



## วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาตำรา เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้รายละเอียดดังที่แยกเสนอ เป็น 4 ตอนดังนี้ ตอนที่ 1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน สาธารณะในตอนนั้นกล่าวถึงความหมาย สาเหตุ ผลกระทบและความจำเป็นที่ต้องมีการวินิจฉัย มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ตอนที่ 2 กล่าวถึงแนวคิดทางจิตวิทยาที่อธิบายเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน อันเป็นที่มาของแนวคิดในการพัฒนาวิธีการวินิจฉัย มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้วิจัย ตอนที่ 3 กล่าวถึงการวินิจฉัย มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนด้วยวิธีการต่าง ๆ ตามลำดับจนถึงวิธีการที่พัฒนาขึ้น และสุดท้ายตอนที่ 4 เป็นการสรุปเพื่อเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของวิธีการวินิจฉัย มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแบบต่าง ๆ ดังกล่าว

## ตอนที่ 1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

## ความหมายของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

คำว่า มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน หรือ แนวความคิดที่คลาดเคลื่อน มาจากคำในภาษาอังกฤษว่า misconceptions ซึ่งในภาษาอังกฤษยังมีคำอื่นที่มีความหมายใกล้เคียงกัน เช่น preconceptions, native theories, alternative frameworks, alternative conceptions, erroneous idea, children's science (Suwimon Kiokaew, 1988 อ้างถึงในวารสาร ธีรลลิต, 2532; Treaquist, 1989) ส่วนทาชูโอกะใช้คำว่า erroneous rules (Tatsuoka, 1983a) โดยมีผู้ให้ความหมายของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนไว้หลายความหมาย พอจะจัดกลุ่มได้ดังนี้ กลุ่มแรก (Peterson and Treagust, 1989; Halloun and Hestenes, 1985; Helm, 1980) ให้ความหมายคล้ายกันว่า มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเป็นความรู้ ความเข้าใจ ที่ได้มาจากประสบการณ์ส่วนตัวแต่แตกต่างไปจากแนวคิดที่ได้รับการยอมรับในทางวิทยาศาสตร์ กลุ่มที่สองมองมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในแง่ของการตีความที่ผิด (Wondersee, 1986; Ron, 1983) โดยให้ความหมายไว้ว่า มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเป็นมโนทัศน์ที่เกิดจากการตีความหมายของสิ่งต่าง ๆ ไปในทางที่ไม่ถูกต้อง ในขณะที่เพียเจต์ (Piaget, 1929) ได้ให้ความหมายที่ค่อนข้างเป็นรูปธรรมว่า มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเป็นวิธีการแก้ปัญหาด้วยความไม่รู้หรือ

ความรู้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งดูเหมือนจะถูกตั้งแต่ไม่ถูกต้องและไม่สอดคล้องกับหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ ส่วนนักวิชาการไทย (บุญเสริม ฤทธาภิรมย์, 2523; โสภภาพรรณ แสงศัพท์, 2518; สุชาติ โสภประยูร, 2512) ได้ให้ความหมายที่ค่อนข้างสอดคล้องกันว่า มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเป็นการ สัมผัสความรู้ ข้อสรุป ความเชื่อ ความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์ อันเป็นอุปสรรคต่อการ เรียนรู้เรื่องใหม่ ทำให้การเชื่อมโยงประสบการณ์ใหม่ช้าลงหรือไม่บังเกิดผล

จากความหมายทั้งหมดข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเป็นวิธีการแก้ปัญหาด้วยความรู้ ความเข้าใจที่ไม่สมบูรณ์หรือคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงที่ได้รับการยอมรับ ในทางวิทยาศาสตร์หรือการยอมรับในสังคมนั้น ๆ

ฟิชเชอร์ (Fisher, 1985) ได้กล่าวถึงลักษณะของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนไว้ พอสรุป ได้ดังนี้

1. เป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนไปจากมโนทัศน์ที่ยอมรับว่าถูกต้อง ในศาสตร์นั้น
2. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจะขยายวงกว้างออกไป จากเรื่องง่ายไปสู่เรื่องที่ยากขึ้น และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจำนวน ไม่น้อย ที่ยากต่อการเปลี่ยนแปลงแก้ไขหรือแก้ไข ได้น้อยมากเมื่อ ใช้วิธีการสอนแบบดั้งเดิม
3. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนบางเรื่องก็เกี่ยวข้องกับความเชื่ออื่น ๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกัน อย่างมีระบบ และทำให้นักเรียนมีแนวโน้มจะนำไปใช้ใน ชีวิตของเขาด้วย
4. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนบางเรื่องเป็นสิ่งที่ถ่ายทอดกันมาแต่อดีต จากผู้นำทางความรู้ ในศาสตร์นั้น ๆ แล้วถ่ายทอดมาสู่ผู้เรียน

#### สาเหตุของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

จากการศึกษาแนวคิดของนักวิชาการต่างประเทศ (Simson and Marek, 1988; Fisher, 1985; Halloun and Hestenes, 1985; Pines and West, 1983) สามารถ สรุปถึงสิ่งที่เป็นสาเหตุของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ได้ดังนี้

1. คำอธิบายของผู้ใหญ่ที่ขาดความเข้าใจในมโนทัศน์นั้นอย่างดีพอ
2. การเรียนรู้จากคำอธิบายที่เป็นนามธรรม เช่น เรื่องปฏิกิริยาของโมเลกุลซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ ทำให้ต้อง ใช้จินตนาการจนอาจเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้
3. การแปลความหมายเกี่ยวกับประสบการณ์ในธรรมชาติ ตามความเชื่อของนักปราชญ์

ในอดีต เช่น การเชื่อว่าดินคืออาหารของพืช ตามความเชื่อของอริสโตเติล

4. ประสบการณ์ที่ขัดแย้งกัน ไม่ว่าจะเป็นประสบการณ์ในโรงเรียนที่ขัดแย้งกันระหว่างครูผู้สอนหรือประสบการณ์ในโรงเรียนกับประสบการณ์ในชีวิตจริง

5. สถานการณ์ที่สอดคล้องกัน เช่น การขยายคำไปสู่ความหมายใหม่โดยนักเรียนจะเชื่อมโยงกับความหมายจากประสบการณ์เดิม ซึ่งอาจไม่สอดคล้องกับความหมายใหม่ที่ต้องเรียนรู้หรือการใช้วิธีการแก้ปัญหาที่เคยใช้ได้ผลในบางสถานการณ์มาเป็นข้อสรุปในวิธีการแก้ปัญหาของตนต่อสถานการณ์ทั่วไป

6. สถานการณ์ที่ทำให้ความรู้โดยใช้สัญลักษณ์ เช่น สัญลักษณ์ทางเคมี ก็ทำให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้ง่าย

ส่วนนักวิชาการไทย สุวิมล เขี้ยวแก้ว (Suwimon Kiokaew, 1988 อ้างถึงใน วราภรณ์ ธีรสิริ, 2532) ได้สรุปสาเหตุของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนไว้อย่างค่อนข้างชัดเจน 4 ประการ คือ ตำราเรียน พัฒนาการทางสติปัญญา ภาษาที่ใช้ในการสื่อสาร และครู โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ตำราเรียน เช่น การไม่ได้ให้ความหมายของคำบางคำไว้อย่างชัดเจน นักเรียนจะคิดความหมายขึ้นมาเอง ดังการศึกษาของชมิทธ์ (Schmidt, 1987 quoted in Suwimon Kiokaew, 1988 อ้างถึงใน วราภรณ์ ธีรสิริ, 2532) ที่ได้วิเคราะห์แบบเรียนเคมีซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในสาธารณรัฐเยอรมันในด้านการนำเสนอเรื่องคำร้อยละของมวล พบว่าหนังสือไม่ได้ให้ความหมายของคำร้อยละโดยมวลอย่างชัดเจนทำให้นักเรียนไม่ได้สังเกตความแตกต่างระหว่างคำว่าอัตราส่วน โดยมวลกับร้อยละ โดยมวล นักเรียนจึงคิดความหมายของคำว่าร้อยละโดยมวลขึ้นเอง และมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกิดขึ้น

2. พัฒนาการทางด้านสติปัญญา ในการที่นักเรียนจะศึกษามโนทัศน์ในบางเรื่องให้เข้าใจทั้งหมดจะต้องอาศัยวุฒิภาวะและพัฒนาการด้านสติปัญญาของนักเรียนด้วย ดังเช่นในการวิจัยของชมิทธ์ (Schmidt, 1987 quoted in Suwimon Kiokaew, 1988 อ้างถึงใน วราภรณ์ ธีรสิริ, 2532) พบว่าในการคำนวณเรื่องปริมาณสารสัมพันธ์ บางครั้งนักเรียนต้องใช้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสามตัว คือ มวล มวลต่อโมลและจำนวนโมล ความสามารถในการจัดการกระทำกับตัวแปรสามตัวเป็นตัวบ่งชี้พัฒนาการทางปัญญาของนักเรียน นักเรียนที่มีความสามารถยังไม่ถึงขั้นนี้จะพยายามใช้ตัวแปรสองตัวในการหาคำตอบเหมือนอย่างที่เคยทำเมื่อตอนเริ่มเรียน

3. ภาษา นักเรียนมักนำภาษาที่ใช้ในชีวิตประจำวันมาใช้ปะปนกับศัพท์ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งคำบางคำในชีวิตประจำวันกับในทางวิทยาศาสตร์ใช้คำเดียวกันแต่ความหมายไม่

เหมือนกัน

4. ครูบางคนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องที่ตนเองสอน จึงทำให้นักเรียนได้รับการถ่ายทอดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องนั้น ดังการศึกษาของกาเบลและคณะ (Gable et al., 1987 quoted in Suwimon Kiokaew, 1988 อ้างถึงใน วราภรณ์ ธีรสิริ, 2532) พบว่าครูร้อยละ 60 ได้ศึกษาเรื่องธรรมชาติของอนุภาคสาร มาตั้งแต่มัธยมปลายจนถึงระดับวิทยาลัย แต่ครูก็ยังมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องดังกล่าวอยู่

โดยสรุปแล้วมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอาจเกิดจากความเชื่อตามผู้ทรงคุณวุฒิในอดีต เนื้อหาที่ค่อนข้างเป็นนามธรรมทำให้เกิดจินตนาการที่ผิด ตำราเรียนที่เขียนไม่ชัดเจนหรือให้ความรู้ที่ไม่ถูกต้อง ปัญหาเรื่องภาษาและสัญลักษณ์ วุฒิกวาระและพัฒนาการทางปัญญาของนักเรียน ตลอดจนจนตัวผู้สอนเอง

ผลกระทบและความจำเป็นที่ต้องมีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอาจเกิดขึ้นก่อนหรือในระหว่างการเรียนรู้ โดยที่นักเรียนมักจะไม่รู้ตัวว่าตนเองมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอย่างไรและครูเองก็ไม่มีเวลาพอที่จะวินิจฉัยนักเรียนเป็นรายบุคคลได้ในทุก ๆ เนื้อหาหรือทุก ๆ ทักษะ จึงพบเสมอว่านักเรียนหลายคนจะบ่นว่าเวลาเรียนก็เข้าใจ แต่เวลาสอบกลับสอบไม่ผ่านหรือผ่านแต่ได้คะแนนไม่ดี ทำให้หมดกำลังใจที่จะเรียนรู้และมีทัศนคติที่ไม่ดีต่อวิชานั้น อันเป็นอุปสรรคต่อการเรียนรู้มโนทัศน์ที่สูงขึ้น โดยเฉพาะในวิชาคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นวิชาที่มีเนื้อหาต่อเนื่อง มีความซับซ้อนและมีลักษณะเป็นนามธรรม หากครูสามารถให้ข้อมูลป้อนกลับเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนแต่ละคนได้ภายหลังการประเมินผล การเรียนรู้ในแต่ละเนื้อหาก่อนที่จะเรียนเรื่องต่อไปก็จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ทั้งต่อตัวนักเรียนเองและการปรับปรุงการจัดการเรียนการสอนของครู ทำให้นักเรียนรู้ว่าตนเองยังมีความบกพร่องที่จุดใด ควรจะปรับปรุงตนเองอย่างไรเพื่อให้ผลการเรียนดีขึ้น ขณะเดียวกันครูผู้สอนเมื่อทราบข้อมูลเกี่ยวกับตัวผู้เรียนแล้วก็สามารถจะนำมาใช้ปรับปรุงการสอนของตน เพื่อให้เกิดผลสัมฤทธิ์กับผู้เรียนมากที่สุด อันเป็นการใช้กระบวนการวัดและประเมินผลที่คุ้มค่าและเกิดประโยชน์อย่างสูงต่อผู้เรียน

ตอนที่ 2 แนวคิดทางจิตวิทยาเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน : แนวคิดการประเมินกฎ  
(rule assessment approach)

การที่นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนสามารถอธิบายได้ด้วยแนวคิดทางจิตวิทยาที่สำคัญ แนวคิดหนึ่ง คือ แนวคิดการประมวลผล (information processing approach) หรือทฤษฎีการประมวลผล (information processing theory : IPT) ซึ่งเริ่มแพร่หลายเข้าสู่วงการจิตวิทยาในปี 1950 ทฤษฎีนี้ได้เสนอว่า มนุษย์มีลำดับขั้นตอนกระบวนการคิดแก้ปัญหาที่เป็นระบบ สารสนเทศหรือข้อมูลจะถูกควบคุมโดยลำดับขั้นตอนต่าง ๆ แต่ละขั้นตอนจะทำหน้าที่เฉพาะเจาะจง ต่อจากนั้นสารสนเทศก็จะวิ่งไปสู่ขั้นตอนต่อไป ดังนั้นตัวรับความรู้สึก (sensory receptors) ทั้งหลาย จะรับสารสนเทศ ซึ่งถูกเปลี่ยนแปลงระหว่างขั้นตอนหนึ่ง ๆ และผ่านไป ตามขั้นตอนต่าง ๆ ตามลำดับ จนกระทั่งมีการตอบสนอง (response) หรือ เก็บ (store) สารสนเทศในหน่วยความจำ จากแนวความคิดนี้ได้มีผู้นำไปประยุกต์เพื่อศึกษาพัฒนาการทางปัญญาของมนุษย์ (cognitive development) นำโดยโรเบิร์ต ซีเกล (Siegler, 1976) ซีเกลได้เสนอแนวคิดการประเมินกฎ (rule assessment approach) ที่เชื่อว่า การเจริญงอกงามทางความคิดและการมีมโนทัศน์ที่ถูกต้องสามารถแสดงออกมาในรูปของการเพิ่มขึ้นของกฎหรือแบบการคิดที่มีศักยภาพในการแก้ปัญหา แบบการคิดแก้ปัญหาของคนจะซับซ้อนขึ้นตามระดับของพัฒนาการ คนเราจะมีแบบการคิดแก้ปัญหาตามความเข้าใจของตนเอง จากการเรียนรู้ หรือจากประสบการณ์ที่เคยประสบผลสำเร็จ ในการแก้ปัญหาด้วยวิธีการนั้น ในทางคณิตศาสตร์หากนักเรียนมีแบบการคิดที่ผิด โดยคิดว่าสิ่งที่เข้าใจนั้นถูกต้องแล้ว นักเรียนก็มีแนวโน้มที่จะใช้แบบการคิดนั้นในการแก้ปัญหาเสมอ เพราะเหตุที่แบบการคิดที่ผิดหลายแบบสามารถที่จะให้คำตอบที่ถูกต้องได้ในบางกรณีของปัญหาด้วย อาจกล่าวได้ว่านักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่ถูกต้องจะใช้แบบการคิดแก้ปัญหาที่ให้คำตอบที่ถูกต้องในทุกเงื่อนไขของปัญหาในเรื่องนั้น และสามารถอ้างอิงถึงมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (misconceptions) ของนักเรียนแต่ละคนได้จากแบบการคิดที่ใช้ในการแก้ปัญหา โดยที่แบบการคิดนั้น อาจให้คำตอบที่ถูกต้องในปัญหาบางข้อได้ ดังนั้นการที่จะทราบได้ว่านักเรียนมีแบบการคิดแบบใดจึงต้องพิจารณาจากการตอบปัญหาทั้งหมด ลักษณะการตอบจะสะท้อนให้เห็นแบบการคิดที่ใช้ในการแก้ปัญหา ตามแนวคิดการประเมินกฎจึงสามารถวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้จากแบบการคิดที่นักเรียนใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งสามารถตรวจสอบ (detect) ได้จากลักษณะการตอบข้อสอบทั้งหมดในเนื้อหาของนักเรียนแต่ละคน และวิธีการที่เหมาะสม ในการวินิจฉัยว่าลักษณะการตอบของนักเรียน จะตรงกับลักษณะการตอบจากแบบการคิดใด ควรจะสามารถแก้ปัญหาเรื่องความคลาดเคลื่อนแบบลุ่ม อันเนื่องมาจากความไม่รอบคอบหรือการเดาลุ่มได้ด้วย ซึ่งแนวคิดนี้เอง

เป็นที่มาของวิธีการวินิจฉัยโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของทาทู โอะกะและของผู้วิจัย

ในการศึกษาเกี่ยวกับความเจริญงอกงามทางความคิด ภายใต้มโนทัศน์ที่เฉพาะเจาะจง ซีเกลอเริ่มโดยการทำนายกฎหรือแบบการคิดแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เด็กต่างระดับพัฒนาการจะนำมาใช้ ซึ่งในขั้นนี้เพียงเจ็ดก็ได้เคยศึกษามาแล้ว แต่ซีเกลอได้ศึกษาต่อยอดไปอีก โดยการคัดเลือกชุดของปัญหาในเนื้อหาเฉพาะ ให้เด็กระดับอายุต่าง ๆ ทำ แบบแผนการตอบของเด็กจากชุดปัญหาเหล่านี้ จะช่วยตัดสินได้ว่า เด็กใช้แบบการคิดใด แบบแผนการตอบแต่ละแบบจะสะท้อนแบบการคิดที่ต่างกันออกไป ซึ่งแนวคิดการประเมินกฎมีพื้นฐานความเชื่อ 5 ประการ ดังนี้

1. ความก้าวหน้าในการเข้าใจโมทัศน์ของเด็กจะแสดงออกผ่านระดับของแบบการคิดที่สูงขึ้น

2. แบบการคิดเหล่านี้เรียงลำดับตามการเพิ่มขึ้นของระดับความสัมพันธ์กับแบบการคิดที่ถูกต้อง ในสถานการณ์การแก้ปัญหาที่ต้องเผชิญ เด็กจะไม่ใช้แบบการคิดใหม่ที่มีความสัมพันธ์กับแบบการคิดที่ถูกต้องน้อยกว่าแบบการคิดที่เคยใช้อยู่เดิม

3. ประสิทธิภาพของการให้ประสบการณ์การเรียนรู้ พิจารณาได้จากแบบการคิดที่เด็กใช้ว่าใกล้เคียงกับแบบการคิดที่ถูกต้องเพียงใด หากเด็กยังไม่พบความแตกต่างของคำตอบในการแก้ปัญหาระหว่างแบบการคิดที่เคยใช้อยู่กับแบบการคิดใหม่ เด็กจะยังคงใช้แบบการคิดเดิมอยู่เสมอ

4. เหตุที่เด็กไม่สามารถใช้แบบการคิดที่ถูกต้องได้ในทันที หรือมีความยากลำบากในการเรียนรู้แบบการคิดที่ถูกต้อง ก็เนื่องมาจากว่าการเข้าใจโมทัศน์โดยทั่วไปจะต้องใช้การบูรณาการมิติขององค์ประกอบที่หลากหลาย

5. การเพิ่มความรู้เกี่ยวกับมิติขององค์ประกอบใหม่ โมทัศน์จะช่วยเพิ่มความสามารถในการเรียนรู้ของเด็ก

ซีเกลอได้แสดงตัวอย่างสถานการณ์ที่สามารถอธิบายได้ด้วยแนวคิดการประเมินกฎโดยเขาได้ทำการทดลองคัดเลือกชุดปัญหาในเนื้อหาวิชาหนึ่ง ให้กับเด็กที่มีระดับอายุแตกต่างกัน แล้วพิจารณาว่าแบบแผนการตอบของเด็ก จะแสดงถึงการใช้แบบการคิดของเด็กได้หรือไม่ ในขั้นนี้เขาให้เด็กระดับอายุต่าง ๆ ดูคานสมดุล ที่มีหมุดสำหรับแขวนตุ้มน้ำหนักอยู่ข้างละ 4 จุด และอยู่ห่างจากจุดหมุนเป็นระยะทางเท่า ๆ กัน (Seigler, 1976, 1978) เด็กต้องตอบว่าคานจะเอียงลงทางด้านใด เมื่อคานและตุ้มน้ำหนักถูกจัดอยู่ในสถานการณ์ที่ผู้ทดลองกำหนด ซีเกลอตั้งสมมติฐานว่า ความรู้ของเด็กระดับอายุต่าง ๆ เกี่ยวกับเรื่องคาน จะมีพัฒนาการ 4 ขั้นตอน ซึ่งแสดงออกมาในรูปของแบบการคิดในการแก้ปัญหา 4 แบบการคิด ดังนี้

แบบการคิดที่ 1 ซึ่งง่ายที่สุด คือ ดูเฉพาะตุ้มน้ำหนักที่แขวนในแต่ละข้าง ถ้ามีจำนวนเท่ากัน แสดงว่าคานจะสมดุล หากข้างใดมีจำนวนตุ้มน้ำหนักมากกว่าคานก็จะเอียงไปข้างนั้น โดยจะไม่สนใจระยะจากตุ้มน้ำหนักถึงจุดหมุนในแต่ละข้าง

แบบการคิดที่ 2 จะคิดโดยดูจำนวนตุ้มน้ำหนักแต่ละข้างเหมือนกัน แต่ถ้ามีจำนวนตุ้มน้ำหนักเท่ากัน ก็จะเริ่มพิจารณาระยะจากจุดหมุน นั่นคือจะทำนายว่าคานสมดุลเมื่อระยะจากตุ้มน้ำหนักถึงจุดหมุนเท่ากันทั้งสองข้าง ข้างใดที่มีระยะจากจุดหมุนมากกว่า คานก็จะเอียงลงข้างนั้น

แบบการคิดที่ 3 จะพิจารณาทั้งน้ำหนักและระยะจากจุดหมุน หากสองมิตินี้เท่ากันทั้ง 2 ข้าง คานก็จะสมดุล หากเท่ากันเพียงหนึ่งมิติก็จะพิจารณาอีกมิติหนึ่ง เช่น ถ้าจำนวนตุ้มน้ำหนักเท่ากันแต่ระยะจากจุดหมุนไม่เท่ากัน จะทำนายว่าข้างที่มีระยะจากจุดหมุนมากกว่าจะเอียงลง แต่ถ้าทั้งสองข้างแตกต่างกันทั้งจำนวนตุ้มน้ำหนักและระยะจากจุดหมุน ข้างที่มีจำนวนตุ้มน้ำหนักและระยะจากจุดหมุนมากกว่าจะเอียงลง ถ้าเงื่อนไขนอกเหนือจากนี้ เช่น ข้างซ้ายมีตุ้มน้ำหนักแขวนอยู่ 3 อัน ณ จุดที่ 2 จากจุดหมุน ส่วนข้างขวามีตุ้มน้ำหนัก 2 อันแขวนอยู่ ณ จุดที่ 4 จากจุดหมุน เด็กที่ใช้แบบการคิดนี้ก็ไม่สามารถทำนายได้ว่าข้างใดจะเอียงลง

แบบการคิดที่ 4 จะคำนวณหาโมเมนต์ในแต่ละข้าง โดยคูณจำนวนตุ้มน้ำหนักกับระยะจากจุดหมุนข้างที่มีโมเมนต์มากกว่าจะเอียงลง เช่น ปัญหาข้างต้นแบบการคิดนี้จะทำนายได้ว่าข้างขวาจะเอียงลง (โมเมนต์ข้างขวาคือ  $2 \times 4 = 8$  โมเมนต์ข้างซ้ายคือ  $3 \times 2 = 6$ )

ซีเกลอสแสดงให้เห็นว่า เด็กจะใช้แบบการคิดแบบใดแบบหนึ่งในสี่แบบ เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา โดยเขาได้สร้างชุดปัญหาขึ้นมา 6 ข้อ ให้เด็กที่เป็นกลุ่มตัวอย่างตอบว่าคานจะสมดุล หรือเอียงลงข้างใด ชุดปัญหาทั้ง 6 ข้อ ได้แก่

- ข้อ 1. ปัญหาความสมดุล (Balance) : มีจำนวนตุ้มน้ำหนักเท่ากันและแขวนอยู่ในระยะจากจุดหมุนเท่ากัน
- ข้อ 2. ปัญหาน้ำหนัก (Weight) : มีจำนวนตุ้มน้ำหนักไม่เท่ากัน แต่มีระยะจากจุดหมุนเท่ากัน
- ข้อ 3. ปัญหาระยะทาง (Distance) : มีจำนวนตุ้มน้ำหนักเท่ากันแต่มีระยะจากจุดหมุนไม่เท่ากัน
- ข้อ 4. ปัญหาความขัดแย้งเรื่องน้ำหนัก (Conflict-Weight) : ข้างหนึ่งมีจำนวนตุ้มน้ำหนักมากกว่า แต่อีกข้างหนึ่งมีระยะจากจุดหมุนมากกว่า จัดให้อยู่ในรูปที่ข้างที่มีจำนวนตุ้มน้ำหนักมากกว่าจะเอียงลง
- ข้อ 5. ปัญหาความขัดแย้งเรื่องระยะ (Conflict-Distance) : เหมือนกับข้อ 4

แต่จัดให้อยู่ในรูปที่ข้างที่มีระยะจากจุดหมุนมากกว่าจะเอียงลง

ข้อ 6. ปัญหาความขัดแย้งเรื่องสมดุล (Conflict-Balance) : เหมือนกับข้อ 4 แต่จัดให้อยู่ในรูปที่คานจะสมดุล (Seigler, 1978)

จากชุดปัญหาทั้ง 6 ข้อ สามารถทำนายโอกาสการตอบถูกในแต่ละข้อของเด็กที่ใช้แบบการคิดแต่ละแบบการคิดได้ดังนี้

ตารางที่ 1 โอกาสการตอบถูกของเด็กที่ใช้แบบการคิดแต่ละแบบในการแก้ปัญหา

ชุดปัญหา	แบบการคิด			
	1	2	3	4
ข้อ 1. Balance	100	100	100	100
ข้อ 2. Weight	100	100	100	100
ข้อ 3. Distance	0	100	100	100
ข้อ 4. Conflict-Weight	100	100	33	100
ข้อ 5. Conflict-Distance	0	0	33	100
ข้อ 6. Conflict-Balance	0	0	33	100

จะเห็นได้ว่า เด็กที่ใช้แบบการคิดที่ 1 จะตอบถูกในข้อที่อาศัยเรื่องน้ำหนักเพียงอย่างเดียวในการคิดคำตอบ หรือเฉพาะข้อที่น้ำหนักและโมเมนต์สมดุลคล่องกัน กล่าวคือ ข้างที่มีน้ำหนักมากกว่าจะมีโมเมนต์มากกว่าด้วย ขณะที่เด็กที่คิดโดยใช้แบบการคิดที่ 3 จะทำถูกในข้อที่น้ำหนักและระยะจากจุดหมุนไม่ขัดแย้งกัน ส่วนข้อที่น้ำหนักและระยะจากจุดหมุนขัดแย้งกันเขาจะมีโอกาสตอบถูกเพียง 1 ใน 3 หรือร้อยละ 33 ดังนั้นแบบแผนการตอบปัญหาทั้งชุดของเด็กจะสะท้อนให้เห็นว่าเด็กใช้แบบการคิดใด โดยที่การพิจารณาคำตอบจากข้อใดข้อหนึ่งเพียงข้อเดียว จะไม่สามารถบอกได้

ที่เกลาได้ศึกษา กับเด็ก 120 คน ที่มีอายุ 5, 9, 13 และ 17 ปี ตามลำดับ โดยให้เด็ก



ตอบปัญหาชุดนี้ เมื่อพิจารณาจากแบบแผนการตอบปัญหาทั้งชุดปรากฏว่าเด็ก 107 คน (ร้อยละ 89) จะใช้แบบการคิดใดแบบหนึ่งจากสี่แบบการคิดในการตอบอย่างคงที่ คือ เด็ก 29 คนใช้แบบการคิดที่หนึ่ง เด็ก 22 คนใช้แบบการคิดที่สอง เด็ก 48 คนใช้แบบการคิดที่สาม และเด็ก 8 คนใช้แบบการคิดที่สี่ จากการให้เด็กบรรยายวิธีการที่เขาใช้แก้ปัญหา ก็พบว่าได้ผลสอดคล้องกับการดูจากแบบแผนการตอบ ซึ่งกล่าวน่าสนใจว่าเด็กที่มีความรู้ในเรื่องนี้น้อย มักจะใช้แบบการคิดทั่ว ๆ ไป หรือแบบการคิดเอนกประสงค์ในการแก้ปัญหา เห็นได้จากที่เด็กอายุ 5 ขวบจะพิจารณาเฉพาะมิติที่เด่นชัด คือ มิติของน้ำหนักเป็นตัวตัดสิน การใช้แบบการคิดอย่างคงที่และเป็นระบบในการแก้ปัญหาเป็นผลผลิตสำคัญของพัฒนาการทางปัญญา การที่เด็กมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องใดก็จะสะท้อนออกมาในรูปของการใช้แบบการคิดที่ผิดในการแก้ปัญหาเรื่องนั้น

จากแนวความคิดนี้เราสามารถกล่าวได้ว่าเด็กที่มีมโนทัศน์ที่ถูกต้องจะใช้แบบการคิดที่ให้คำตอบที่ถูกต้องในทุกเงื่อนไขของปัญหาในเรื่องนั้น และเราสามารถอ้างอิงถึงมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (misconceptions) ของเด็กแต่ละคนได้จากแบบการคิดที่เขาใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งแบบการคิดหรือวิธีคิดนั้น อาจให้คำตอบที่สอดคล้องกับคำตอบที่ถูกต้องได้ในปัญหาบางข้อ ดังนั้นการที่จะทราบได้ว่า เด็กใช้แบบการคิดใด ก็จะต้องพิจารณาจากการตอบปัญหาทั้งชุดของเด็กแต่ละคน แบบแผนการตอบแต่ละแบบจะสะท้อนให้เห็นการใช้แบบการคิดของผู้ตอบ ซึ่งผู้วิจัยได้อาศัยแนวคิดนี้ในการพัฒนาวิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ดังจะกล่าวรายละเอียดในตอนต่อไป

### ตอนที่ 3 วิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

การนำเสนอวิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแยกเป็น 6 วิธีการได้แก่ การวินิจฉัยด้วยการสังเกตและการสอบถามนักเรียนเป็นรายบุคคล การวินิจฉัยจากการแสดงวิธีทำในแบบฝึกหัดหรือในแบบสอบอัตนัย การวินิจฉัยด้วยแบบสอบวินิจฉัย การวินิจฉัยด้วยดัชนีบ่งชี้ความผิดปกติของแบบแผนการตอบ การวินิจฉัยด้วยวิธีการของทาสีโอะกะ และการวินิจฉัยด้วยวิธีการที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

#### การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนด้วยการสังเกตและการสอบถามนักเรียนเป็นรายบุคคล

วิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่ใช้กันในระยะแรก คือ การสังเกตและการสอบถามนักเรียนเป็นรายบุคคล วิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่เป็นทางการ ครูผู้สอนมีทักษะในการสังเกตและการตั้งคำถามเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน วิธีนี้ใช้ได้ผลดีในกรณีที่เป็นักเรียนกลุ่มเล็ก และครูมีความใกล้ชิดกับนักเรียน หากครูมีความชำนาญในเนื้อหาและในการสอนด้วยแล้ว วิธีนี้ก็ยังมีโอกาสจะให้ผลการวินิจฉัยที่ตรงความเป็นจริงสูง แต่ในปัจจุบันแม้จะยังใช้วิธีการนี้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน แต่เป็นการใช้อย่างไม่เป็นทางการเพราะความไม่เหมาะสมเนื่องจากต้องใช้เวลาในการวินิจฉัยค่อนข้างมาก อีกทั้งจำนวนนักเรียนและจำนวนห้องเรียนที่ครูแต่ละคนต้องรับผิดชอบมีมากขึ้น ทำให้ไม่สะดวกสำหรับครู ด้วยความจำกัดของเวลาที่กำหนดไว้สำหรับการเรียนแต่ละเนื้อหาและเวลาที่ครูต้องปฏิบัติภาระงานที่ได้รับมอบหมายนอกเหนือจากงานสอน

#### การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจากการแสดงวิธีทำของนักเรียนในแบบฝึกหัดหรือในแบบสอบอัตนัย

การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจากการแสดงวิธีทำของนักเรียนในแบบฝึกหัด หรือในแบบสอบอัตนัย ใช้ได้ผลดีทั้งในการวินิจฉัยมโนทัศน์พื้นฐานและมโนทัศน์ที่ซับซ้อน ดังงานวิจัยของนางลักษณ์ เสมอภาพ (2533) ซึ่งได้วินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ในการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่องการหาร ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ในโรงเรียนสังกัดสำนักงานการประถมศึกษา เขตการศึกษา 12 และทัศนพร คลังแก้ว (2531) ได้วิเคราะห์ข้อบกพร่องในการทำแบบสอบคณิตศาสตร์แบบอัตนัย ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กรุงเทพมหานคร แบบสอบที่ใช้สำหรับการวินิจฉัยในการวิจัยทั้งสอง เป็นแบบสอบอัตนัย ที่มีทั้งให้เขียนภาพและแสดงวิธีทำอย่างละเอียด ผู้วิจัยทำการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจากการแสดงวิธีทำแต่ละขั้นตอน และให้คะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

รายงานผลเป็นความถี่ของวิธีคิดที่ผิดแบบต่าง ๆ พร้อมกับเรียงลำดับวิธีคิดที่ผิด ตามความถี่ที่พบ จากมากไปหาน้อย การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจากการแสดงวิธีทำในแบบสอบอัตนัยนี้ ครูผู้วินิจฉัยจะต้องเชี่ยวชาญในเนื้อหาที่เป็นอย่างดี และเวลาที่ใช้ในการสอบ การตรวจและการวินิจฉัยค่อนข้างมาก ทำให้เป็นข้อจำกัดสำคัญของวิธีการนี้ ในสภาพปัจจุบันครูแทบไม่มีเวลาแม้แต่จะตรวจการบ้านของนักเรียนด้วยตนเองเป็นรายบุคคล แต่จะให้นักเรียนเปลี่ยนกันตรวจตามที่ครูเฉลยและถ้าหากนักเรียนลอกการบ้านมาส่ง ครูก็จะยังไม่สามารถวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจากการบ้านหรือแบบฝึกหัดได้เลย

### การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนด้วยแบบสอบวินิจฉัย

โดยที่การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนด้วยแบบสอบวินิจฉัย เป็นวิธีการที่เป็นทางการที่ใช้กันมาเป็นเวลานานในวงการวัดผลการศึกษา สาระนั้นมีหลากหลาย การนำเสนอจึงแยกเป็น 4 หัวข้อ กล่าวถึงความหมาย ลักษณะ การสร้าง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบสอบวินิจฉัย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### ความหมายของแบบสอบวินิจฉัย

เพจ โธมัส และ มาร์แชล (Page, Thomas and Marshall, 1977) ได้ให้ความหมายของแบบสอบวินิจฉัยไว้ในพจนานุกรมศัพท์ทางการศึกษานานาชาติ (International Dictionary of Education) 2 ความหมาย คือ

1. เป็นแบบสอบที่ใช้แยกเด็กเก่งและเด็กอ่อนในโรงเรียนที่มีพื้นฐานความรู้ใกล้เคียงกันทั้งทักษะพื้นฐานการอ่านเขียนและจำนวนตัวเลข หรือใช้เมื่อต้องการจัดซ่อมเสริม
2. เป็นแบบสอบที่นักจิตวิทยาการศึกษาและผู้ให้บริการสุขภาพในโรงเรียนใช้เพื่อตรวจสอบความผิดปกติทางร่างกายหรือจิตใจ

ฮิลล์ (Hills, 1981) ให้ความหมายที่เฉพาะลงไปว่า หมายถึง แบบสอบที่สามารถบอกได้ว่า ทำไมนักเรียนบางคนจึงเรียนต่อยกว่าคนอื่น นอกจากนั้นนักการศึกษาไทยได้ให้ความหมายของแบบสอบวินิจฉัยไว้หลายทัศนะดังนี้ วิเชียร เกตุสิงห์ (2515) กล่าวว่า "แบบสอบวินิจฉัยเป็นแบบสอบที่สร้างขึ้นทดสอบนักเรียนเพื่อหาข้อบกพร่อง หรือหาจุดอ่อนในการเรียนแต่ละวิชาเป็นเรื่อง ๆ ไป" ในขณะที่ ชวาล แพร็ดกุล (2518) รุจิรุ ภูสำระ (2520) และ ทองหล่อ ภิภาวิน (2521) ได้ให้ความหมายสอดคล้องกันว่า "เป็นแบบสอบที่ใช้ค้นหาจุดเด่น จุดด้อย ของ

การเรียนรู้ว่า นักเรียนแต่ละคนเรียนได้เก่งมากวิชาใดหรืออ่อนวิชาใด เพราะสาเหตุใด" ส่วน บุญชม ศรีสะอาด (2523) ให้ความหมายไว้ 2 นัย คือ เป็นแบบสอบอะไรก็ได้ที่มุ่งวัด เพื่อนำผลไปวินิจฉัย หรือเป็นแบบสอบที่สร้างขึ้นโดยเฉพาะ เพื่อวัดทักษะย่อย ๆ และวัดละเอียดกว่าแบบวัดผลสัมฤทธิ์ ซึ่งสามารถชี้ให้เห็นข้อบกพร่องที่เป็นปัญหาหรืออุปสรรคในการเรียนเรื่องหนึ่ง ๆ ของนักเรียนแต่ละคน

โดยสรุปแบบสอบวินิจฉัยเป็นแบบสอบที่สร้างขึ้น เพื่อใช้ค้นหาข้อบกพร่อง จุดอ่อนหรือจุดด้อยของผู้เรียน ทั้งในทางวิชาการและทางด้านจิตใจ เพื่อแยกผู้เรียนว่ามีความสามารถดีและด้อยในเรื่องใด และหาสาเหตุว่าผู้เรียนมีผลการเรียนด้อยเนื่องมาจากเหตุใด แบบสอบวินิจฉัยนั้นนอกจากจะเป็นประโยชน์ทางวิชาการแล้ว ยังใช้เป็นประโยชน์ในการตรวจสอบความผิดปกติทางร่างกายและจิตใจด้วย

#### ลักษณะของแบบสอบวินิจฉัย

แบบสอบวินิจฉัยที่จะวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ได้อย่างละเอียดและมีประสิทธิภาพนั้น ควรเป็นแบบสอบที่มีลักษณะพิเศษ โดยเฉพาะ ตามที่นักการศึกษาหลายท่านได้กล่าวไว้ ดังเช่น ลินควิสต์ (Linguist, 1956) ได้ให้ลักษณะของแบบสอบวินิจฉัยที่มีประสิทธิภาพไว้ดังนี้

1. แบบสอบต้องสัมพันธ์กับหลักสูตร โดยเน้นและแสดงจุดประสงค์ที่สำคัญไว้อย่างชัดเจน
2. ข้อสอบแต่ละข้อต้องตอบสนองสภาพการณ์ที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด
3. แบบสอบต้องสามารถวิเคราะห์อุปสรรคและความเข้าใจผิดในการเรียน
4. แบบสอบต้องแสดงให้เห็นกระบวนการคิดของผู้เรียนอย่างเพียงพอที่จะค้นหาสาเหตุของข้อบกพร่องทางการเรียนได้
5. แบบสอบต้องเป็นเครื่องเสนอแนะวิธีการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องทางการเรียนโดยตรง
6. แบบสอบต้องครอบคลุมลำดับชั้นการเรียนรู้อย่างเป็นระบบ
7. แบบสอบต้องสามารถวัดข้อบกพร่องทางการเรียนที่ผ่านมา พร้อมทั้งค้นหาสาเหตุของข้อบกพร่องนั้นจากแบบสอบแต่ละตอนให้นักเรียนทำการสอบ
8. แบบสอบต้องสามารถแสดงผลความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียน ตามวัตถุประสงค์ได้

นอกจากนี้ บลูม (Bloom, 1971) กล่าวถึงลักษณะของแบบสอบวินิจัยไว้ว่า ควรเป็นแบบสอบที่ใช้สำหรับค้นหาข้อบกพร่องทางการเรียนเกี่ยวกับทักษะพื้นฐานของนักเรียน และสาเหตุของข้อบกพร่องนั้น เพื่อปรับปรุงการเรียนการสอน โดยประเมินเนื้อหาเป็นตอน ๆ แบบสอบอาจเป็นแบบสอบมาตรฐาน หรือแบบสอบที่ครูสร้างขึ้นเอง โดยมีจำนวนข้อสอบมากข้อ แต่ละข้อมีค่าความยาก .65 ขึ้นไป การประเมินผลใช้ได้ทั้งแบบอิงกลุ่มและอิงเกณฑ์ แล้วรายงานคะแนนที่ได้จากการทำแบบสอบวินิจัยในรูปเส้นภาพ (profile) ของคะแนนนักเรียนแต่ละคนในทักษะย่อย อีกท่านหนึ่งคือ สิงหา (Singha, 1974) ได้กล่าวถึงลักษณะของแบบสอบวินิจัยไว้พอสรุปได้ว่า เป็นแบบสอบที่ใช้วัดเนื้อหาย่อย ๆ โดยแยกคำถามออกเป็นพวก ๆ แบบสอบย่อยแต่ละชุดประกอบด้วยข้อสอบที่เกิดจากการวิเคราะห์เนื้อหาอย่างละเอียด และครอบคลุมจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ต้องการจะวัด โดยเป็นข้อสอบค่อนข้างง่ายจำนวนมากข้อ เรียงตามลำดับชั้นจุดประสงค์การเรียนรู้ การสอบจะไม่กำหนดเวลาในการสอบ ไม่จำเป็นต้องสร้างเกณฑ์ปกติ (norm) เพราะต้องการค้นหาข้อบกพร่องทางการเรียน มากกว่าเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ของนักเรียน ในประเทศไทยเองมีผู้กล่าวถึงลักษณะแบบสอบวินิจัยไว้ค่อนข้างสอดคล้องกันดังนี้ บุญเชิด ภิญโญนนตพงษ์ (2519) กล่าวว่า "แบบสอบวินิจัยเป็นแบบสอบที่ใช้วัดเพื่อค้นหาสาเหตุว่า เด็กเรียนไม่ดีเพราะเหตุใด หรือเป็นการค้นหาข้อบกพร่องต่าง ๆ โดยออกข้อสอบแต่ละเรื่องอย่างละเอียดตามเนื้อหาเป็นขั้นตอนไป" ส่วน อนันต์ ศรีโสภกา (2515) กล่าวถึงแบบสอบวินิจัยไว้ว่า "เป็นแบบสอบที่มีจำนวนข้อสอบมาก ๆ ในแต่ละเนื้อหาวิชาที่ต้องการทดสอบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาสาเหตุของข้อบกพร่องและปัญหาต่าง ๆ ในการเรียนของนักเรียน จึงพิจารณาแต่เฉพาะคำตอบของข้อสอบ ส่วนคะแนนรวมมีความสำคัญน้อยมาก" ขณะที่ สุจินดา สุปารวา (2524) ได้ทำการศึกษาลักษณะของแบบสอบวินิจัย แล้วสรุปลักษณะสำคัญไว้ 5 ประการ ดังนี้

1. แบบสอบจะแบ่งออกเป็นแบบสอบย่อยหลาย ๆ ฉบับและแยกทดสอบในทักษะ เฉพาะที่แตกต่างกัน โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะทดสอบให้ครอบคลุมทั้งเนื้อหาและพฤติกรรมที่สำคัญตามที่กำหนดไว้ในหลักสูตร ซึ่งจะทำให้วินิจัยได้ว่านักเรียนมีความบกพร่องในด้านใดบ้างและมีสาเหตุใด
2. แบบสอบย่อยแต่ละฉบับจะต้องกำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำสำหรับการวินิจัยที่เหมาะสมกับข้อบกพร่อง เพื่อจะได้นำคะแนนที่ได้จากการตอบมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ขั้นต่ำ และตัดสินว่านักเรียนมีข้อบกพร่องด้านใดบ้าง
3. ข้อสอบแต่ละข้อสามารถสืบค้นหาสาเหตุของการตอบผิดได้
4. มีคะแนนของแต่ละด้าน แต่ละตอนเพราะมุ่งค้นหาข้อบกพร่องในแต่ละด้าน ดังนั้นจึงมุ่งวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนเป็นรายข้อหรือกลุ่มข้อสอบในแต่ละส่วนของแบบสอบย่อย และ ไม่

สนใจคะแนนรวมของนักเรียนแต่ละคน

5. ไม่มีการสร้างเกณฑ์ปกติ เพราะมีจุดมุ่งหมายที่จะค้นหาข้อบกพร่องทางการเรียน

จากลักษณะของแบบสอบวินิจัยที่กล่าวมาทั้งหมด พอจะสรุปลักษณะสำคัญได้ดังนี้

1. เป็นแบบสอบที่ใช้สำหรับค้นหาข้อบกพร่อง และสาเหตุของข้อบกพร่องทางการเรียน เป็นเรื่อง ๆ ไป

2. ต้องครอบคลุมเนื้อหา โดยเน้นจุดประสงค์ที่สำคัญตามหลักสูตร

3. แบ่งออกเป็นแบบสอบย่อย หรือแบ่งออกเป็นตอน ๆ ตามลำดับชั้นการเรียนรู้อย่างเป็นระบบ

4. ข้อสอบจำนวนมากข้อ ที่ผ่านการวิเคราะห์เนื้อหาอย่างละเอียดเรียงตามลำดับชั้นของจุดประสงค์

5. ข้อสอบแต่ละข้อต้องตอบสนองสภาพการณ์ที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด สามารถแสดงให้เห็นกระบวนการคิดของผู้เรียนอย่างเพียงพอที่จะค้นคว้า วิเคราะห์อุปสรรค และความเข้าใจผิดในการเรียน

6. เป็นแบบสอบที่ไม่กำหนดเวลาและไม่จำเป็นต้องสร้างเกณฑ์ปกติแต่ต้องกำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำที่เหมาะสม เพื่อจะได้นำคะแนนจากการสอบมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ขั้นต่ำ และตัดสินว่านักเรียนมีข้อบกพร่องด้านใด

7. มุ่งวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนเป็นรายข้อ หรือกลุ่มข้อสอบในแต่ละด้าน

8. ต้องวัดได้ทั้งข้อบกพร่องทางการเรียนที่ผ่านมา และวัดความก้าวหน้าทางการเรียนพร้อมกับค้นหาสาเหตุ

การสร้างแบบสอบวินิจัย

การสร้างแบบสอบวินิจัยที่ดีนั้น มีผู้ทำการศึกษาไว้หลายท่านดังเช่น บราวน์ (Brown, 1970) กล่าวถึงการสร้างแบบสอบวินิจัยไว้ว่า ก่อนสร้างต้องแบ่งองค์ประกอบความสามารถที่ต้องการวัดก่อน โดยคำนึงถึงหลักการดังนี้

1. ต้องแบ่งทักษะที่ต้องการวัดออกเป็นองค์ประกอบย่อย ๆ ให้เด่นชัด โดยไม่ทำให้ลักษณะรวมเสียไป

2. ต้องแบ่งแบบสอบออกเป็นแบบสอบย่อย โดยแต่ละฉบับวัดเพียงองค์ประกอบเดียว

3. แบบสอบย่อยแต่ละฉบับต้องมีความเป็นเอกพันธ์ หรือ เป็นการวัดทักษะรวมที่ไม่

สามารถแยกจากกันได้<sup>๑</sup>ในบางข้อ

#### 4. สามารถนำผลจากแบบสอบไปใช้ในงานซ่อมเสริมได้

ส่วน นอลล์ และ สแกนเนล (Noll and Scannell, 1972) กล่าวถึงการสร้างแบบสอบวินิจฉัยไว้ว่า แบบสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลายชนิดสามารถใช้เพื่อการวินิจฉัยการเรียนรู้ได้ แต่เสียเวลา กำลังงานและต้องมีระบบการวินิจฉัยมากกว่าแบบสอบวินิจฉัยที่สร้างขึ้นโดยเฉพาะ ซึ่งมีลำดับการสร้างที่สำคัญดังนี้

1. ต้องวิเคราะห์กฎ หลักการ ความรู้ หรือทักษะที่ต้องการวัดอย่างรอบคอบ
2. ต้องมีการวางแผนและโครงสร้าง ให้ครอบคลุมกฎและหลักการอย่างเพียงพอ ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการทดสอบ
3. เรียบเรียงข้อสอบเป็นกลุ่มเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์และวินิจฉัย

ในขณะที่ สิงหา (Singha, 1974) กล่าวว่า การสร้างแบบสอบวินิจฉัยอาจสร้างเป็นแบบมาตรฐานหรือสร้างขึ้นเพื่อใช้เอง แต่แบบสอบวินิจฉัยที่ครูสร้างขึ้นเพื่อใช้เองจะให้ประโยชน์คุ้มค่า และมีประสิทธิภาพมากกว่าการสร้างเป็นแบบมาตรฐาน โดยมีลำดับขั้นในการสร้าง 6 ขั้น คือ ขั้นวางแผน ขั้นเขียนข้อสอบ ขั้นรวบรวมเป็นแบบสอบ ขั้นเขียนคู่มือการใช้แบบสอบ ขั้นเตรียมเฉลย พร้อมแบบแผนการให้คะแนน และขั้นตรวจสอบความเรียบร้อยของแบบสอบ ในกรณีการสร้างข้อสอบเป็นแบบปรนัยหรือแบบเติมคำสั้น ๆ ควรมีข้อสอบไม่น้อยกว่า 3 ข้อในแต่ละจุดประสงค์ ไม่ต้องคำนึงถึงความต่อเนื่องของเนื้อหาในแต่ละด้าน ไม่จำเป็นต้องสร้างตารางวิเคราะห์หลักสูตร และไม่คำนึงถึงเกณฑ์ปกติ

ในประเทศไทยมีผู้ศึกษาการสร้างแบบสอบวินิจฉัยไว้หลายท่านอาทิสมศักดิ์ สินธุระเวชช์ (2524) ได้สรุปลำดับขั้นในการสร้างแบบสอบวินิจฉัย ไว้ดังนี้

1. วางแผนในการสร้างแบบสอบ
2. วิเคราะห์เนื้อหาอย่างละเอียดและแบ่งออกเป็นเนื้อหาย่อย ๆ
3. วิเคราะห์ทักษะที่จะวัดออกเป็นองค์ประกอบย่อย ๆ ให้ชัดเจน
4. เขียนข้อสอบให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม
5. วิเคราะห์สาเหตุที่นักเรียนไม่รอบรู้ตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมนั้น
6. นำไปทดลองใช้และปรับปรุงแบบสอบ

นอกจากนี้ วัชรวิ บูรณสิงห์ (2526) กล่าวไว้ว่า การสร้างแบบสอบวินิจฉัยการเรียนรู้คณิตศาสตร์ไว้ใช้เอง ผู้สอนจะต้องพิจารณาวัตถุประสงค์ของวิชาคณิตศาสตร์และเนื้อหาตามหลักสูตรในระดับนั้น ๆ และจะต้องกำหนดเกณฑ์ในการวินิจฉัยอย่างชัดเจน ควรมีหลายตัวเลือก โดยแต่ละตัวเลือกควรเป็นตัวแทนของการขาดทักษะหรือมโนคติในเรื่องนั้น

จากวิธีการสร้างแบบสอบวินิจฉัยดังที่กล่าวมาแล้ว พอจะสรุปขั้นตอนการสร้างได้ดังนี้

1. ศึกษาและวิเคราะห์เนื้อหาหรือทักษะอย่างละเอียด แล้วแบ่งออกเป็นเนื้อหาย่อย ๆ
2. ศึกษาและรวบรวมสาเหตุของข้อบกพร่องทางการเรียนในเนื้อหาย่อยเหล่านั้น เพื่อนำมาสร้างเป็นตัวลงในแบบสอบ
3. เขียนข้อสอบให้สอดคล้องกับจุดประสงค์และข้อบกพร่องที่ต้องการวัดในแต่ละด้าน
4. เรียบเรียงข้อสอบไว้เป็นด้าน ๆ เพื่อสะดวกในการวินิจฉัย โดยในแต่ละด้านควรมีข้อสอบซึ่งค่อนข้างง่ายไม่น้อยกว่า 3 ข้อ
5. ตรวจสอบความถูกต้องของแบบสอบ แล้วนำไปทดลองใช้เพื่อปรับปรุงแก้ไข
6. เขียนคู่มือการใช้และแบบแผนการวินิจฉัย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบสอบวินิจฉัย

แม้ว่าการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนโดยการใช้แบบสอบวินิจฉัย จะยังไม่เป็นที่แพร่หลาย หรือนำไปใช้อย่างกว้างขวางในประเทศไทยเท่าใดนักก็ตาม แต่ก็ได้มีการพัฒนาแบบสอบชนิดนี้ขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง ส่วนใหญ่แล้วจะอยู่ในรูปของการทำวิจัยที่เป็นวิทยานิพนธ์ของนิสิตบัณฑิตศึกษา ซึ่งก็นับว่ายังมีน้อยมากเมื่อเทียบกับมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ทั้งหมด งานวิจัยเกี่ยวกับการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนด้วยแบบสอบวินิจฉัยนี้ อาจแบ่งตามจุดเน้นของงานวิจัยได้สองกลุ่มคือ กลุ่มแรก เป็นงานวิจัยที่ใช้ชื่อเรื่องว่า การพัฒนาแบบสอบวินิจฉัย และ กลุ่มที่สอง เป็นงานวิจัยที่ใช้ชื่อเรื่องว่าการวิเคราะห์ข้อบกพร่องหรือมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน งานวิจัยทั้งสองกลุ่มมีลักษณะที่เหมือนกันคือ ประกอบไปด้วยสองกระบวนการหลัก ได้แก่ การวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และการสร้างแบบสอบวินิจฉัย แต่ต่างกันตรงที่ กลุ่มแรกจะให้ความสำคัญกับกระบวนการสร้างแบบสอบวินิจฉัย ส่วนกลุ่มหลังจะให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากกว่า งานวิจัยในกลุ่มแรกมีที่ผู้ศึกษาไว้ ได้แก่ อุไรวรรณ ทศนบุตร (2523) ได้สร้างแบบสอบวินิจฉัยในการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่องเศษส่วน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 และในปีเดียวกันสุขุม มูลเมือง (2523) ได้สร้างแบบสอบวินิจฉัยในการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่องทศนิยม สำหรับ



นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ต่อมา วรณดี ชุณหวิทยานนท์ (2524) ได้สร้างแบบสอบวินิจฉัยในการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง โพลิโนเมียล สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จินดา ลีเมธาวรรณศิริพงศ์ (2525) ได้สร้างแบบสอบวินิจฉัยในการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่องระบบจำนวนเต็ม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เช่นเดียวกับ วิรัช นิยมแย้ม (2525) ที่ได้สร้างแบบสอบวินิจฉัยในการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่องระบบจำนวนเต็มสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ประดิษฐ์ เรื่องตระกูล (2525) ได้สร้างแบบสอบวินิจฉัยในการเรียนคณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้โมเดลโลจิสติก สมศักดิ์ ฉันทานุรักษ์ (2529) ได้สร้างแบบสอบวินิจฉัยในการเรียนคณิตศาสตร์ ของนักเรียนแผนการเรียนเกษตรกรรม เขตการศึกษา 6 และสุดท้ายนั้น ท้ายันทนา สิงห์วัฒนาศิริ (2535) ได้สร้างแบบสอบวินิจฉัย ในการเรียนคณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ส่วนนักวิจัยในกลุ่มหลัง ได้แก่ ทศนาพร คลังแก้ว (2532) ได้วิเคราะห์ข้อบกพร่องในการทำแบบทดสอบคณิตศาสตร์แบบอัตนัย ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กรุงเทพมหานคร ฉันทนา เชาว์ปรีชา (2532) ศึกษาโน้ตค้นที่ตลาดเคลื่อนในวิชาวิทยาศาสตร์ ภายภาพชีวภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย กรุงเทพมหานคร วราภรณ์ ถิรสิริ (2532) ได้ศึกษาโน้ตค้นที่ตลาดเคลื่อนในวิชาเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กรุงเทพมหานคร ตาธณี คำแหง (2532) ศึกษาข้อบกพร่องทางการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ตรุณี กิตติวิริยะ (2532) ศึกษาการวินิจฉัยข้อบกพร่องทางการเรียนวิทยาศาสตร์ ภาคคำนวณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 กรุงเทพมหานคร นงลักษณ์ เสมอภาพ (2533) ศึกษาการวินิจฉัยการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่องการหาร ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ในโรงเรียนสังกัดสำนักงานการประถมศึกษา เขตการศึกษา 12 และกรรณิกา แจ่มหมั่นไวย (2534) ศึกษาเรื่องการวิเคราะห์ห่มโน้ตค้นที่ตลาดเคลื่อนในวิชาฟิสิกส์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

จากงานวิจัยดังกล่าว สามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินการวิจัยได้ดังนี้

1. วิเคราะห์เนื้อหาวิชา เนื้อหาย่อยและจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมอย่างละเอียด
2. สร้างข้อสอบปรนัยหรือข้อสอบปลายเปิดในแต่ละเนื้อหาย่อย ตามจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม แล้วนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างเพื่อสำรวจแบบการคิดที่ผิด
3. วิเคราะห์คำตอบเพื่อหาแบบการคิดที่ผิดแบบต่าง ๆ
4. สร้างข้อสอบปรนัยแบบหลายตัวเลือกสำหรับแต่ละเนื้อหาย่อย โดยใช้คำตอบที่คำนวณได้จากวิธีคิดที่ผิดแบบต่าง ๆ เป็นตัวลวง
5. นำแบบสอบไปทดลองใช้และปรับปรุงคุณภาพแบบสอบ
6. สร้างเป็นแบบสอบวินิจฉัยและคู่มือการใช้

ประเด็นที่น่าสนใจของกระบวนการสร้างแบบสอบวินิจฉัยดังกล่าว มีสองประเด็น คือ ประเด็นการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบ และ ประเด็นการกำหนดจุดตัดในการตัดสินใจการรับรู้ หรือการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ประเด็นแรก การตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบวินิจฉัยดังกล่าว ส่วนใหญ่จะวิเคราะห์คุณภาพรายข้อจากค่าความยากและอำนาจจำแนก โดยจะเลือกข้อที่มีความยากตั้งแต่ .50 ถึง .65 ขึ้นไป และมีค่าอำนาจจำแนกที่ไม่ติดลบ ส่วนการวิเคราะห์คุณภาพแบบสอบรายฉบับ จะตรวจสอบความเที่ยงจากความสอดคล้องภายใน โดยใช้สูตรครุเดอร์-ริชาร์ดสัน 20 สูตรครอนบาคแอลฟา สูตรหาความเที่ยงของแบบสอบอิงเกณฑ์ของลิฟวิงสตัน ของโลเวท หรือสูตรความเที่ยงของฮวิน ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา โดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาความเหมาะสมของการวิเคราะห์โครงสร้างเนื้อหาและวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม รวมทั้งความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม บางงานวิจัยจะตรวจสอบความตรงเชิงเกณฑ์สัมพัทธ์ โดยหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนจากแบบสอบวินิจฉัย กับคะแนนจากแบบสอบมาตรฐานวัดผลสัมฤทธิ์ หรือเกรดของวิชานั้น ในภาคต้นและภาคปลาย บางเรื่องก็ตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างด้วยการวิเคราะห์ตัวประกอบ แต่ส่วนใหญ่จะตรวจสอบความตรงเชิงวินิจฉัย โดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิ พิจารณาความสอดคล้องระหว่างตัวลง กับประเด็น มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้สำหรับตัวลงนั้น ซึ่งจะทำการที่จะนำแบบสอบไปใช้จริง ทั้งทั้งงานวิจัยโดยมากนิยามความตรงของแบบสอบวินิจฉัยไว้ว่า จะต้องสามารถวินิจฉัยได้ตรงตามมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ที่ผู้สอบมีอยู่จริง แต่ก็มิได้มีการตรวจสอบกับข้อมูลเชิงประจักษ์ว่าผลการวินิจฉัยจะตรงตามมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่ผู้สอบมีอยู่จริงหรือไม่ ซึ่งวิธีตรวจสอบความตรงแบบหลังนี้ น่าจะสอดคล้องกับนิยามของความตรงของแบบสอบวินิจฉัยมากกว่าการหาสหสัมพันธ์กับคะแนนจากแบบสอบมาตรฐาน หรือการพิจารณาของผู้ทรงคุณวุฒิ ส่วนการกำหนดเกณฑ์จุดตัดในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ผู้วิจัยในแต่ละเรื่องจะกำหนดขึ้นเอง หรือไม่ก็ให้ผู้ทรงคุณวุฒิตัดสินคะแนนความสามารถขั้นต่ำที่ยอมรับได้ว่า ไม่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ซึ่งก็ยังไม่เห็นเกณฑ์ที่แน่นอนสำหรับการกำหนดคะแนนจุดตัดของแบบสอบวินิจฉัย ที่จะจำแนกผู้รอบรู้และผู้มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

แบบสอบวินิจฉัยที่เป็นแบบสอบปรนัยชนิดเลือกตอบสามารถวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้จากตัวลงที่นักเรียนเลือก ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน 2 ประการ ประการแรก ครูผู้สร้างแบบสอบวินิจฉัยต้องเป็นผู้มีประสบการณ์และมีความรู้ ว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแบบใด สามารถนำแบบการคิดตามมโนทัศน์ที่ผิดนั้นมาสร้างตัวลงได้ ครูผู้สอนที่ไม่มีความรู้ในเรื่องดังกล่าวจะไม่สามารถสร้างแบบสอบวินิจฉัยที่ดีได้ และแบบสอบวินิจฉัยที่สร้างสำหรับนักเรียนกลุ่มหนึ่ง อาจนำไปใช้กับกลุ่มอื่นไม่ได้ ประการที่สองแบบสอบวินิจฉัยมีข้อ

จำกัดเนื่องจากข้อสอบแต่ละข้อจะบรรจุตัวลวง อันเป็นตัวแทนของแบบการคิดที่ผิดแบบต่าง ๆ ได้จำนวนจำกัดเพียง 3 ถึง 4 แบบเท่านั้น ในขณะที่บางเนื้อหาสามารถวิเคราะห์แบบการคิดที่ผิดของนักเรียนได้เป็นจำนวนมาก จึงไม่สามารถจะมั่นใจได้ว่าการที่นักเรียนเลือกตัวลวงใดจะแสดงถึงการมีแบบการคิดตามที่ระบุไว้ในแต่ละตัวลวงเสมอไป นักเรียนอาจจะมีแบบการคิดแบบอื่นที่ไม่ได้ใส่ไว้ในตัวลวงของข้อนั้น นอกจากนี้ในตัวลวงเดียวกันก็สามารถจะมาจากแบบการคิดที่ผิดได้หลายแบบ จึงเป็นไปได้ยากที่จะสร้างแบบสอบวินิจฉัยชุดหนึ่งให้ครอบคลุมเนื้อหาของเรื่องนั้น และมีตัวลวงที่ครอบคลุมแบบการคิดที่ผิดของนักเรียนได้ทั้งหมด อีกทั้งการที่นักเรียนตอบถูกในบางข้อ ก็ไม่ได้หมายความว่า นักเรียนจะใช้แบบการคิดที่ถูกต้องเสมอไป เพราะแบบการคิดที่ผิดก็สามารถให้คำตอบที่ถูกต้องในบางข้อได้ ซึ่งเท่าที่ผ่านมา ยังไม่ปรากฏว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับแบบสอบวินิจฉัยในประเด็นเหล่านี้แต่อย่างใด

### การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนด้วยดัชนีบ่งชี้ความผิดปกติของแบบแผนคะแนนการตอบ

ตั้งแต่ทศวรรษที่ 1970 เป็นต้นมา นักวัดผลให้ความสนใจที่จะวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจากแบบแผนคะแนนการตอบ (item-score response pattern) ซึ่งออกมาในรูปของการพัฒนาดัชนีบ่งชี้ความผิดปกติของแบบแผนคะแนนการตอบ โดยการเทียบกับแบบแผนคะแนนการตอบที่มีลักษณะเป็นกัณฑ์สมบูรณ์แบบ (perfect Guttman) หากแบบแผนคะแนนการตอบของผู้สอบแตกต่างจากแบบแผนคะแนนการตอบที่มีลักษณะเป็นกัณฑ์สมบูรณ์แบบเพียงใด ก็แสดงว่ามีความผิดปกติของแบบแผนคะแนนการตอบมากเพียงนั้น การพัฒนาดัชนีตามแนวคิดนี้มีมาอย่างต่อเนื่องเป็นจำนวนมาก ตัวอย่างดัชนีที่สำคัญได้แก่ ดัชนีชี้เตือนของซาโต (Sato's Caution Index) ดัชนีอิงทฤษฎีการตอบสนองรายชื่อของฮาร์นิชและทาซุโอกะ และดัชนีอื่น ๆ (Drasgow, 1982; Harnisch, 1983; Harnisch and Linn, 1981, 1982; Harnisch and Tatsuoka, 1983; Sato, 1975; Wright and Stone, 1979; สาราญ มีแจ้ง, 2534; พนิชา สังข์เพ็ชร, 2535) ดัชนีเหล่านี้เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากใช้งานง่าย สะดวกและประหยัด เพราะส่วนใหญ่จะมีสูตรและโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณ และการแปลความหมายไม่ยุ่งยากมากนัก แต่มีข้อจำกัดสำคัญอยู่ที่ค่าดัชนีจะบอกได้เพียงว่าแบบแผนคะแนนการตอบนั้นผิดปกติหรือไม่ เพียงใด แต่ไม่อาจบอกได้ว่าความผิดปกตินั้นเนื่องมาจากรูปแบบการคิดใด กล่าวคือ บ่งชี้ได้ว่ามีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน แต่ไม่สามารถบ่งชี้ว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมีลักษณะเป็นแบบใด

### การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนด้วยวิธีการของทาซุโอกะ

ทาซุโอกะและคณะ (Tatsuoka, 1983a, 1983b, 1985, 1986; Tatsuoka & Tatsuoka, 1983, 1987) ได้พัฒนาวิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดการประเมินกฎ โดยการตรวจสอบแบบการคิดที่นักเรียนใช้ในการแก้ปัญหาจากแบบแผนคะแนนการตอบ (item-score response pattern) ของนักเรียนแต่ละคน - วิธีการนี้เริ่มต้นจากการสำรวจและวิเคราะห์แบบการคิดผิดที่เป็นไปได้ทั้งหมดในเนื้อหานั้น แล้วสร้างข้อสอบให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม รวบรวมเป็นแบบสอบปลายเปิดชนิดเติมคำตอบ คำนวณหาคำตอบด้วยแบบการคิดที่ผิดทีละแบบ แต่ละแบบการคิดก็จะได้แบบคำตอบหนึ่งชุดซึ่งเมื่อตรวจให้คะแนน 0-1 แล้วก็จะได้เป็นแบบแผนคะแนนการตอบประจำแบบการคิด จากนั้นนำแบบสอบนี้ไปให้กลุ่มตัวอย่างที่จะวินิจฉัยทำ นำมาตรวจโดยให้คะแนนแบบ 0-1 จะได้แบบแผนคะแนนการตอบของผู้สอบแต่ละคน ดำเนินการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนโดยการเปรียบเทียบว่า แบบแผนคะแนนการตอบของผู้สอบแต่ละ

คนใกล้เคียงกับแบบแผนคะแนนการตอบของแบบการคิดใด ซึ่งบางครั้งไม่สามารถตัดสินลงไปได้ว่าแบบแผนคะแนนการตอบของผู้สอบใกล้เคียงกับแบบแผนคะแนนการตอบของแบบการคิดใดแน่ ทาฮูโอเกะจึงเห็นว่าควรจะมีดัชนีสำหรับแต่ละแบบแผนคะแนนการตอบ เพื่อจะบอกได้ว่าแต่ละแบบแผนคะแนนการตอบใกล้เคียงกันเพียงใด แต่ดัชนีบ่งชี้ความผิดปกติของแบบแผนคะแนนการตอบทุกดัชนีจะบ่งชี้ความใกล้เคียงจากแบบแผนคะแนนการตอบแบบกัตแมนสมบูรณ์ จึงไม่สามารถนำมาใช้เทียบความใกล้เคียงระหว่างแบบแผนคะแนนการตอบได้ เพราะแบบแผนคะแนนการตอบที่แตกต่างกัน ดังเช่น ในข้อสอบที่มี 10 ข้อ แบบแผนคะแนนการตอบแบบ 1111111000 กับแบบ 1110000000 ก็จะมีค่าจากดัชนีเท่ากัน เนื่องจากมีลักษณะเป็นกัตแมนสมบูรณ์เหมือนกัน แต่แบบแผนคะแนนการตอบทั้งสองก็ยังมีค่าที่ต่างกันคือ คะแนนรวม ดังนั้นการเปรียบเทียบความใกล้เคียงของแบบแผนคะแนนการตอบ จึงต้องเปรียบเทียบในสองมิติ คือ มิติของค่าดัชนีบ่งชี้ความผิดปกติของแบบแผนคะแนนการตอบและมิติของคะแนนรวม ทาฮูโอเกะแทนแบบแผนคะแนนการตอบแต่ละแบบ ด้วยจุดในเวกเตอร์สเปซสองมิติระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความผิดปกติ และ ค่าคะแนนรวม พร้อมกับให้ชื่อวิธีการนี้ว่า "rule space" ระยะใกล้เคียงของจุดในเวกเตอร์สเปซนี้ จะบอกถึงความใกล้เคียงของแบบแผนคะแนนการตอบของผู้สอบกับแบบการคิดต่าง ๆ แต่จากการศึกษาทาฮูโอเกะพบว่า ดัชนีบ่งชี้ความผิดปกติที่อิงทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม (classical test theory) และคะแนนรวม ไม่สามารถแยกตำแหน่งของจุดในเวกเตอร์สเปซได้อย่างชัดเจน ในขณะที่ดัชนีที่อิงทฤษฎีการตอบสนองรายข้อ (item response theory) จะให้ค่าดัชนีที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนในแต่ละแบบแผนคะแนนการตอบ แม้ว่าแบบแผนคะแนนการตอบนั้นจะมีลักษณะเป็นกัตแมนสมบูรณ์เหมือนกันก็ตาม และค่าความสามารถของผู้สอบ ( $\theta$ ) ก็สามารถใช้แทนคะแนนรวมได้เป็นอย่างดี เพราะหากแบบแผนคะแนนการตอบต่างกัน แม้คะแนนรวมจะเท่ากัน แต่ค่าความสามารถก็จะแตกต่างกัน ทาฮูโอเกะจึงได้นำดัชนีชี้เตือนมาตรฐานหมายเลข 4 (standardized extended caution index IV, SECI4) และค่าความสามารถ ( $\theta$ ) ซึ่งเป็นดัชนีและค่าที่อิงทฤษฎีการตอบสนองรายข้อมาสร้างเวกเตอร์สเปซสองมิติแทน โดยการระบุจุดของผู้สอบ (student point) ใกล้เคียงจุดของแบบการคิดที่ผิด (rule point) แบบใดมากที่สุด ทำโดยการคำนวณระยะทางตามแบบระยะทางกำลังสองน้อยที่สุด (minimum -  $D^2$  rule ;  $D^2$  = Mahalanobis' generalized square - distance) หากจุดของผู้สอบมีระยะทางระหว่างจุดของแบบการคิดที่ผิดสองแบบเท่ากัน จะใช้การตัดสินใจแบบเบย์ส์ (Bayes' decision rule for minimum error) เพื่อประมาณให้ได้ว่าจุดของผู้สอบมีโอกาสจะใกล้กับจุดของแบบการคิดที่ผิดแบบใดมากที่สุด

ดัชนีชี้เตือนมาตรฐานหมายเลข 4 (standardized extended caution index

IV, SECI4) ซึ่งสร้างโดยทาฮาซุโอะและคณะ (Harnisch & Tatsuoka, 1983; Tatsuoka, 1984; Tatsuoka & Linn, 1983; Tatsuoka, 1984; Tatsuoka & Linn, 1983) พัฒนามาจากดัชนีชี้เตือนของซาโต (Sato's caution index) โดยอิงทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ และแทนเวกเตอร์ของค่าความยากในดัชนีชี้เตือนของซาโตด้วยเวกเตอร์ของโอกาสในการตอบข้อสอบถูกของผู้สอบคนที่  $i$  และแทนเวกเตอร์ของคะแนนรายข้อในอุดมคติตามแบบแผนของกัตแมนสมบูรณ์ด้วยเวกเตอร์ของโอกาสในการตอบข้อสอบถูกโดยเฉลี่ยของผู้สอบทุกคน จากนั้นทำให้เป็นค่ามาตรฐานทำให้ได้สูตรในการคำนวณดังนี้

$$SECI4 = \frac{n \text{ COV}(P_i - y_{1j}, P_i)}{\left[ \sum_{j=1}^n \sigma_{1j}^2 (p_{1j} - T_1)^2 \right]^{1/2}}$$

โดยที่	$i$	คือ ผู้สอบคนที่ $i$
	$j$	คือ ข้อสอบข้อที่ $j$
	$n$	คือ จำนวนข้อสอบ
	$p_{1j}$	คือ เมทริกซ์ของโอกาสที่ผู้สอบคนที่ $i$ จะตอบข้อสอบข้อที่ $j$ ถูก
	$P_i$	คือ เวกเตอร์ของแถวที่ $i$ ในเมทริกซ์ $p_{1j}$
	$y_{1j}$	คือ เมทริกซ์ของคะแนนรายข้อของผู้สอบคนที่ $i$ ในการตอบข้อสอบข้อที่ $j$
	$T_1$	คือ โอกาสการตอบถูกโดยเฉลี่ยในทุกข้อของผู้สอบคนที่ $i$

โดยปกติแล้วดัชนีชี้เตือนมาตรฐานหมายเลข 4 ใช้สำหรับบ่งชี้ความผิดปกติของแบบแผนคะแนนการตอบ หากแบบแผนคะแนนการตอบแบบใดยังมีค่าดัชนีต่ำก็แสดงว่าแบบแผนคะแนนการตอบนั้นยังมีลักษณะใกล้เคียงกับแบบแผนคะแนนการตอบข้อสอบแบบกัตแมนสมบูรณ์ ในทางตรงข้ามแบบแผนคะแนนการตอบใดที่มีค่าดัชนีสูง แบบแผนคะแนนการตอบนั้นก็จะมีลักษณะใกล้เคียงกับแบบแผนคะแนนการตอบข้อสอบที่ตรงข้ามกับกัตแมนสมบูรณ์ (reversed Guttman) ซึ่งสามารถเปรียบเทียบกันได้ในทุกระดับความสามารถของผู้สอบ โดยไม่ขึ้นอยู่กับกลุ่มผู้สอบเหมือนดัชนีที่อิงทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม (classical test theory) และดัชนีนี้มีพิสัยไม่จำกัด

ทฤษฎีโอกะจึงนำดัชนีชี้เดือนมาตรฐานที่ 4 มาใช้จำแนกแบบแผนคะแนนการตอบข้อสอบควบคู่กับการคำนวณค่าความสามารถของผู้สอบ ( $\theta$ ) ซึ่งประมาณได้จากโมเดลตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ (IRT) โดยนิยมปรับให้เป็นคะแนนมาตรฐานที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 1 ค่า  $\theta$  นี้จะมีพิสัยอยู่ระหว่าง  $-\infty$  ถึง  $+\infty$  แต่ผลการวิเคราะห์ส่วนใหญ่มักให้ค่าอยู่ในช่วง  $-3$  ถึง  $+3$

หลังจากที่พล็อตคู่อันดับของค่าดัชนีชี้เดือนมาตรฐานหมายเลข 4 กับ ค่าความสามารถของผู้สอบจากแบบแผนคะแนนการตอบทั้งหมด จะได้จุดของแบบแผนคะแนนการตอบข้อสอบของนักเรียนแต่ละคน (student point) พร้อมกับจุดของแบบแผนคะแนนการตอบจากแบบการคิดแต่ละแบบ (rule point) การระบุว่าจุดของนักเรียนมีโอกาสจะอยู่ใกล้กับจุดของแบบการคิดใดมากที่สุด ทำโดยการคำนวณระยะทางที่น้อยที่สุดตามกฎระยะทางกำลังสองน้อยที่สุด (minimum -  $D^2$  rule ;  $D^2 = \text{Mahalanobis' generalized square - distance}$ ) ซึ่งมีวิธีการคำนวณ ดังต่อไปนี้

1. ให้ตำแหน่งของแบบแผนคะแนนการตอบของนักเรียน  $x$  แทนด้วยเมตริกส์  $X$  ซึ่ง

$$X = \begin{bmatrix} \theta_x \\ f(x) \end{bmatrix}$$

โดยที่  $\theta_x$  คือค่าความสามารถของนักเรียน  $x$  และ  $f(x) = f(P(\theta) - X)$  ( $P(\theta) - T(\theta)$ ) ซึ่ง  $P(\theta)$  เป็นโอกาสการตอบถูกข้อที่  $i$  ของนักเรียน  $x$  ,  $T(\theta)$  เป็นโอกาสการตอบถูกในทุกข้อโดยเฉลี่ยของนักเรียน  $x$

2. ให้ตำแหน่งของแบบแผนคะแนนการตอบของแบบการคิดที่  $j$  แทนด้วยเมตริกส์  $R_j$

$$R_j = \begin{bmatrix} \theta_{R_j} \\ f(R_j) \end{bmatrix}$$

โดย  $\theta_{R_j}$  คือ ค่าความสามารถที่คำนวณจากแบบแผนคะแนนการตอบของแบบการคิดที่  $j$  และ  $f(R_j) = f(P(\theta) - R_j)$  ( $P(\theta) - T(\theta)$ ) ซึ่ง  $P(\theta)$  เป็นโอกาสการตอบถูกข้อที่  $i$  ของแบบการคิดที่  $j$  และ  $T(\theta)$  เป็นโอกาสการตอบถูกในทุกข้อโดยเฉลี่ยของแบบการคิดที่  $j$

ระยะทางที่น้อยที่สุดจากตำแหน่งของแบบการคิดมายังตำแหน่งของนักเรียน คำนวณได้จากสูตร

$$D_{x_j}^2 = (X - R_j) \sum_{i=1}^{j-1} (X - R_i), \quad j = 1, 2$$

$$\text{โดยที่ } \sum = \begin{bmatrix} \frac{1}{I(e)} & 0 \\ 0 & \text{Var}(f(x)) \end{bmatrix}$$

ถ้าหาก  $D_{x_1}^2 < D_{x_2}^2$  แสดงว่านักเรียน  $x$  ใช้แบบการคิดที่ 1

หากตำแหน่งของนักเรียนมีระยะทางระหว่างแบบการคิดสองแบบการคิดเท่ากัน ก็จะใช้การตัดสินใจแบบเบย์ส์ (Bayes' decision rule for minimum error) เพื่อประมาณให้ได้ว่าแบบแผนคะแนนการตอบของนักเรียนมีโอกาสจะใกล้เคียงกับแบบแผนคะแนนการตอบจากแบบการคิดใดมากที่สุด ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

สมมติให้  $R_1$  แทนตำแหน่งของแบบการคิดที่ 1

$R_2$  แทนตำแหน่งของแบบการคิดที่ 2 ซึ่งทั้งสองแบบการคิดนี้มีระยะทางกำลังสองน้อยที่สุดเท่ากัน

ให้  $\text{Prob}(R_1)$  โอกาสในการที่นักเรียนจะใช้แบบการคิดที่ 1

$\text{Prob}(R_2)$  โอกาสในการที่นักเรียนจะใช้แบบการคิดที่ 2

$p(X|R_j), j = 1, 2$  เป็นฟังก์ชันเงื่อนไขของ  $X$

$$\text{ถ้า } \frac{p(X|R_1) \cdot P(R_2)}{p(X|R_2) \cdot P(R_1)} > 1$$

จะตัดสินใจว่านักเรียนใช้แบบการคิดที่ 1 นอกเหนือจากนั้นให้ตัดสินใจว่านักเรียนใช้แบบการคิดที่ 2 เพื่อความสะดวกมักจะทำอัตราส่วน Likelihood ในสมการที่ 1 ให้เป็นล็อกการิทึมที่เป็นลบแล้วเขียนกฎการตัดสินใจใหม่ได้เป็น



$$\text{ถ้า } h(X) = -\ln \ell(X) = -\ln(p(X|R_1)) + \ln(p(X|R_2)) < \ln \left[ \frac{\text{Prob}(R_1)}{\text{Prob}(R_2)} \right]$$

จะตัดสินว่านักเรียนใช้แบบการคิดที่ 1 นอกเหนือจากนั้นให้ตัดสินว่านักเรียนใช้แบบการคิดที่ 2

ปัญหาประการหนึ่งของการวินิจฉัยโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจากแบบแผนคะแนนการตอบตามวิธีของทาทูโอเกะคือ มีแบบการคิดการคิดแก้ปัญหาจำนวนหนึ่งเมื่อตรวจคำตอบและให้คะแนนแบบ 0-1 แล้วจะให้แบบแผนคะแนนการตอบที่เหมือนกันทุกประการ ทำให้ไม่สามารถวินิจฉัยได้ว่านักเรียนใช้แบบการคิดการคิดแบบใด ดังเช่น ปัญหาการบวกเลขจำนวนเต็มลบ 6 ข้อ จะได้แบบแผนคะแนนการตอบจากแบบการคิดที่ 2-1 1-2 2-4 และ 7-2 (รายละเอียดของแบบการคิดเสนอไว้ในบทที่ 3) เหมือนกันดังนี้

ตารางที่ 2 คำตอบและแบบแผนคะแนนการตอบจากแบบการคิด 4 แบบ

ปัญหา	คำตอบที่ถูกต้อง	คำตอบและแบบแผนคะแนนการตอบจากแบบการคิด								
		แบบที่ 1-2		แบบที่ 2-1		แบบที่ 2-4		แบบที่ 7-2		
1) $-9 + 3$	3	-6	6	0	-12	0	-12	0	12	0
2) $-6 + (-2)$	-2	-8	-8	1	-8	1	-8	1	-8	1
3) $2 + (-7)$	-7	-5	5	0	-9	0	-9	0	5	0
4) $-4 + 8$	8	4	-4	0	12	0	-12	0	-12	0
5) $-3 + (-9)$	-9	-12	-12	1	-12	1	-12	1	-12	1
6) $5 + (-3)$	-3	2	-2	0	8	0	-8	0	-2	0

จะสังเกตได้ว่าแม้แบบแผนคะแนนการตอบของแบบการคิดทั้ง 4 แบบจะเหมือนกันทุกประการ แต่แบบแผนคำตอบจากแบบการคิดแต่ละแบบการคิดจะแตกต่างกัน ซึ่งวิธีการของทาทูโอเกะไม่ได้คิดถึงจุดนี้ นอกจากนั้นหากนักเรียนตอบผิดหมดทุกข้อ วิธีการของทาทูโอเกะก็ไม่สามารถวินิจฉัยได้ว่านักเรียนใช้แบบการคิดที่ผิดแบบใดบ้างดังเช่น แบบการคิดที่ 2-3 แบบการคิด

ที่ 2-5 ซึ่งให้คำตอบเป็นศูนย์ทุกข้อ เป็นต้น การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนตามวิธีการของ ทาทัชชูลอเกะ ให้ข้อมูลย้อนกลับที่ยังไม่สมบูรณ์เพียงพอ ต่อการแก้ไขข้อบกพร่องของนักเรียน และการปรับปรุงการเรียนการสอนของครู

ประการที่สองการคำนวณค่าต่าง ๆ ในวิธีการนี้ อันได้แก่ ค่าดัชนีชี้เดือนมาตรฐาน หมายเลข 4 ค่าความสามารถของผู้สอบ (θ) ตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ รวมทั้งการคำนวณ ค่าระยะทางน้อยที่สุดแบบ Mahalanobis' generalized square - distance และการตัดสินใจแบบเบย์ส์ มีวิธีการคำนวณที่ซับซ้อน และต้องใช้ผู้สอบเป็นจำนวนมาก จึงจะประมาณค่า พารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ ทำให้ไม่สะดวกในการนำมาปฏิบัติในระดับชั้นเรียน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนด้วยวิธีการของทาทัชชูลอเกะ

ในการประชุมนานาชาติ International Educational Statistics and Measurement Symposium 1991 ณ ประเทศไต้หวัน ฮาร์นิช (Harnisch, 1991) ซึ่งเป็นผู้ร่วมงานของทาทัชชูลอเกะ ได้นำเสนอวิธีการของทาทัชชูลอเกะ ภายใต้หัวข้อ "An Application of IRT for Diagnosing Misconceptions" โดยใช้ชื่อเทคนิคนี้ว่า "rule space" ซึ่งหมายถึงพื้นที่ในเวกเตอร์สเปซระหว่างค่า SECI4 และ ค่าความสามารถ (θ) ฮาร์นิชชี้ให้เห็นว่า วิธีการนี้จะประมาณค่าตำแหน่งของนักเรียน (student point) ใน rule space เทียบกับตำแหน่งของแบบการคิด (rule point) อันจะทำให้ทราบว่านักเรียนใช้แบบการคิดแบบใด วิธีการนี้จะให้ประโยชน์ในการประเมินการสอน การประเมินวัสดุการสอน และการให้คำวินิจฉัยรายบุคคลแก่ผู้สอบ ฮาร์นิชได้เน้นว่าจุดมุ่งหมายของการสอบประการหนึ่งคือ การวินิจฉัยเพื่อปรับปรุงและพัฒนาการเรียนรู้อันของนักเรียน ซึ่งจุดมุ่งหมายนี้มีกฎมองข้ามไปทำให้การสอบส่วนใหญ่จะขาดความเชื่อมโยงกับการเรียนการสอน การสอบในสมัยใหม่จึงควรมีวัตถุประสงค์ในการส่งเสริมการเรียนการสอนมากกว่าวัตถุประสงค์เดิม ๆ ที่ใช้การสอบเพื่อการคัดเลือก การจัดอันดับ หรือการให้เกรดเท่านั้น การที่นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจะสะท้อนออกมาในรูปของความคลาดเคลื่อนในการตอบข้อสอบอย่างเป็นระบบ (systematic error) ซึ่งทำให้สามารถทำนายแบบแผนการตอบของนักเรียนได้ ฮาร์นิชได้ทำการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนด้วยวิธีการของทาทัชชูลอเกะ ในแบบสอบวิชาฟิสิกส์คิดจำนวน 20 ข้อ สามารถจัดกลุ่มของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้ 25 กลุ่ม และพบว่านักเรียน 2000 คน (เกือบ 85 %) จะมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอยู่ใน 25 กลุ่มนี้ แต่ไม่ได้รายงานการตรวจสอบความตรงของการวินิจฉัยดังกล่าว

ในปี 1992 คณะนักวิจัยอันประกอบด้วย Birenbaum จาก Tel Aviv University ประเทศอิสราเอล, Kelly จาก Rutgers University, Tatsuoka จาก ETS และ Gutvitz จาก Ironi Daled High School ประเทศอิสราเอล (Birenbaum et al., 1992) ได้ศึกษาความคงที่ (stability) ของการวินิจฉัยโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจากแบบการคิดที่ผิด พบว่าในเนื้อหาที่ซับซ้อนแบบการคิดที่ผิดจำนวนมากไม่คงที่ (unstable) และการวินิจฉัยโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจากแบบการคิดที่ผิดจะทำได้ยาก เพราะในเนื้อหาที่ซับซ้อน ต้อง ใช้โมทัศน์ และทักษะพื้นฐานหลายอย่างรวมกันในการแก้ปัญหา จึงควรจะวินิจฉัยที่ต้นเหตุของการเกิดแบบการคิดที่ผิด ซึ่งก็คือการขาดทักษะย่อยในเรื่องนั้น ๆ แบบการคิดที่ผิดในกรณีเนื้อหาที่ซับซ้อนนี้จึงหมายถึง ถึง แบบการคิดที่ผิดอันเนื่องมาจากการขาดทักษะย่อยของเนื้อหา นั้น เช่น แบบการคิดผิดแบบที่ 1 คือการขาดทักษะย่อยที่ 1 และ 3 เป็นต้น คณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อสอบวิชาฟิสิกส์ในระดับมัธยมปลาย พบว่าผู้สอบต้องใช้ทักษะย่อย 11 ทักษะย่อยในการทำข้อสอบ จากนั้นจัดกลุ่มของแบบการคิดที่ผิดอันเนื่องมาจากการขาดทักษะย่อย ซึ่งจะเรียกว่าสถานะของความรู้ (knowledge state หรือ cognitive state) สถานะของความรู้ที่สมบูรณ์คือ การมีความสามารถครบในทุกทักษะย่อย ส่วนสถานะของความรู้ที่ไม่สมบูรณ์ หรือแบบการคิดที่ผิดอันเนื่องมาจากการขาดทักษะย่อย ก็หาได้จากแบบของการขาดทักษะย่อยที่เห็นไปได้ทั้งหมด เช่น

knowledge state ที่ 1 คือ การบกพร่องในทักษะย่อยที่ 1

knowledge state ที่ 2 คือ การบกพร่องในทักษะย่อยที่ 1 และ 2 เป็นต้น

ซึ่งจะได้ knowledge state เป็นจำนวนมาก แต่ละ knowledge state หรือ แต่ละแบบการคิดจะมีแบบแผนคะแนนการตอบประจำ knowledge state จากนั้นก็หาว่าผู้สอบแต่ละคนอยู่ใน knowledge state ใด โดยการใช้วิธีการ rule space ของทาทซูกะเช่นเดิม

ต่อมาในเดือนพฤษภาคม 1992 มีการนำเสนอผลงานของ Birenbaum และ Tatsuoka (1992) ซึ่งใช้วิธีการ rule space ในการวินิจฉัยโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้สอบข้อสอบ SAT-Mathematic คณะผู้วิจัยวิเคราะห์แบบการคิดที่ผิดได้ทั้งสิ้น 600 แบบการคิดแต่จากการทดลอง ปรากฏว่า มีแบบการคิดที่ผิดเพียง 46 แบบ (ร้อยละ 0.08 ของแบบการคิดที่วิเคราะห์ได้) ที่มีผู้เข้าสอบตั้งแต่ร้อยละ 5 ขึ้นไปใช้ในการคิด จากจำนวนผู้สอบทั้งสิ้น 2334 คน

ในเดือนพฤศจิกายน 1992 ได้มีเสนอผลงานวิจัยของ Sheehan และ Tatsuoka (1992) ซึ่งใช้วิธีการ rule space ในการวินิจฉัยโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้สอบข้อสอบทักษะการแก้ปัญหา (problem solving skills) พบว่า มีแบบการคิดที่ผิดที่ผู้สอบใช้จริง 30

แบบการคิดจากที่วิเคราะห์ได้ 157 แบบการคิด (ร้อยละ 0.23 ของแบบการคิดที่วิเคราะห์ได้)

จากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าวิธีการวินิจฉัยโรคในทัศนที่คลาดเคลื่อนของ ทาทัชชโอะกะยังไม่ได้เป็นที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วไป งานวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้ ส่วนใหญ่จะดำเนินการโดยทาทัชชโอะกะและคณะ แม้ว่าฮาร์นิจจะได้นำเสนอวิธีการนี้ในการประชุม International Educational Statistics and Measurement Symposium ณ ประเทศไต้หวัน ตั้งแต่ปี 1991 แต่ทางคณะผู้วิจัยก็ยังมิได้เสนอโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับการวินิจฉัยโรคในทัศนที่คลาดเคลื่อนด้วยวิธีการดังกล่าวแต่อย่างใด และเป็นไปได้ยากมากที่ผู้สนใจวิธีการนี้จะพัฒนาโปรแกรม มาใช้เพื่อการวินิจฉัยด้วยตนเอง แต่จากการติดต่อกับทาทัชชโอะกะและฮาร์นิจโดยตรง ทั้งสองท่านกล่าวว่าขณะนี้กำลังอยู่ในระยะของการพัฒนาและทดสอบโปรแกรม คาดว่าจะเผยแพร่สู่สาธารณะในโอกาสต่อไป

## การวินิจฉัยมี โน้ตค้นที่คลาดเคลื่อนด้วยวิธีการพัฒนาชั้น

แนวความคิดการประเมินกฎ (rule assessment approach) เสนอว่า แบบการคิดแก้ปัญหาของคนจะซับซ้อนขึ้นตามระดับของพัฒนาการ คนเราจะมีแบบการคิดแก้ปัญหาตามความเข้าใจของตนเอง จากการเรียนรู้หรือจากประสบการณ์ที่เคยประสบผลสำเร็จในการแก้ปัญหาด้วยวิธีการนั้น ในทางคณิตศาสตร์หากผู้เรียนมีแบบการคิดที่ผิด โดยคิดว่าสิ่งที่เขาเข้าใจนั้นถูกต้องแล้ว เขาก็มีแนวโน้มที่จะใช้แบบการคิดนั้นในการแก้ปัญหาเสมอ เพราะความจริงแบบการคิดที่ผิดหลายแบบก็สามารถให้คำตอบที่ถูกต้องได้ในบางกรณีของปัญหาด้วย เราจึงวินิจฉัยมี โน้ตค้นที่คลาดเคลื่อนได้จากแบบการคิดที่นักเรียนใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งตรวจสอบ (detect) ได้จากลักษณะการตอบข้อสอบทั้งชุด ในเนื้อหาของนักเรียนแต่ละคน และวิธีการที่เหมาะสมในการวินิจฉัยว่าลักษณะการตอบของนักเรียนจะตรงกับลักษณะการตอบจากแบบการคิดใด ควรจะสามารถแก้ปัญหาเรื่องความคลาดเคลื่อนแบบลุ่ม อันเนื่องมาจากความไม่รอบคอบหรือการเดาได้ด้วย จากแนวคิดนี้เองผู้วิจัยจึงพัฒนาวิธีการวินิจฉัยมี โน้ตค้นที่คลาดเคลื่อนโดยการ "ย้อนรอยกระบวนการคิด" ซึ่งจะวินิจฉัยแบบการคิดที่ผิดจากชุดคำตอบของนักเรียน โดยตรง อาศัยการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการทำความเข้าใจของครู และวิธีการนี้สามารถแก้ไขข้อจำกัดของวิธีการของทาทชูโอเกะ ในประเด็นการจำแนกแบบการคิดที่ให้แบบแผนคะแนนการตอบที่เหมือนกัน รวมทั้งในกรณีที่นักเรียนตอบผิดหมดทุกข้อก็ยังสามารถตรวจสอบได้ว่า นักเรียนมีมี โน้ตค้นที่คลาดเคลื่อนแบบใดหรือไม่มีมี โน้ตค้นในเนื้อหา นั้น (ตอบแบบเดาลุ่ม) วิธีการที่พัฒนาขึ้นสะดวกต่อการนำไปปฏิบัติในระดับห้องเรียนเพราะไม่จำเป็นต้องใช้นักเรียนจำนวนมากเหมือนวิธีของทาทชูโอเกะ

วิธีการวินิจฉัยมี โน้ตค้นที่คลาดเคลื่อนที่พัฒนาขึ้น เริ่มต้นจากความคิดที่ว่าหากนักเรียนสามารถทำข้อสอบที่ประกอบด้วยชุดของปัญหาได้ถูกต้องทุกข้อ แสดงว่านักเรียนใช้แบบการคิดที่ถูกต้อง อันสะท้อนถึงการมีมี โน้ตค้นที่ถูกต้องในเนื้อหานั้น แบบการคิดที่ถูกต้องอาจจะมากกว่าหนึ่งแบบ แต่ทุกแบบจะต้องให้คำตอบที่ถูกต้องทั้งชุดของปัญหา นักเรียนที่ตอบถูกหมดทุกข้อเป็นกลุ่มที่ไม่ต้องมีการวินิจฉัยต่อ สำหรับนักเรียนที่ไม่ได้ตอบถูกหมดทุกข้อก็อาจแบ่งได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มแรก นักเรียนที่มีมี โน้ตค้นที่ถูกต้องแล้วแต่ตอบผิดเพราะความสะเพร่า ไม่รอบคอบ กลุ่มที่สอง นักเรียนที่มีมี โน้ตค้นที่คลาดเคลื่อน คำตอบที่ตอบนั้นมาจากแบบการคิดที่ผิด ซึ่งอาจตอบผิดบางข้อหรือตอบผิดหมดทุกข้อก็ได้ และกลุ่มที่สาม นักเรียนที่ไม่มีมี โน้ตค้นในเนื้อหา คำตอบที่ได้มาจากการเดาลุ่มหรือการใช้แบบการคิดที่ไม่แน่นอน นักเรียนทั้งสามกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่จะได้รับการวินิจฉัยว่ามีมี โน้ตค้นที่ไม่ถูกต้องหรือไม่ และมีมี โน้ตค้นที่ไม่ถูกต้องนั้นมีแบบการคิดเป็นแบบใด

การย้อนรอยกระบวนการคิดเป็นการสืบย้อนไปถึงวิธีคิดของนักเรียน โดยสิ่งที่สามารถสังเกตได้คือ ร่องรอยของคำตอบ ซึ่งในคำตอบเดียวกัน ก็มาจากวิธีการคิดได้หลายแบบทั้งวิธีการคิดที่ถูกต้องและวิธีการคิดที่ผิด ดังนั้นจึงต้องทำให้ได้ว่าคำตอบของนักเรียนมาจากแนวคิดที่ถูกต้องหรือมาจากแนวคิดที่ผิด เพราะคำตอบที่ถูกไม่ได้มาจากแนวคิดที่ถูกต้องเสมอไป วิธีการนี้เริ่มต้นเหมือนวิธีการของทาทัชโฮกะ คือ สำรวจและวิเคราะห์แบบการคิดผิดที่เป็นไปได้ทั้งหมดในเนื้อหา นั้น แล้วสร้างข้อสอบให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม รวบรวมเป็นแบบสอบปลายเปิดชนิดเติมคำตอบ คำนวณหาคำตอบด้วยแบบการคิดที่ผิดทีละแบบ แต่ละแบบการคิดก็จะได้แบบคำตอบหนึ่งชุด จากนั้นนำแบบสอบนี้ไปให้กลุ่มตัวอย่างที่จะวินิจฉัยทำ ดำเนินการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน โดยการเปรียบเทียบชุดคำตอบของนักเรียน กับชุดคำตอบของแบบการคิดต่าง ๆ โดยตรง ในคำตอบเดียวกันของนักเรียนแต่ละคนสามารถมาได้จากวิธีการคิดที่หลากหลาย ดังนั้น การย้อนรอยกระบวนการคิดจึงต้องทำกับข้อสอบทั้งชุด เพื่อให้ได้ว่าคำตอบจากแนวคิดใด จะตรงกับคำตอบของนักเรียนมากที่สุด และจะต้องมีวิธีการยืนยันว่านักเรียนใช้แบบการคิด หรือไม่รอบคอบ หรือทำอย่างเดาสุ่ม สำหรับรายละเอียดของวิธีการขอเสนอในบทที่ 3 ต่อไป

#### ตอนที่ 4 รูปและ เปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของวิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

จากวิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่กล่าวมาข้างต้น สามารถเปรียบเทียบข้อดี และข้อจำกัดของแต่ละวิธี ได้ดังนี้

#### ตารางที่ 3 ข้อดีและข้อจำกัดของวิธีการวินิจฉัยต่าง ๆ

วิธีการ	เครื่องมือ	ข้อดี	ข้อจำกัด
1. การสังเกต ซักถามรายบุคคล และการตรวจการ บ้าน/แบบฝึกหัด/ ข้อสอบอัตนัย	ครู	- ใช้ได้ผลดีกับคนกลุ่มเล็กและ ครูใกล้ชิดกับนักเรียน - หากครูชำนาญจะทำได้ง่าย - ทำได้ ไม่จำกัด เวลาและสถานที่ - ไม่ต้องสร้างเครื่องมืออื่นเป็น พิเศษ	- ใช้เวลามาก - ไม่เป็นมาตรฐาน - ไม่เหมาะกับคนกลุ่มใหญ่ - ครูต้องชำนาญในเนื้อหา

ตารางที่ 3 (ต่อ) ข้อดีและข้อจำกัดของวิธีการวินิจฉัยต่าง ๆ

วิธีการ	เครื่องมือ	ข้อดี	ข้อจำกัด
<b>2. แบบสอบวินิจฉัย</b>			
Linguist, 1956		- เป็นมาตรฐาน	- แต่ละข้อจะบรรจุตัวลวงซึ่งแทนแบบการคิดได้
Scannell, 1972	ข้อสอบปรนัย	- ใช้เวลาในการวินิจฉัยไม่มาก	จำนวนจำกัด
Singha, 1974		- เป็นปรนัยในการตรวจและการวินิจฉัย	- การเลือกตัวลวงอาจมาจากแบบการคิดแบบอื่นที่ไม่ได้ระบุไว้ในข้อนั้น
วินิจฉัยจากการเลือกตัวลวง			- การเลือกตัวถูกอาจมาจากแบบการคิดที่ผิดก็ได้
<b>3. ดัชนีบ่งชี้ความผิดปกติของแบบแผนการตอบ</b>			
Sato, 1978			
Linn & Harnisch, 1982	ข้อสอบที่ให้คะแนนราย	- มีดัชนีบ่งชี้ระดับความผิดปกติ	- บอกได้เพียงว่าผิดปกติ
สำราญ, 2534	ข้อแบบ 0-1	- มีสูตรและโปรแกรมในการคำนวณ	แต่บอกไม่ได้ว่ามีโน้ตค้นที่คลาดเคลื่อนแบบใด
พินิจา, 2535			
<b>4. วิธีการของทาทซึโอกะ</b>			
Tatsuoka, 1982	ข้อสอบแบบเติมคำตอบให้คะแนน	- บ่งชี้แบบการคิดที่คลาดเคลื่อนได้	- การคำนวณซับซ้อน
วินิจฉัยจากแบบแผนการตอบ	0-1		- ต้องใช้ผู้สอบจำนวนมาก
			- ไม่แยกแบบการคิดที่ให้แบบแผนการตอบเหมือนกัน
			- หากนักเรียนได้ 0 คะแนนจะวินิจฉัยไม่ได้
			- วินิจฉัยได้ทีละเนื้อหาย่อย

ตารางที่ 3 (ต่อ) ข้อดีและข้อจำกัดของวิธีการวินิจฉัยต่าง ๆ

วิธีการ	เครื่องมือ	ข้อดี	ข้อจำกัด
5. วิธีที่พัฒนาขึ้น	ข้อสอบแบบ	- บังคับแบบการคิดที่คลาดเคลื่อนได้	
ย้อนรอยกระบวนการ	เติมคำตอบ	- การคำนวณไม่ซับซ้อน เข้าใจง่าย	- การสร้างข้อสอบต้อง
การคิดจากชุดคำตอบ		- ใช้ได้ในระดับห้องเรียน	เป็นไปตามเงื่อนไข
โดยตรง		- แยกแบบการคิดที่ให้แบบแผน	- กระบวนการวินิจฉัยยุ่ง
		การตอบเหมือนกันได้	ยาก เช่น การเปรียบเทียบ
		- หากนักเรียนได้ 0 คะแนน	เทียบแบบการคิด
		ก็สามารถวินิจฉัยได้ว่ามี	- วินิจฉัยได้ทีละ เนื้อหาย่อย
		มีโน้ตค้นที่คลาดเคลื่อนหรือ	- ไม่มีต้นหรือสูตรคำนวณ
		เดาสุ่ม	โดยตรง

จากการวิเคราะห์แนวคิดของวิธีการวินิจฉัยทั้งหมดดังกล่าวข้างต้น และการพิจารณาตามหลักเหตุผล รวมทั้งการศึกษานำร่อง พบว่าวิธีการวินิจฉัยมีโน้ตค้นที่คลาดเคลื่อนที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมานั้นจะวินิจฉัยแบบการคิดจากคำตอบของนักเรียนโดยตรง ซึ่งสามารถแก้ไขจุดอ่อนและเสริมจุดดีของวิธีการที่ผ่าน ๆ มา โดยเฉพาะการแก้ปัญหาของการวินิจฉัยจากแบบแผนคะแนนการตอบข้อสอบตามวิธีการของทาทูโอเกะในประเด็นการจำแนกแบบการคิด ที่ให้แบบแผนคะแนนการตอบที่เหมือนกัน หรือการที่นักเรียนตอบผิดหมดทุกข้อได้ แต่ก็มีข้อจำกัดอยู่ที่การสร้าง เครื่องมือและกระบวนการวินิจฉัยที่ค่อนข้างยุ่งยาก