9402
289	0.941163	0.895504	0.896693	0.895699	0.941163
290	0.939789	0.90429	0.9099	0.90636	0.939789
291	0.939994	0.897619	0.902483	0.899822	0.939994
292	0.940428	0.896687	0.898298	0.896865	0.940428
293	0.940844	0.896074	0.898235	0.89672	0.940844

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
294	0.939963	0.907837	0.909931	0.908577	0.939963
295	0.939772	0.902111	0.905843	0.90103	0.939772
296	0.941023	0.901947	0.903888	0.902437	0.941023
297	0.940163	0.904576	0.907518	0.905035	0.940163
298	0.940479	0.891443	0.895605	0.89234	0.940479
299	0.940184	0.900867	0.904225	0.901699	0.940184
300	0.940881	0.910246	0.91204	0.910489	0.940881
301	0.940108	0.899633	0.901331	0.900181	0.940108
302	0.93994	0.8983	0.901188	0.899141	0.93994
303	0.939678	0.898619	0.902855	0.900586	0.939678
304	0.940418	0.896522	0.899023	0.896766	0.940418
305	0.940255	0.896656	0.899882	0.89609	0.940255
306	0.940423	0.900703	0.902942	0.901836	0.940423
307	0.940025	0.899455	0.903356	0.900583	0.940025
308	0.939845	0.898456	0.902894	0.899354	0.939845
309	0.940378	0.893714	0.900455	0.896357	0.940378
310	0.94017	0.901973	0.905063	0.903391	0.94017
311	0.940137	0.895823	0.897453	0.896455	0.940137
312	0.940344	0.90269	0.904648	0.902863	0.940344
313	0.940424	0.894841	0.898188	0.895525	0.940424
314	0.93965	0.907281	0.909819	0.907978	0.93965
315	0.940133	0.910373	0.913389	0.910134	0.940133
316	0.940239	0.899648	0.90301	0.900245	0.940239
317	0.939621	0.901273	0.904382	0.901538	0.939621
318	0.940454	0.905003	0.908149	0.905335	0.940454
319	0.94017	0.900969	0.903189	0.901049	0.94017
320	0.940552	0.901781	0.904987	0.90308	0.940552

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
321	0.940286	0.896523	0.898644	0.897441	0.940286
322	0.940462	0.893532	0.897627	0.894517	0.940462
323	0.940355	0.900055	0.904521	0.901544	0.940355
324	0.940646	0.898375	0.903357	0.900572	0.940646
325	0.940458	0.897753	0.901117	0.898359	0.940458
326	0.94051	0.898558	0.90137	0.898959	0.94051
327	0.940655	0.907156	0.910443	0.908649	0.940655
328	0.940025	0.903511	0.908008	0.90489	0.940025
329	0.940341	0.905203	0.90979	0.906149	0.940341
330	0.940061	0.902232	0.904415	0.902998	0.940061
331	0.939889	0.891448	0.894239	0.892377	0.939889
332	0.940258	0.896725	0.901166	0.897392	0.940258
333	0.939275	0.895972	0.898629	0.896278	0.939275
334	0.94066	0.906438	0.909425	0.907241	0.94066
335	0.939936	0.901094	0.903575	0.901504	0.939936
336	0.94027	0.898178	0.901435	0.899053	0.94027
337	0.939937	0.901708	0.904078	0.901859	0.939937
338	0.940636	0.891966	0.893966	0.891887	0.940636
339	0.940808	0.898334	0.901103	0.899266	0.940808
340	0.940839	0.892879	0.896704	0.893643	0.940839
341	0.940181	0.895523	0.899906	0.89688	0.940181
342	0.940085	0.894823	0.897223	0.895834	0.940085
343	0.940895	0.904584	0.906367	0.904871	0.940895
344	0.940594	0.903315	0.905473	0.90436	0.940594
345	0.939967	0.891745	0.893514	0.89108	0.939967
346	0.940272	0.906418	0.908928	0.907457	0.940272
347	0.940503	0.894127	0.898469	0.895711	0.940503

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
348	0.940064	0.890874	0.895217	0.891439	0.940064
349	0.939772	0.8973	0.899105	0.898096	0.939772
350	0.939837	0.89333	0.896654	0.89476	0.939837
351	0.940056	0.899294	0.903052	0.899874	0.940056
352	0.939924	0.896791	0.899495	0.897745	0.939924
353	0.940711	0.903964	0.907099	0.904317	0.940711
354	0.940627	0.898361	0.900541	0.899507	0.940627
355	0.94036	0.905759	0.907744	0.906313	0.94036
356	0.939365	0.898875	0.900685	0.899956	0.939365
357	0.940566	0.898089	0.89985	0.898739	0.940566
358	0.940574	0.898933	0.901653	0.89928	0.940574
359	0.941218	0.897246	0.899394	0.897985	0.941218
360	0.94084	0.910686	0.912255	0.910559	0.94084
361	0.939308	0.909939	0.913385	0.911053	0.939308
362	0.940501	0.89771	0.900257	0.898726	0.940501
363	0.940535	0.888377	0.89195	0.888556	0.940535
364	0.940457	0.904601	0.90702	0.90531	0.940457
365	0.939782	0.903274	0.905383	0.903927	0.939782
366	0.941247	0.899567	0.901797	0.900103	0.941247
367	0.94052	0.903238	0.904743	0.903975	0.94052
368	0.940547	0.906245	0.910768	0.907725	0.940547
369	0.940873	0.901422	0.904843	0.902998	0.940873
370	0.940656	0.899968	0.90306	0.900535	0.940656
371	0.940096	0.898779	0.901844	0.899874	0.940096
372	0.939968	0.898908	0.902028	0.899474	0.939968
373	0.94016	0.898355	0.900586	0.897557	0.94016
374	0.939853	0.905439	0.908426	0.905665	0.939853

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
375	0.939976	0.897027	0.901133	0.898274	0.939976
376	0.94001	0.895445	0.899664	0.897036	0.94001
377	0.94028	0.901686	0.903877	0.902111	0.94028
378	0.939592	0.898796	0.901257	0.899905	0.939592
379	0.940189	0.896634	0.900438	0.897793	0.940189
380	0.940701	0.894808	0.897028	0.895837	0.940701
381	0.940026	0.903689	0.908347	0.904978	0.940026
382	0.940947	0.89929	0.901571	0.899998	0.940947
383	0.939978	0.895277	0.89973	0.896974	0.939978
384	0.9407	0.902485	0.904694	0.903391	0.9407
385	0.940422	0.906881	0.909778	0.907604	0.940422
386	0.939767	0.900666	0.902751	0.900518	0.939767
387	0.939838	0.899673	0.901499	0.90013	0.939838
388	0.939515	0.892803	0.8973	0.894499	0.939515
389	0.939728	0.905489	0.908466	0.906304	0.939728
390	0.939929	0.90302	0.905542	0.904381	0.939929
391	0.940545	0.898473	0.901656	0.899131	0.940545
392	0.940473	0.895398	0.898642	0.895945	0.940473
393	0.940609	0.907071	0.908832	0.907607	0.940609
394	0.941063	0.904139	0.906169	0.903768	0.941063
395	0.940405	0.897141	0.899885	0.898149	0.940405
396	0.94096	0.897804	0.899991	0.898634	0.94096
397	0.939873	0.893502	0.896169	0.89425	0.939873
398	0.939901	0.901304	0.904291	0.901782	0.939901
399	0.93931	0.89749	0.899368	0.898485	0.93931
400	0.940436	0.893966	0.896071	0.89444	0.940436
401	0.94025	0.89975	0.902236	0.900025	0.94025

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
402	0.940519	0.899854	0.904118	0.901304	0.940519
403	0.940225	0.901133	0.9037	0.902362	0.940225
404	0.93998	0.896645	0.899868	0.897585	0.93998
405	0.939968	0.901949	0.903641	0.902431	0.939968
406	0.940451	0.901515	0.903734	0.902392	0.940451
407	0.940449	0.902744	0.907765	0.903177	0.940449
408	0.94032	0.89917	0.904041	0.90018	0.94032
409	0.9401	0.895449	0.898448	0.896777	0.9401
410	0.94052	0.896822	0.899966	0.89774	0.94052
411	0.940668	0.906226	0.90806	0.906925	0.940668
412	0.940056	0.902935	0.90428	0.902409	0.940056
413	0.940505	0.900382	0.902305	0.900562	0.940505
414	0.940603	0.897206	0.898921	0.897886	0.940603
415	0.940407	0.899021	0.900897	0.899945	0.940407
416	0.94063	0.893938	0.89782	0.895045	0.94063
417	0.940489	0.889945	0.893241	0.891156	0.940489
418	0.940637	0.894678	0.897314	0.895644	0.940637
419	0.940123	0.908794	0.911364	0.908685	0.940123
420	0.94001	0.903892	0.90824	0.905623	0.94001
421	0.940474	0.894318	0.897015	0.894713	0.940474
422	0.940552	0.901961	0.904693	0.903068	0.940552
423	0.94027	0.901689	0.904314	0.902341	0.94027
424	0.940498	0.902823	0.905309	0.903029	0.940498
425	0.94059	0.900612	0.904718	0.901077	0.94059
426	0.940479	0.884553	0.887869	0.885745	0.940479
427	0.941027	0.894919	0.898382	0.895358	0.941027
428	0.94063	0.902792	0.906353	0.903737	0.94063

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
429	0.9395	0.902812	0.906168	0.902953	0.9395
430	0.940547	0.891322	0.893993	0.891751	0.940547
431	0.940865	0.90014	0.90401	0.90164	0.940865
432	0.940104	0.908219	0.91054	0.909334	0.940104
433	0.940392	0.897847	0.901713	0.898914	0.940392
434	0.939522	0.895463	0.898309	0.896332	0.939522
435	0.940167	0.899677	0.902596	0.900419	0.940167
436	0.940663	0.89967	0.904818	0.901616	0.940663
437	0.941216	0.892016	0.893862	0.891376	0.941216
438	0.940245	0.902088	0.905198	0.90329	0.940245
439	0.94055	0.903613	0.906946	0.904934	0.94055
440	0.94039	0.893122	0.895478	0.893219	0.94039
441	0.93986	0.901625	0.905269	0.902948	0.93986
442	0.940695	0.891466	0.893687	0.891747	0.940695
443	0.940149	0.911826	0.913262	0.91177	0.940149
444	0.940141	0.903318	0.907776	0.904942	0.940141
445	0.940343	0.891976	0.894465	0.892822	0.940343
446	0.940822	0.899408	0.902547	0.899493	0.940822
447	0.940172	0.898015	0.904093	0.899143	0.940172
448	0.940876	0.89658	0.900156	0.897663	0.940876
449	0.94051	0.893176	0.895614	0.892302	0.94051
450	0.939936	0.897436	0.899832	0.897931	0.939936
451	0.939468	0.90351	0.906764	0.904576	0.939468
452	0.940126	0.901215	0.904004	0.90224	0.940126
453	0.939634	0.900722	0.903064	0.901756	0.939634
454	0.939987	0.899985	0.903662	0.901396	0.939987
455	0.940544	0.903717	0.906181	0.904519	0.940544

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
456	0.940297	0.903648	0.907458	0.905121	0.940297
457	0.939807	0.899811	0.902392	0.900613	0.939807
458	0.939417	0.902443	0.905558	0.903307	0.939417
459	0.94051	0.902619	0.904202	0.903503	0.94051
460	0.940698	0.89787	0.899794	0.898594	0.940698
461	0.940863	0.907457	0.910532	0.90732	0.940863
462	0.940153	0.907343	0.910513	0.908275	0.940153
463	0.940449	0.892973	0.895098	0.894121	0.940449
464	0.940056	0.896771	0.899318	0.897759	0.940056
465	0.940328	0.892586	0.8957	0.893171	0.940328
466	0.940104	0.898069	0.901089	0.898841	0.940104
467	0.939996	0.900243	0.903843	0.90197	0.939996
468	0.940479	0.902195	0.904856	0.903166	0.940479
469	0.940662	0.893705	0.896554	0.895271	0.940662
470	0.939519	0.895206	0.898692	0.895525	0.939519
471	0.940158	0.896433	0.900072	0.897417	0.940158
472	0.940556	0.902919	0.904825	0.903349	0.940556
473	0.940276	0.898285	0.901753	0.898885	0.940276
474	0.93987	0.90506	0.907339	0.905317	0.93987
475	0.940462	0.89429	0.897552	0.895398	0.940462
476	0.939925	0.900428	0.903823	0.900658	0.939925
477	0.940598	0.897771	0.90097	0.897624	0.940598
478	0.940183	0.905557	0.910911	0.906685	0.940183
479	0.940337	0.907723	0.911606	0.908873	0.940337
480	0.940387	0.891559	0.895135	0.892616	0.940387
481	0.940091	0.896357	0.900943	0.89806	0.940091
482	0.94059	0.898298	0.901332	0.899126	0.94059

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
483	0.940322	0.896898	0.898992	0.897532	0.940322
484	0.939966	0.898878	0.903519	0.899215	0.939966
485	0.940527	0.904595	0.907373	0.905084	0.940527
486	0.940131	0.888703	0.892597	0.890716	0.940131
487	0.939839	0.897151	0.900325	0.897942	0.939839
488	0.940396	0.904166	0.906352	0.905088	0.940396
489	0.94009	0.897355	0.900591	0.898268	0.94009
490	0.940443	0.900411	0.903425	0.900638	0.940443
491	0.940469	0.894877	0.897748	0.895229	0.940469
492	0.939927	0.890563	0.893809	0.89129	0.939927
493	0.940387	0.902131	0.90413	0.902791	0.940387
494	0.940486	0.898974	0.902975	0.899025	0.940486
495	0.940598	0.89571	0.89773	0.896887	0.940598
496	0.940881	0.899924	0.902853	0.901039	0.940881
497	0.940257	0.901573	0.903515	0.901904	0.940257
498	0.940629	0.896499	0.898975	0.897533	0.940629
499	0.940206	0.892832	0.896265	0.894429	0.940206
500	0.940623	0.897675	0.90154	0.898898	0.940623

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. ผลการประมาณค่าความเที่ยงที่ได้จากข้อมูลจำลอง 500 ชุด จำแนกตามวิธีการประมาณความเที่ยง ภายใต้สถานการณ์การวัดที่มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างมิติเท่ากับ 0.9

ตาราง ค่าประมาณความเที่ยงที่ได้จากข้อมูลจำลอง 500 ชุด

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
1	0.947049	0.897704	0.899246	0.898387	0.893998
2	0.946663	0.894864	0.896289	0.89576	0.889699
3	0.946628	0.895435	0.89683	0.896275	0.890156
4	0.946027	0.902924	0.904159	0.903773	0.896978
5	0.946848	0.901892	0.903551	0.902589	0.898255
6	0.94688	0.896616	0.898117	0.897502	0.892483
7	0.94639	0.899727	0.90101	0.900512	0.894355
8	0.946618	0.907658	0.909077	0.908344	0.904275
9	0.947146	0.899442	0.90046	0.900179	0.896421
10	0.946315	0.902536	0.903549	0.903307	0.897401
11	0.946579	0.901394	0.902518	0.90201	0.896698
12	0.946651	0.901489	0.903311	0.902543	0.897742
13	0.946773	0.893352	0.894612	0.894074	0.888034
14	0.946223	0.901907	0.903352	0.902512	0.896102
15	0.946738	0.891539	0.893005	0.892291	0.885815
16	0.946602	0.90242	0.903796	0.90322	0.898264
17	0.946106	0.911665	0.912749	0.912526	0.907676
18	0.94645	0.904516	0.906059	0.905315	0.900269
19	0.946066	0.905611	0.907002	0.90636	0.900192
20	0.946576	0.898923	0.90016	0.899502	0.89371
21	0.946681	0.897612	0.898808	0.898294	0.892678
22	0.946524	0.899223	0.900507	0.900093	0.894231
23	0.946369	0.907518	0.908781	0.908327	0.903574

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
24	0.946221	0.906341	0.907437	0.907198	0.901725
25	0.946586	0.898168	0.900033	0.899166	0.893548
26	0.946376	0.902162	0.903264	0.902951	0.897184
27	0.947579	0.886408	0.888073	0.887188	0.882649
28	0.9466	0.904163	0.905703	0.905042	0.900444
29	0.946686	0.90052	0.903512	0.901545	0.896764
30	0.946911	0.896296	0.897646	0.897134	0.892144
31	0.946548	0.902465	0.903761	0.903186	0.898017
32	0.946487	0.898352	0.89964	0.899297	0.893266
33	0.946738	0.902648	0.904391	0.903722	0.899442
34	0.946818	0.90025	0.901423	0.901041	0.896388
35	0.946181	0.902582	0.903896	0.90341	0.897081
36	0.946386	0.899699	0.901429	0.900503	0.894303
37	0.946649	0.904686	0.905832	0.9054	0.900979
38	0.946433	0.904346	0.905694	0.905171	0.900014
39	0.946903	0.899256	0.90068	0.900059	0.895532
40	0.946722	0.898206	0.899383	0.89906	0.893672
41	0.946659	0.896897	0.898079	0.897751	0.891885
42	0.947111	0.896103	0.89714	0.896936	0.892536
43	0.946979	0.89963	0.900921	0.900354	0.896059
44	0.946455	0.905847	0.907299	0.906608	0.901675
45	0.94675	0.903926	0.905262	0.90458	0.900308
46	0.946789	0.897347	0.898752	0.898235	0.893031
47	0.946486	0.906367	0.90788	0.907232	0.902704
48	0.946278	0.902084	0.90358	0.902832	0.896693
49	0.94662	0.904107	0.90569	0.904823	0.900175
50	0.946897	0.897623	0.899253	0.898278	0.893356

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
51	0.946852	0.900947	0.902456	0.901851	0.897557
52	0.947126	0.895892	0.897141	0.896616	0.892206
53	0.94628	0.906546	0.907553	0.907287	0.901995
54	0.946463	0.903225	0.904482	0.903908	0.898586
55	0.946975	0.898666	0.899887	0.899579	0.895233
56	0.94714	0.893445	0.895247	0.894203	0.889478
57	0.946559	0.899088	0.900971	0.899955	0.8943
58	0.946262	0.90196	0.903101	0.902747	0.896548
59	0.946125	0.902022	0.90358	0.903018	0.896483
60	0.94629	0.906736	0.908244	0.907342	0.902045
61	0.946656	0.904041	0.905323	0.904825	0.900269
62	0.946342	0.903444	0.904554	0.904094	0.898285
63	0.946219	0.906141	0.908016	0.907102	0.901593
64	0.947519	0.893025	0.894237	0.893777	0.890038
65	0.946507	0.907104	0.908446	0.907957	0.9036
66	0.947351	0.888694	0.890037	0.8895	0.884659
67	0.946526	0.908468	0.909479	0.909212	0.905097
68	0.946611	0.902114	0.903202	0.902941	0.897908
69	0.946263	0.905979	0.907064	0.906851	0.901454
70	0.946841	0.89627	0.898137	0.897106	0.89192
71	0.946396	0.897636	0.899193	0.898163	0.891468
72	0.946537	0.899949	0.901057	0.900574	0.894836
73	0.946391	0.901018	0.902272	0.901553	0.895489
74	0.946351	0.904525	0.905589	0.905287	0.899833
75	0.946648	0.893693	0.896029	0.894959	0.888845
76	0.946123	0.90263	0.904141	0.903478	0.89699
77	0.946463	0.894071	0.896267	0.895213	0.888311

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
78	0.946732	0.900973	0.902077	0.90176	0.896927
79	0.946622	0.899898	0.901797	0.900727	0.89539
80	0.946067	0.909951	0.911452	0.910884	0.905611
81	0.946386	0.904928	0.906305	0.905856	0.900684
82	0.94641	0.906448	0.908109	0.907411	0.90268
83	0.946825	0.897224	0.898491	0.897885	0.892695
84	0.947251	0.892562	0.89407	0.89325	0.888635
85	0.946412	0.901875	0.903147	0.902586	0.896876
86	0.946815	0.902638	0.903891	0.903423	0.899209
87	0.946845	0.891845	0.89306	0.892528	0.886394
88	0.94647	0.902698	0.904149	0.903605	0.898369
89	0.946595	0.898399	0.899777	0.899125	0.893365
90	0.946809	0.897457	0.899033	0.897907	0.892542
91	0.946944	0.895909	0.897667	0.896763	0.891768
92	0.94734	0.885903	0.887245	0.886733	0.881433
93	0.947251	0.893193	0.894595	0.894017	0.88961
94	0.946499	0.901486	0.902765	0.902155	0.896551
95	0.946518	0.900117	0.90157	0.901099	0.895542
96	0.946849	0.889388	0.890892	0.890292	0.883852
97	0.947009	0.89454	0.896062	0.895157	0.890004
98	0.946912	0.892664	0.894491	0.893532	0.887896
99	0.946566	0.898163	0.899929	0.899075	0.893269
100	0.946942	0.895644	0.896751	0.896378	0.891298
101	0.946952	0.89363	0.894988	0.894345	0.888936
102	0.946832	0.898908	0.900494	0.899738	0.89497
103	0.947129	0.893266	0.894654	0.89419	0.889467
104	0.94657	0.895485	0.896685	0.896316	0.890012

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
105	0.946766	0.903192	0.904467	0.904014	0.899779
106	0.946451	0.902996	0.904367	0.903625	0.89813
107	0.946778	0.89597	0.89773	0.896938	0.891503
108	0.946424	0.902892	0.904092	0.903476	0.897881
109	0.946729	0.894149	0.895288	0.894769	0.888683
110	0.946969	0.897533	0.898983	0.898551	0.894073
111	0.946534	0.900302	0.901835	0.901281	0.895838
112	0.946892	0.895388	0.896537	0.896135	0.890845
113	0.9467	0.896991	0.898571	0.897906	0.892365
114	0.946588	0.900191	0.901487	0.900877	0.895419
115	0.946685	0.89775	0.89912	0.898482	0.892877
116	0.946403	0.899584	0.900715	0.900401	0.894235
117	0.947237	0.897056	0.898269	0.897784	0.89385
118	0.946415	0.905213	0.907074	0.905974	0.900905
119	0.946562	0.901545	0.903053	0.902227	0.896912
120	0.947147	0.894269	0.895432	0.895097	0.890503
121	0.946891	0.900579	0.901629	0.901371	0.89702
122	0.946419	0.907354	0.908779	0.907886	0.902981
123	0.947305	0.887869	0.889206	0.888432	0.883146
124	0.946611	0.898504	0.899719	0.899185	0.893501
125	0.946778	0.896981	0.89823	0.897682	0.892261
126	0.947089	0.896489	0.89828	0.897245	0.892841
127	0.946645	0.898424	0.899697	0.899068	0.893446
128	0.946406	0.906938	0.908072	0.907775	0.903043
129	0.946605	0.90722	0.908476	0.908038	0.90401
130	0.946788	0.898667	0.899908	0.899505	0.894499
131	0.947072	0.897119	0.898479	0.897922	0.893555

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
132	0.946568	0.897268	0.898484	0.898048	0.892012
133	0.946646	0.898701	0.900074	0.899508	0.89409
134	0.946449	0.906088	0.907435	0.906941	0.902095
135	0.947104	0.888718	0.890307	0.889578	0.883781
136	0.94702	0.89265	0.894211	0.89345	0.888213
137	0.946835	0.902238	0.903956	0.903065	0.898925
138	0.946561	0.90674	0.908505	0.907712	0.903375
139	0.94627	0.904328	0.905896	0.90528	0.899655
140	0.947214	0.89845	0.899918	0.899257	0.89558
141	0.946861	0.89589	0.897062	0.896695	0.891429
142	0.946533	0.903062	0.904368	0.903676	0.898521
143	0.946643	0.8943	0.895524	0.895026	0.888689
144	0.946586	0.902909	0.904062	0.903753	0.898841
145	0.947045	0.892076	0.893292	0.892923	0.887613
146	0.947186	0.894273	0.895691	0.89519	0.89072
147	0.947177	0.890756	0.892117	0.891594	0.886496
148	0.946423	0.902024	0.903822	0.902857	0.897268
149	0.946338	0.898254	0.8997	0.8992	0.892629
150	0.946676	0.899997	0.901407	0.900615	0.895325
151	0.947128	0.896186	0.897704	0.896985	0.89271
152	0.946595	0.898316	0.899457	0.898866	0.892999
153	0.947006	0.896152	0.897618	0.897071	0.89241
154	0.946833	0.895208	0.896654	0.896013	0.890557
155	0.946933	0.895682	0.896992	0.896554	0.891529
156	0.946837	0.89653	0.898434	0.897514	0.892422
157	0.946988	0.890255	0.891471	0.891143	0.885356
158	0.94698	0.894987	0.896319	0.895876	0.890904

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
159	0.946774	0.897639	0.898795	0.898414	0.893145
160	0.946885	0.901195	0.902871	0.902062	0.897898
161	0.946566	0.904446	0.905737	0.905252	0.900533
162	0.946929	0.897154	0.898318	0.897908	0.893035
163	0.946661	0.902466	0.903848	0.903329	0.898621
164	0.946585	0.898239	0.899631	0.898988	0.893179
165	0.946593	0.899151	0.900829	0.899821	0.894208
166	0.946822	0.893895	0.895027	0.894554	0.888732
167	0.946552	0.901097	0.902288	0.901897	0.896514
168	0.947152	0.895037	0.896471	0.895807	0.891335
169	0.947095	0.894597	0.89603	0.895502	0.890857
170	0.946412	0.902139	0.90391	0.903038	0.897449
171	0.946439	0.905413	0.906736	0.906234	0.901282
172	0.946797	0.897496	0.898645	0.898232	0.893013
173	0.946609	0.901671	0.903001	0.902433	0.897391
174	0.946733	0.900077	0.901219	0.900929	0.895983
175	0.946694	0.896986	0.898602	0.897942	0.892453
176	0.946779	0.903953	0.905214	0.904768	0.900709
177	0.94617	0.902596	0.903795	0.903386	0.897012
178	0.946491	0.901927	0.90303	0.902749	0.897319
179	0.945965	0.902235	0.903934	0.90322	0.896142
180	0.946687	0.900393	0.901562	0.901311	0.896327
181	0.94651	0.897942	0.899742	0.898887	0.892914
182	0.94646	0.90291	0.904255	0.903669	0.898339
183	0.946302	0.902396	0.903854	0.903358	0.897479
184	0.946474	0.902094	0.903667	0.902815	0.897333
185	0.947354	0.893318	0.894458	0.894215	0.890121

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
186	0.946414	0.902981	0.904748	0.903667	0.898128
187	0.94693	0.896187	0.897536	0.896686	0.891556
188	0.9476	0.886977	0.888432	0.887832	0.883526
189	0.946625	0.896791	0.897959	0.897141	0.89102
190	0.946394	0.897449	0.89893	0.898239	0.891678
191	0.946442	0.906767	0.908331	0.907666	0.903018
192	0.946078	0.904344	0.90548	0.905171	0.898786
193	0.946751	0.897329	0.898757	0.897918	0.892476
194	0.946821	0.89848	0.899844	0.899482	0.894672
195	0.947008	0.892219	0.893457	0.892829	0.887303
196	0.947643	0.886127	0.887144	0.886791	0.882367
197	0.946383	0.898561	0.899846	0.899271	0.892843
198	0.946125	0.905228	0.906355	0.906015	0.900008
199	0.946714	0.893433	0.895195	0.894323	0.888179
200	0.946245	0.902297	0.903623	0.903211	0.897098
201	0.946203	0.902693	0.904122	0.903581	0.897384
202	0.946418	0.905093	0.906344	0.905819	0.900656
203	0.94619	0.903336	0.904443	0.903915	0.897599
204	0.946818	0.896559	0.898312	0.897543	0.892263
205	0.947075	0.896425	0.897834	0.897106	0.892597
206	0.945809	0.906059	0.90726	0.90674	0.899694
207	0.946434	0.904374	0.905939	0.904988	0.899759
208	0.946373	0.900483	0.901648	0.901035	0.89477
209	0.946543	0.904868	0.90656	0.905401	0.900621
210	0.946595	0.898267	0.899789	0.899228	0.893607
211	0.946114	0.905675	0.906919	0.906485	0.900474
212	0.946773	0.901232	0.902522	0.902051	0.897449

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
213	0.94627	0.903027	0.904586	0.903919	0.898009
214	0.946575	0.898674	0.900408	0.899587	0.89393
215	0.946618	0.902946	0.904294	0.903848	0.899102
216	0.946431	0.897465	0.898796	0.898199	0.891697
217	0.946411	0.900149	0.901897	0.901129	0.89515
218	0.946522	0.9025	0.903877	0.903249	0.898029
219	0.946786	0.892616	0.893952	0.893411	0.887275
220	0.946269	0.893257	0.895325	0.894314	0.886474
221	0.947129	0.897919	0.899203	0.898462	0.894337
222	0.946712	0.901385	0.902604	0.902136	0.897306
223	0.946337	0.906209	0.907874	0.907184	0.902186
224	0.946302	0.902709	0.903877	0.903589	0.897719
225	0.94672	0.894812	0.896201	0.895656	0.889719
226	0.946364	0.906117	0.908534	0.907207	0.902201
227	0.946636	0.895709	0.897165	0.896524	0.890469
228	0.946874	0.903721	0.904832	0.904566	0.900768
229	0.946866	0.894357	0.895611	0.895055	0.889514
230	0.94684	0.899237	0.900395	0.899958	0.895161
231	0.946594	0.900531	0.901864	0.901315	0.896007
232	0.946339	0.895762	0.89749	0.896877	0.889951
233	0.946767	0.894689	0.896122	0.895369	0.889496
234	0.946399	0.904136	0.905514	0.905004	0.89972
235	0.946935	0.898839	0.900626	0.899961	0.895721
236	0.947407	0.88508	0.886349	0.885825	0.880506
237	0.946821	0.900778	0.901875	0.901647	0.897128
238	0.946574	0.900848	0.902115	0.901653	0.896364
239	0.946389	0.898023	0.899797	0.898911	0.892399

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
240	0.946011	0.904126	0.905595	0.90499	0.898389
241	0.946249	0.908511	0.909781	0.909383	0.904438
242	0.946392	0.897811	0.899176	0.898585	0.891999
243	0.946084	0.900194	0.901745	0.90096	0.893867
244	0.946513	0.90085	0.902366	0.901725	0.89625
245	0.947381	0.892396	0.893759	0.892889	0.88861
246	0.947068	0.899731	0.900941	0.900527	0.896641
247	0.946982	0.900953	0.902141	0.901723	0.897705
248	0.946717	0.893517	0.895173	0.893971	0.887637
249	0.94629	0.90406	0.905349	0.904752	0.899018
250	0.946503	0.899879	0.901139	0.900647	0.894875
251	0.946608	0.895541	0.897499	0.896549	0.890457
252	0.946427	0.904679	0.906259	0.90547	0.900367
253	0.947035	0.895184	0.89628	0.895845	0.89098
254	0.947133	0.888437	0.890317	0.889326	0.88379
255	0.947094	0.90364	0.905008	0.904461	0.901356
256	0.947007	0.890125	0.891474	0.890876	0.88506
257	0.946112	0.905752	0.907895	0.906557	0.900628
258	0.946786	0.898957	0.900445	0.899694	0.894654
259	0.946169	0.903702	0.905142	0.904474	0.898272
260	0.946447	0.903783	0.905055	0.904563	0.89935
261	0.946749	0.893111	0.894864	0.893842	0.887712
262	0.946566	0.896344	0.89795	0.897286	0.891195
263	0.947054	0.896219	0.89747	0.896936	0.892347
264	0.946481	0.901213	0.902771	0.901426	0.89554
265	0.946933	0.898801	0.900067	0.899752	0.895276
266	0.946788	0.898728	0.899969	0.899493	0.8944

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
267	0.946684	0.89651	0.897972	0.897185	0.891451
268	0.946744	0.89779	0.899594	0.898529	0.89324
269	0.946751	0.89959	0.900836	0.900315	0.895304
270	0.946431	0.901592	0.903131	0.902553	0.896956
271	0.946978	0.895118	0.896912	0.895809	0.890695
272	0.946167	0.898662	0.900398	0.899753	0.892761
273	0.946669	0.898877	0.900437	0.899578	0.894174
274	0.946667	0.890799	0.892719	0.891776	0.885078
275	0.946903	0.899699	0.901055	0.900436	0.895937
276	0.946807	0.896252	0.897369	0.896895	0.89136
277	0.946568	0.89973	0.901247	0.900433	0.894843
278	0.946796	0.894901	0.896572	0.895365	0.889593
279	0.946904	0.890281	0.891739	0.891048	0.884919
280	0.946911	0.897694	0.899189	0.898635	0.893909
281	0.947161	0.890254	0.891502	0.890844	0.885555
282	0.946679	0.903608	0.905761	0.904423	0.899927
283	0.946497	0.904722	0.906208	0.905565	0.900734
284	0.946713	0.9013	0.90236	0.902081	0.897245
285	0.947111	0.890813	0.892825	0.891845	0.886731
286	0.94701	0.892477	0.893865	0.893265	0.887787
287	0.946759	0.893884	0.895212	0.894643	0.888619
288	0.946875	0.894132	0.895579	0.894935	0.889393
289	0.947373	0.89496	0.896182	0.895701	0.891949
290	0.946018	0.905381	0.906971	0.906361	0.900074
291	0.946796	0.898773	0.900424	0.899824	0.895027
292	0.946634	0.896015	0.897639	0.896866	0.890899
293	0.947153	0.895918	0.896983	0.896722	0.892407

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
294	0.946121	0.907782	0.908911	0.908579	0.903028
295	0.946361	0.900689	0.902071	0.901032	0.894694
296	0.946914	0.901657	0.902992	0.902439	0.898267
297	0.94657	0.904386	0.905408	0.905037	0.900224
298	0.947263	0.891648	0.893067	0.892342	0.887623
299	0.94666	0.900911	0.902166	0.901701	0.896651
300	0.946553	0.909741	0.911652	0.910491	0.906804
301	0.946508	0.899456	0.900421	0.900183	0.894328
302	0.946324	0.89825	0.89972	0.899143	0.892512
303	0.946226	0.899444	0.901223	0.900587	0.893983
304	0.947098	0.89608	0.897351	0.896768	0.89221
305	0.9471	0.895665	0.896843	0.896091	0.891364
306	0.946623	0.901	0.902107	0.901837	0.896692
307	0.946597	0.899719	0.901236	0.900585	0.895152
308	0.946549	0.898588	0.900052	0.899356	0.89354
309	0.947104	0.895384	0.897095	0.896359	0.891965
310	0.946513	0.902413	0.904325	0.903393	0.89822
311	0.946935	0.895648	0.896739	0.896457	0.891387
312	0.946551	0.902196	0.903316	0.902865	0.897615
313	0.946909	0.894899	0.896259	0.895527	0.890202
314	0.946075	0.90724	0.908573	0.907979	0.90216
315	0.946436	0.909613	0.910841	0.910136	0.90585
316	0.946592	0.899545	0.901021	0.900247	0.894654
317	0.945932	0.901007	0.902536	0.901539	0.893921
318	0.946399	0.904755	0.905769	0.905336	0.900024
319	0.946708	0.900455	0.901532	0.901051	0.895964
320	0.946668	0.902235	0.903393	0.903082	0.898314

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
321	0.946955	0.896608	0.898029	0.897443	0.892561
322	0.947057	0.893794	0.895156	0.894519	0.8895
323	0.946537	0.900606	0.902432	0.901546	0.89612
324	0.947108	0.899607	0.901367	0.900574	0.896917
325	0.946703	0.897611	0.89906	0.898361	0.892867
326	0.946745	0.898204	0.899433	0.898961	0.89369
327	0.946351	0.907748	0.909063	0.908651	0.903911
328	0.946222	0.904062	0.905665	0.904892	0.899014
329	0.946495	0.905485	0.906772	0.906151	0.901334
330	0.946466	0.902202	0.903449	0.903	0.897563
331	0.94685	0.891366	0.893165	0.892379	0.886401
332	0.946796	0.896824	0.898181	0.897394	0.891885
333	0.946293	0.895764	0.897206	0.89628	0.888925
334	0.946454	0.906435	0.908119	0.907243	0.902588
335	0.946522	0.900808	0.902295	0.901505	0.895912
336	0.946891	0.898272	0.899801	0.899055	0.89419
337	0.946448	0.901255	0.902544	0.90186	0.896107
338	0.947259	0.891365	0.892627	0.891889	0.887026
339	0.946889	0.898315	0.899887	0.899268	0.894631
340	0.947244	0.892934	0.89437	0.893645	0.889106
341	0.946929	0.895864	0.897961	0.896881	0.892013
342	0.946768	0.895077	0.896292	0.895835	0.890053
343	0.946471	0.904193	0.905319	0.904873	0.899747
344	0.946593	0.903516	0.904661	0.904362	0.899588
345	0.946921	0.890451	0.892215	0.891082	0.885033
346	0.946306	0.906611	0.907818	0.907459	0.902322
347	0.946911	0.894765	0.896272	0.895713	0.890514

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
348	0.947081	0.890836	0.892134	0.891441	0.885889
349	0.946664	0.897197	0.898569	0.898098	0.89249
350	0.946779	0.893798	0.89549	0.894762	0.888952
351	0.946608	0.899061	0.90077	0.899875	0.894335
352	0.946583	0.896959	0.898201	0.897746	0.891766
353	0.946825	0.903641	0.904977	0.904318	0.900279
354	0.9469	0.898658	0.89997	0.899509	0.894927
355	0.946432	0.905499	0.906592	0.906314	0.901342
356	0.946258	0.899026	0.900272	0.899958	0.893286
357	0.946935	0.897977	0.899324	0.898741	0.894078
358	0.946759	0.898676	0.900192	0.899282	0.894131
359	0.947342	0.897133	0.898484	0.897987	0.894494
360	0.946545	0.909783	0.911276	0.910561	0.906765
361	0.945864	0.910296	0.911529	0.911055	0.905087
362	0.946823	0.897937	0.899147	0.898727	0.893686
363	0.947143	0.888095	0.889377	0.888558	0.882781
364	0.946529	0.904538	0.905893	0.905312	0.900548
365	0.946251	0.903151	0.904265	0.903929	0.897898
366	0.947197	0.89931	0.900607	0.900105	0.896592
367	0.946775	0.903171	0.904276	0.903976	0.899703
368	0.946503	0.906933	0.908288	0.907727	0.903308
369	0.9468	0.902056	0.903337	0.903	0.898692
370	0.946795	0.899902	0.901127	0.900537	0.895652
371	0.946406	0.89904	0.900524	0.899875	0.893694
372	0.946549	0.898839	0.900198	0.899476	0.893632
373	0.947093	0.896988	0.898706	0.897558	0.893084
374	0.946182	0.905005	0.906047	0.905667	0.899692

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
375	0.946465	0.897393	0.899296	0.898276	0.891967
376	0.94655	0.896085	0.897592	0.897038	0.890836
377	0.946713	0.901348	0.90257	0.902113	0.897255
378	0.946499	0.899038	0.900257	0.899907	0.894009
379	0.946583	0.896944	0.898598	0.897794	0.891822
380	0.9469	0.894901	0.89624	0.895838	0.89058
381	0.946333	0.904132	0.905575	0.90498	0.899432
382	0.947184	0.899242	0.900429	0.9	0.896352
383	0.946531	0.895886	0.897889	0.896976	0.890691
384	0.946892	0.90255	0.903932	0.903393	0.899321
385	0.946487	0.906905	0.908099	0.907606	0.903018
386	0.946167	0.900008	0.901123	0.90052	0.893473
387	0.946477	0.899361	0.900869	0.900132	0.89423
388	0.9464	0.893377	0.895535	0.894501	0.887431
389	0.946212	0.905416	0.907038	0.906305	0.900597
390	0.94626	0.903369	0.904898	0.904382	0.898586
391	0.946688	0.898377	0.899946	0.899133	0.893697
392	0.946978	0.895065	0.896913	0.895947	0.891007
393	0.946664	0.906786	0.908227	0.907608	0.903668
394	0.946825	0.903194	0.904686	0.90377	0.899463
395	0.946658	0.897324	0.898909	0.898151	0.892475
396	0.946981	0.897749	0.899196	0.898636	0.894177
397	0.946801	0.893514	0.895051	0.894252	0.888304
398	0.946316	0.90111	0.902706	0.901784	0.895507
399	0.946156	0.897661	0.898867	0.898487	0.891128
400	0.946987	0.893673	0.894928	0.894442	0.88919
401	0.946793	0.899357	0.900635	0.900027	0.895106

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
402	0.946615	0.900306	0.902243	0.901306	0.896166
403	0.946576	0.901452	0.902909	0.902363	0.897241
404	0.946713	0.896739	0.898114	0.897587	0.891986
405	0.946201	0.901605	0.903136	0.902433	0.895956
406	0.946549	0.90149	0.902912	0.902394	0.897084
407	0.946489	0.902467	0.903918	0.903179	0.897797
408	0.946608	0.899428	0.901214	0.900182	0.894729
409	0.946535	0.895781	0.897626	0.896779	0.890571
410	0.946867	0.896902	0.898195	0.897742	0.892712
411	0.946386	0.906107	0.907193	0.906926	0.901931
412	0.946468	0.901646	0.9032	0.902411	0.896842
413	0.94687	0.899857	0.90128	0.900564	0.895944
414	0.946845	0.89703	0.8984	0.897888	0.892824
415	0.946592	0.899081	0.90044	0.899947	0.894328
416	0.947213	0.894161	0.89596	0.895047	0.890643
417	0.947099	0.890201	0.89197	0.891158	0.885839
418	0.947127	0.894907	0.895985	0.895645	0.891054
419	0.946275	0.908122	0.909254	0.908687	0.903572
420	0.946353	0.904726	0.905997	0.905624	0.900291
421	0.946797	0.893852	0.895343	0.894715	0.888888
422	0.94677	0.902195	0.903373	0.90307	0.898671
423	0.946597	0.901684	0.902798	0.902343	0.89718
424	0.946457	0.902422	0.903757	0.903031	0.897491
425	0.946717	0.900294	0.90244	0.901079	0.896107
426	0.947075	0.884765	0.886537	0.885747	0.879415
427	0.947327	0.894667	0.895915	0.89536	0.891204
428	0.946667	0.902982	0.904275	0.903739	0.899062

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
429	0.946154	0.902281	0.903962	0.902955	0.896381
430	0.947042	0.891074	0.892482	0.891753	0.886216
431	0.947051	0.900759	0.902068	0.901642	0.897955
432	0.946116	0.908439	0.910018	0.909336	0.903954
433	0.946781	0.897911	0.899744	0.898915	0.893905
434	0.946378	0.89558	0.896814	0.896334	0.889334
435	0.946695	0.899649	0.901016	0.900421	0.895289
436	0.946636	0.900609	0.9022	0.901618	0.89658
437	0.94736	0.890931	0.892413	0.891378	0.886824
438	0.946595	0.902451	0.903662	0.903292	0.898324
439	0.946593	0.903961	0.905623	0.904936	0.900361
440	0.946826	0.892609	0.893909	0.893221	0.887189
441	0.946297	0.902103	0.903745	0.90295	0.896971
442	0.947249	0.891014	0.89255	0.891749	0.88692
443	0.94627	0.911136	0.91233	0.911772	0.907169
444	0.946442	0.904054	0.905484	0.904944	0.899774
445	0.94692	0.892083	0.893294	0.892824	0.887063
446	0.947097	0.898806	0.900579	0.899495	0.89548
447	0.946783	0.898418	0.900036	0.899145	0.894018
448	0.94696	0.896836	0.898667	0.897664	0.89289
449	0.947323	0.891823	0.893491	0.892304	0.88778
450	0.946805	0.897245	0.898557	0.897932	0.892619
451	0.946107	0.903773	0.905122	0.904577	0.898198
452	0.946358	0.901325	0.902691	0.902242	0.896321
453	0.946248	0.900761	0.902432	0.901757	0.895402
454	0.946523	0.900554	0.901873	0.901397	0.895869
455	0.946674	0.903756	0.904871	0.904521	0.899986

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
456	0.946471	0.904275	0.905526	0.905122	0.900128
457	0.946408	0.899859	0.901096	0.900614	0.894546
458	0.945903	0.902678	0.904229	0.903308	0.895952
459	0.946749	0.90262	0.903699	0.903505	0.89908
460	0.947022	0.897901	0.898951	0.898596	0.894154
461	0.946547	0.906797	0.907837	0.907321	0.902831
462	0.946087	0.907446	0.908834	0.908277	0.902528
463	0.94687	0.89319	0.894593	0.894123	0.888481
464	0.946666	0.896924	0.898267	0.897761	0.891967
465	0.946911	0.892533	0.893864	0.893172	0.887404
466	0.946708	0.898084	0.899435	0.898843	0.893479
467	0.946593	0.901089	0.902487	0.901972	0.896831
468	0.94674	0.902376	0.903819	0.903167	0.898707
469	0.946985	0.894303	0.89571	0.895272	0.89018
470	0.946451	0.895024	0.896123	0.895527	0.888567
471	0.946556	0.896564	0.898169	0.897419	0.891277
472	0.946816	0.902492	0.903926	0.903351	0.899111
473	0.946764	0.898175	0.899343	0.898887	0.893634
474	0.946134	0.90462	0.906	0.905318	0.899142
475	0.946694	0.89466	0.895825	0.8954	0.889348
476	0.946408	0.90018	0.901324	0.90066	0.894479
477	0.946775	0.897163	0.898349	0.897626	0.892121
478	0.946146	0.905882	0.907587	0.906686	0.900845
479	0.946144	0.908104	0.909475	0.908875	0.903432
480	0.947092	0.891999	0.893327	0.892618	0.887387
481	0.946807	0.897209	0.898456	0.898062	0.892887
482	0.946824	0.89839	0.899664	0.899127	0.894137

Time	Methods				
	Construct	Md omega	Maximal	Stratified	Alpha
483	0.946793	0.896855	0.897956	0.897533	0.892161
484	0.946766	0.89865	0.900163	0.899217	0.894025
485	0.946602	0.904407	0.905941	0.905085	0.900476
486	0.947057	0.889659	0.891331	0.890718	0.885132
487	0.946247	0.896904	0.899077	0.897944	0.890908
488	0.946497	0.904276	0.905529	0.90509	0.900165
489	0.946972	0.897519	0.898986	0.898269	0.893687
490	0.946739	0.900031	0.901274	0.90064	0.895593
491	0.94692	0.894548	0.895764	0.895231	0.889859
492	0.946779	0.890542	0.891921	0.891292	0.884804
493	0.946756	0.90199	0.903187	0.902793	0.898307
494	0.946801	0.898405	0.899879	0.899027	0.893876
495	0.947038	0.896045	0.897277	0.896889	0.892287
496	0.946817	0.90021	0.901258	0.901041	0.896381
497	0.946603	0.901064	0.902278	0.901906	0.896672
498	0.9473	0.896693	0.897943	0.897534	0.893866
499	0.946907	0.893479	0.894994	0.894431	0.889053
500	0.946972	0.898053	0.899319	0.8989	0.894275

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววิภาพรรณ มักขุนทด เกิดวันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2532 ที่อำเภอวัดโบสถ์ จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชามัธยมศึกษา วิชาเอกชีววิทยา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555 และ เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรครุศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2556 ปัจจุบันเป็นข้าราชการครู ที่โรงเรียนสายปัญญา ในพระบรมราชินูปถัมภ์ กรุงเทพมหานคร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University