

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการนำเสนอทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว โดยแบ่งเนื้อหาที่เกี่ยวข้องเป็น 4 ตอน คือ

ตอนที่ 1 แนวคิดในการศึกษาตัวบ่งชี้

ตอนที่ 2 แนวคิดในการวัดการเปลี่ยนแปลง

ตอนที่ 3 โมเดลกรอบแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตอนที่ 4 ดัชนีตรวจสอบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงและโมเดลสูตรที่ศึกษาตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์

ตอนที่ 1 แนวคิดในการศึกษาตัวบ่งชี้

ในหัวข้อนี้ได้เสนอแนวคิดต่าง ๆ ที่สำคัญเกี่ยวกับความหมาย ประเภทของตัวบ่งชี้ และประโยชน์ของตัวบ่งชี้

ความหมายของตัวบ่งชี้

วรรณิ แกมเกตุ (2540, หน้า 14) ได้ให้ความหมายของตัวบ่งชี้ไว้ว่า เป็นสารสนเทศหรือค่าที่สังเกตได้เชิงปริมาณหรือสารสนเทศเชิงคุณภาพซึ่งใช้บ่งสถานะของสิ่งที่มุ่งวัด หรือสะท้อนลักษณะ รวมทั้งปัญหาอุปสรรคของการดำเนินงานอย่างกว้าง ๆ ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ตัวบ่งชี้มาจากศัพท์ภาษาอังกฤษว่า “indicator” และ “index” คำว่า indicator และ index มีความหมายที่แตกต่างกัน คำว่า index หมายถึง ตัวแปร หรือตัวแปรรวม ที่ใช้แทนปริมาณของการเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะต่าง ๆ ซึ่งเป็นสารสนเทศในเชิงปริมาณเท่านั้น ส่วนลักษณะที่สำคัญของตัวบ่งชี้สรุปได้ 3 ประการ (Johnstone, 1981 อ้างถึงใน วรรณิ แกมเกตุ, 2540, หน้า 14)

1. ตัวบ่งชี้เป็นสิ่งที่บ่งบอก / กำหนดเป็นปริมาณ หรือสามารถทำให้เป็นปริมาณได้ มิใช่เป็นการบรรยายข้อความ ในการตีความหมายค่าตัวเลขของตัวบ่งชี้แต่ละตัวจะต้องนำมาเปรียบเทียบกับกฎเกณฑ์ที่สร้างขึ้น จึงจะสามารถบอกได้ว่าค่าตัวเลขที่ได้สูงหรือต่ำมีความหมายว่า อย่างไร และในการกำหนดเกณฑ์การแปลความหมายระบบตัวเลขของตัวบ่งชี้ที่สร้างขึ้นต้องมีความชัดเจน
2. ค่าของตัวบ่งชี้เป็นค่าชั่วคราวไม่ถาวร มีการผันแปรตามเวลาและสถานที่ นั่นคือ ตัวบ่งชี้จะบ่งบอกความหมายโดยมีเงื่อนไขของเวลาและสถานที่กำกับ กล่าวคือ ตัวบ่งชี้จะบ่งบอกความหมายเฉพาะในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง และเฉพาะเขตพื้นที่หรือบริเวณส่วนใดส่วนหนึ่งของ

ระบบที่ต้องการตรวจสอบ ตัวบ่งชี้อาจจะมีช่วงเวลาเป็นเดือน หรือเป็นปี ก็ได้ เช่น ตัวบ่งชี้ในช่วง 3 เดือน หรือช่วง 5 ปีของจังหวัด เขต ภูมิภาค หรือประเทศใด ๆ ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาและสถานที่ที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการจัดทำตัวบ่งชี้ขึ้น ๆ

3. ตัวบ่งชี้ เป็นสิ่งที่บอกสถานะของสิ่งที่มุ่งวัดในลักษณะกว้าง ๆ หรือให้ภาพสรุปโดยทั่วไป มากกว่าที่จะเป็นภาพที่เฉพาะเจาะจงในรายละเอียดส่วนย่อย

ประเภทของตัวบ่งชี้

ตัวบ่งชี้มีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่ง หากแบ่งตามแนวคิดของจอห์นสโตน (Johnstone, 1981, อ้างถึงใน เอมอร์ จังศิริพรปกรณ์, 2541, หน้า 37) ได้แบ่งวิธีการจำแนกประเภทของตัวบ่งชี้ในระบบการศึกษาไว้ 5 วิธี ดังนี้

1. พิจารณาจากตัวแปรที่เข้ามามีส่วนร่วมในการสร้างตัวบ่งชี้ แบ่งได้ดังนี้

1.1 ตัวบ่งชี้ที่เป็นตัวแทน (representative indicators) ตัวบ่งชี้ที่เป็นตัวแทนเป็นการเลือกตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งมาเป็นตัวแทนเพื่อช่วยชี้ หรือ สะท้อนให้เห็นแง่มุมของระบบการศึกษา ใช้มากในงานวิจัย งานบริหารและงานวางแผน ตัวแปรที่นำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ที่พบบ่อย คือ อัตราการเข้าเรียนของนักเรียนระดับต้น ร้อยละของผลิตภัณฑ์ประชาชาติ (GNP) ที่ใช้เพื่อศึกษาการอ่านออกเขียนได้ เป็นต้น ในระบบการศึกษา ถ้าใช้ตัวแปรเพียงตัวเดียวเป็นตัวแทนในการวัดระบบการศึกษาซึ่งมีความยุ่งยากซับซ้อน เป็นเรื่องที่ไม่น่าเป็นไปได้

1.2 ตัวบ่งชี้แยกรวม (disaggregative indicators) เป็นตัวบ่งชี้ที่นำข้อมูลมาจำแนกออกเป็นส่วนตัว ๆ การอธิบายต้องอาศัยความหมายของแต่ละตัวแปรเพื่ออธิบายแต่ละส่วนหรือแต่ละองค์ประกอบของระบบการศึกษา แทนที่จะใช้ตัวแปรใดตัวแปรหนึ่ง อธิบายคุณลักษณะหรือมโนทัศน์หนึ่ง ๆ ตัวแปรที่กำหนดแต่ละตัวในแต่ละส่วนต้องเป็นอิสระจากตัวแปรอื่น ๆ ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะถ้านำไปใช้เพื่ออธิบายเพียงบางส่วนก็เกิดปัญหาในความไม่ถูกต้อง ลักษณะของตัวบ่งชี้ประเภทนี้จึงไม่ช่วยอธิบายลักษณะของระบบการศึกษาได้ถูกต้อง

1.3 ตัวบ่งชี้รวม (composite indicators) เป็นตัวบ่งชี้ที่รวมตัวแปรจำนวนหนึ่งเข้าด้วยกันกลายเป็นค่าออกมาตัวหนึ่ง สำหรับบอกคุณลักษณะของสิ่งนั้น มีการถ่วงน้ำหนักของตัวแปรแต่ละตัว เพราะตัวแปรแต่ละตัวอาจมีค่าน้ำหนักไม่เท่ากัน แล้วคำนวณค่าตัวบ่งชี้รวมออกมา ตัวบ่งชี้นี้อธิบายลักษณะหรือสถานการณ์ของการศึกษาได้ดีกว่าการใช้ตัวแปรเพียงตัวเดียว

2. พิจารณาจากวิธีการแปลผล ค่าของตัวบ่งชี้ แบ่งได้ดังนี้

2.1 ตัวบ่งชี้ที่มีการแปลผลแบบอิงกลุ่ม (norm reference comparison) เป็นตัวบ่งชี้เปรียบเทียบระบบการศึกษาต่างๆ ในระยะเวลาเดียวกันหรือเป็นการเปรียบเทียบกับกลุ่ม

2.2 ตัวบ่งชี้ที่มีการแปลผลแบบอิงตนเอง (self-reference comparison) เป็นตัวบ่งชี้เปรียบเทียบในระบบการศึกษาเดียวกัน แต่ต่างกันในด้านระยะเวลา หรือเป็นการเปรียบเทียบกับตนเอง

2.3 ตัวบ่งชี้ที่มีการแปลผลแบบอิงเกณฑ์ (criterion-reference comparison) เป็นตัวบ่งชี้ที่เปรียบเทียบกับระบบในอุดมคติ หรืออุดมมุ่งหมายในแผน หรือเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ตั้งไว้

3. พิจารณาจากลักษณะ – สเกลการวัด แบ่งได้ดังนี้

3.1 ตัวบ่งชี้ที่วัดเป็นค่าสมบูรณ์ (absolute measurement) เป็นตัวบ่งชี้ที่แสดงค่าเป็นจำนวนที่มีค่าสมบูรณ์ในตัวเอง ไม่มีการนำค่าไปเปรียบเทียบกับหรือสัมพันธ์กับค่าอื่น ๆ เช่น จำนวนนักเรียนที่เรียนต่อมัธยมศึกษาปีที่ 1 เป็นต้น

3.2 ตัวบ่งชี้ที่เป็นค่าสัมพัทธ์ (relative measurement) เป็นตัวบ่งชี้ที่แสดงค่าที่มีการนำไปสัมพันธ์หรือเกี่ยวข้องกับค่าอื่น เช่น สัดส่วนของนักเรียนที่เรียนต่อมัธยมศึกษาปีที่ 1 อัตราการเจริญเติบโต

4. พิจารณาตามช่วงเวลา แบ่งได้ดังนี้

4.1 ตัวบ่งชี้แสดงค่าในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง (measurement of stocks) เป็นตัวบ่งชี้ที่ให้ค่าเป็นปริมาณที่แน่นอนในช่วงเวลาหนึ่ง

4.2 ตัวบ่งชี้แสดงการเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา (measurement of flows) เป็นตัวบ่งชี้ที่สัมพันธ์กับอัตราการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ข้อมูลอธิบายอัตราการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา ถูกรายงานในรูปของร้อยละต่อปี มีค่าเป็นบวก หรือลบก็ได้

5. พิจารณาตามระดับการวัด แบ่งได้ดังนี้

5.1 ตัวบ่งชี้วัดลักษณะสภาพรวมทุกระดับ (measurement of overall level) เป็นตัวบ่งชี้ที่วัดคุณลักษณะรวมทุกระดับ อาจแสดงในรูปของค่าเฉลี่ย ตัวบ่งชี้ในลักษณะนี้จะไม่เห็นการกระจาย การนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับ อาจได้ข้อสรุปที่ไม่ถูกต้อง

5.2 ตัวบ่งชี้ที่วัดลักษณะการกระจาย (measurement of distribution) เป็นตัวบ่งชี้ที่วัดลักษณะการกระจายของข้อมูลในรูปของ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทำให้เห็นว่าคุณลักษณะที่วัดได้ในกลุ่มมีความคล้ายคลึงกัน หรือแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด

ประโยชน์ของตัวบ่งชี้

จอร์นสโตน (Johnstone, 1981 อ้างถึงใน เอมอร จังศิริพรปกรณ์, 2541, หน้า 41) ได้กล่าวถึงประโยชน์ของตัวบ่งชี้ทางการศึกษาไว้ ดังนี้

1. เป็นข้อความกำหนดนโยบาย ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบในการวางแผน คือขาดความชัดเจนในการกำหนดวัตถุประสงค์และนโยบาย มักจะระบุในลักษณะที่กว้างมากเกินไป การนำตัวบ่งชี้มาใช้ในข้อความกำหนดนโยบายจะช่วยให้ทราบสิ่งที่ต้องการให้บรรลุผลตามนโยบายได้ชัดเจนขึ้น

2. ติดตามผลในระบบการศึกษา การใช้ตัวบ่งชี้ทางการศึกษาในการติดตามผลการเปลี่ยนแปลงมีความสำคัญมาก เพราะช่วยตรวจสอบว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นเป็นไปตามทิศทางที่ต้องการ หรือพึงประสงค์หรือไม่ ซึ่งจะต้องมีการใช้ตัวอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง จึงจะสามารถใช้ประโยชน์ในการพัฒนาการศึกษาได้

3. พัฒนาการวิจัยเกี่ยวกับระบบการศึกษา ตัวบ่งชี้มีประโยชน์ต่อการพัฒนาการวิจัย โดยเฉพาะตัวบ่งชี้รวมสามารถใช้แทนลักษณะของระบบการศึกษาในงานวิจัย โดยนำไปใช้วิเคราะห์ เพื่อศึกษาวิจัยในแง่มุมต่าง ๆ ตามต้องการได้ถูกต้องและน่าเชื่อถือ ดีกว่าการใช้ตัวแปรเดี่ยว หรือตัวแปรย่อยแต่ละตัว ซึ่งถือว่าเป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์เท่านั้น

4. จัดกลุ่มระบบการศึกษา ตัวบ่งชี้ช่วยให้การจัดแบ่งกลุ่มในระบบการศึกษามีความตรงและความเที่ยง ทำให้ประเทศที่มีระบบการศึกษาในกลุ่มเดียวกันสามารถใช้ข้อมูลอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันได้ นอกจากนี้การจัดแบ่งกลุ่มยังช่วยให้เห็นถึงลักษณะที่เหมือน หรือแตกต่างกันในการศึกษา ใช้ในการเปรียบเทียบการศึกษาระหว่างจังหวัด ภายในประเทศ หรือระหว่างประเทศ ซึ่งดีกว่าการใช้ตัวแปรใดตัวแปรหนึ่ง หรือใช้ตัวแปรแต่ละชนิดหลาย ๆ ตัว การสร้างตัวบ่งชี้รวมจะช่วยลดความผิดพลาดลงได้

5. ลักษณะเป็นกลาง ตัวบ่งชี้ที่ใช้มีลักษณะของความเป็นกลาง ทำให้สามารถกำหนดปทัศสถานในการตัดสินได้ โดยที่ตัวบ่งชี้มิได้มีลักษณะเอนเอียงไปทางใดทางหนึ่ง

ตอนที่ 2 แนวคิดในการวัดการเปลี่ยนแปลง

ในตอนนี้ได้รวบรวมแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวัดพัฒนาการ ได้แก่ การวัดพัฒนาการโดยโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว การวัดพัฒนาการโดยโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง การวัดพัฒนาการโดยโมเดลเชิงเส้นระดับลดหลั่น และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดการวัดพัฒนาการ มีรายละเอียดดังนี้

การวัดพัฒนาการ

แองเกิล และรินนีเก (Engle & Rinneeke, 1996) กัทแมน (Gottman, 1995, อ้างถึงใน นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542, หน้า 265) สรุปได้ว่า การวัดพัฒนาการที่มีการวัดซ้ำมากกว่า 2 ครั้ง ได้รับการพัฒนาไปมาก การวัดพัฒนาการแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจากหน่วย

ตัวอย่างทุกหน่วยในกลุ่มตัวอย่าง วิธีการที่สำคัญได้แก่ การวัดพัฒนาการโดยใช้โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว การวัดพัฒนาการโดยใช้โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง การวัดพัฒนาการโดยใช้โมเดลเชิงเส้นระดับลดหลั่น เป็นต้น กลุ่มที่สองเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจากหน่วยตัวอย่างหน่วยเดียว เก็บข้อมูลในลักษณะเป็นข้อมูลอนุกรมเวลา (time series data) มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ทราบแนวโน้มพัฒนาการ และพยากรณ์ระดับพัฒนาการในอนาคต ได้แก่ การวิเคราะห์ลำดับ (sequential analysis) การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (time series data) และการสร้างโมเดลพลวัตหรือการวิเคราะห์กระบวนการ (dynamic modeling or process analysis)

การวัดพัฒนาการซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับการพัฒนา ส่วนใหญ่ใช้โมเดลลิสเรล ดังนั้น การเสนอสาระในหัวข้อนี้จึงจำกัดเฉพาะการวัดพัฒนาการโดยใช้โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว การวัดพัฒนาการโดยใช้โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และการวัดพัฒนาการโดยใช้โมเดลเชิงเส้นระดับลดหลั่น เป็นวิธีที่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการวัดซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง ดังนี้

1. การวัดพัฒนาการโดยโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว

ไทสัคคี และ เมอริดิท (Tisak & Meredith, 1990) และ เรคอฟ (Raykov, 1994, อ้างถึงใน นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542, หน้า 265) ได้พัฒนาวิธีการวัดพัฒนาการโดยใช้หลักการว่า คะแนนสังเกตได้หรือคะแนนที่วัดแต่ละครั้งประกอบด้วยองค์ประกอบร่วมพัฒนาการ และองค์ประกอบเฉพาะกับความคลาดเคลื่อนของหน่วยตัวอย่าง กล่าวคือ คะแนนที่วัดได้ (Y) ประกอบด้วย องค์ประกอบร่วมที่สะท้อนถึงคะแนนจริง (T) และองค์ประกอบเฉพาะซึ่งรวมทั้งความคลาดเคลื่อนในการวัด (e) เขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$Y = w(T) + e$$

เมื่อ w เป็นน้ำหนักองค์ประกอบ (factor loading) หลักการวัดดังกล่าวนี้เป็นหลักของการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยทั่วไป แต่ในการวัดพัฒนาการนี้ องค์ประกอบร่วมสำหรับตัวแปรแฝงพัฒนาการที่มีตัวบ่งชี้ได้ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปและเก็บข้อมูลเพื่อการวัดพัฒนาการเป็นการวัดซ้ำตั้งแต่ 3 ครั้งขึ้นไป

ไทสัคคี และเมอริดิท(Tisak & Meredith, 1990) และ เรคอฟ (Raykov, 1994 อ้างถึงใน ประสิทธิ์ ไชยกาล, 2539, หน้า 13) ได้นำเสนอโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวจำนวน 3 โมเดล ได้แก่ 1) โมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว (baseline longitudinal factor analysis model) 2) โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว (longitudinal factor analysis with single indicator model) และ โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัด

ด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว (longitudinal factor analysis with several indicator model) รายละเอียดของแต่ละโมเดลมีดังนี้

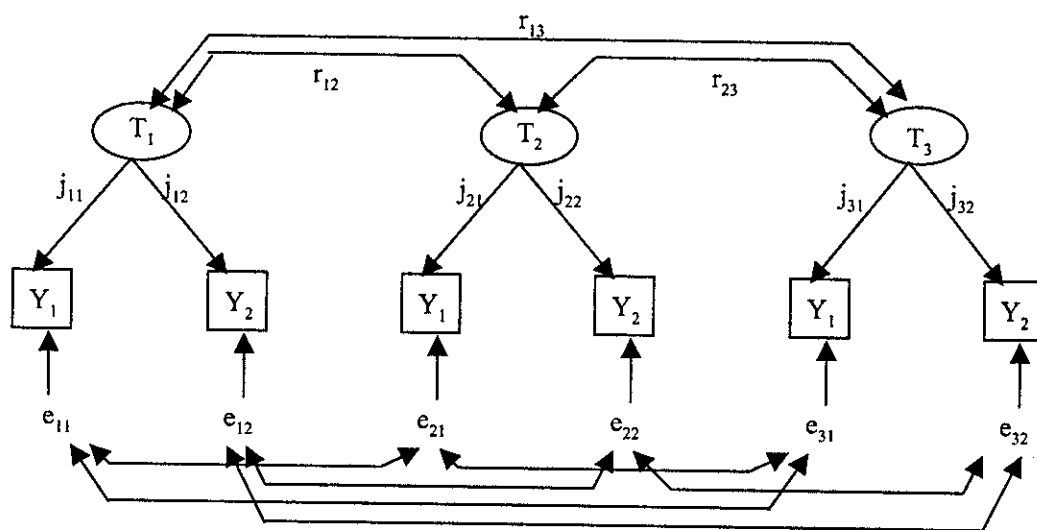
1.1 โมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว

โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว มีแนวคิดว่าจะแนบคิของแต่ละบุคคลที่วัดตัวแปรหนึ่ง ๆ ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ($Y_{m,t,n}$) จะประกอบไปด้วยคะแนนสองส่วนคือ คะแนนองค์ประกอบร่วม (common factor score) และคะแนนองค์ประกอบเฉพาะ (unique factor score) ของแต่ละบุคคลที่วัดตัวแปรนั้น ในช่วงเวลานั้น สามารถเขียนในรูปสมการที่ 1 ได้

$$Y_{m,t,n} = j_{m,t} T_{t,n} + U_{m,t,n} \quad (1)$$

เมื่อ $Y_{m,t,n}$ คือ	คะแนนคิในการวัดตัวแปรที่ m ของคนที่ n ในช่วงเวลา t
$T_{t,n}$ คือ	คะแนนองค์ประกอบร่วมของคนที่ n ในการวัดครั้งที่ t
$U_{m,t,n}$ คือ	คะแนนองค์ประกอบเฉพาะในการวัดตัวแปรที่ m ในช่วงเวลาที่ t
$j_{m,t}$ คือ	น้ำหนักองค์ประกอบในการวัดตัวแปรที่ m ในช่วงเวลาที่ t

จากสมการ 1 จะเห็นได้ว่าคะแนนเบี่ยงเบนของการวัดตัวแปรที่ m ของคนที่ n ในช่วงเวลา t ที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ย ประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วน ส่วนแรกคือองค์ประกอบร่วม ($T_{t,n}$) ซึ่งเป็นผลคูณของคะแนนองค์ประกอบร่วมกับน้ำหนักองค์ประกอบ (factor loading) และส่วนที่สองคือ คะแนนองค์ประกอบเฉพาะ ($U_{m,t,n}$) หรือความคลาดเคลื่อนในการวัด ($e_{m,t,n}$) นั้นเอง ในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวนี้ องค์ประกอบร่วมที่วัดในแต่ละช่วงเวลาจะมีความสัมพันธ์กัน ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้จะบอกให้ทราบว่าองค์ประกอบร่วมที่วัดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง สามารถเป็นตัวทำนายขององค์ประกอบร่วมที่วัดในช่วงเวลาที่ถัดไป โมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว สามารถเขียน ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว

จากภาพ 1 ตัวแปรแฝง T_1 , T_2 และ T_3 เป็นองค์ประกอบร่วมที่เป็นคะแนนจริง (true score) ที่สนใจศึกษาว่ามีความเปลี่ยนแปลงหรือมีพัฒนาการอย่างไร แต่ไม่สามารถวัดคะแนนจริงตัวนี้ได้โดยตรง ต้องวัดจากตัวบ่งชี้ (indicators) ซึ่งเป็นตัวแปรสังเกตได้ (observed variables) ที่วัดในช่วงเวลา t_1 , t_2 และ t_3 ตามลำดับ โดยวัดจากตัวแปรสังเกตได้ 2 ตัวคือ Y_1 และ Y_2 เมื่อพิจารณาจากภาพ 1 ประกอบกับสมการ (1) จะเห็นได้ว่าตัวแปรสังเกตได้ที่วัดในช่วงเวลาต่างกันจะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญสองส่วน ส่วนแรกคือองค์ประกอบร่วมซึ่งเป็นผลคูณของคะแนนองค์ประกอบร่วมกับน้ำหนักองค์ประกอบ ส่วนที่สองคือ คะแนนองค์ประกอบเฉพาะ เมื่อ $j_{11}, j_{12}, \dots, j_{32}$ คือน้ำหนักองค์ประกอบ ส่วน $e_{11}, e_{12}, \dots, e_{32}$ หมายถึง องค์ประกอบเฉพาะ คือความคลาดเคลื่อนในการวัดนั่นเอง นอกจากนี้้องค์ประกอบร่วมที่วัดในแต่ละช่วงเวลามีความสัมพันธ์กันได้ ซึ่งแสดงไว้ด้วยลูกศรสองทิศทางและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงองค์ประกอบร่วม (r_{12} , r_{23} และ r_{13}) ที่เป็นคะแนนจริง ถ้าขนาดของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าสูง แสดงว่าคะแนนจริงในการวัดครั้งแรกจะสามารถทำนายคะแนนจริงในการวัดครั้งต่อไปได้

โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว มีข้อดกลงเบื้องต้นที่สำคัญสามประการ (Tisak & Meredith, 1990, 128-132 อ้างถึงใน นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542, หน้า 267) ประการแรกคือตัวแปรแฝงองค์ประกอบร่วม และเทอมความคลาดเคลื่อน / องค์ประกอบเฉพาะ ต้องไม่สัมพันธ์กันในช่วงเวลาวัดช่วงเดียวกันและระหว่างช่วงเวลาการวัด ข้อดกลงเบื้องต้นส่วนแรกเป็นข้อดกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยทั่วไป เพราะในการวัดส่วนที่เป็นคะแนนจริงและ

เทอมส่วนที่เป็นเทอมความคลาดเคลื่อนต้องไม่สัมพันธ์กัน สำหรับข้อตกลงเบื้องต้นส่วนที่สองที่ว่า องค์ประกอบร่วมและเทอมความคลาดเคลื่อนที่วัดในช่วงเวลาต่างกันต้องไม่สัมพันธ์กัน นับเป็น ข้อตกลงเบื้องต้นที่สำคัญ ในโมเดลจึงไม่มีการโยงเส้น / ลูกศรระหว่างองค์ประกอบร่วมและเทอม ความคลาดเคลื่อน ประการที่สอง คือข้อตกลงเบื้องต้นที่ว่าเทอมความคลาดเคลื่อนของตัวบ่งชี้ที่วัด ในช่วงเวลาการวัดช่วงเดียวกันต้องไม่สัมพันธ์กันแต่เทอมความคลาดเคลื่อนของตัวบ่งชี้ตัวเดียวกันที่วัด ในช่วงเวลาการวัดช่วงต่างกันมีความสัมพันธ์กันได้ ข้อตกลงเบื้องต้น ส่วนแรกเป็นข้อตกลง เบื้องต้นของการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยทั่วไป ส่วนข้อตกลงเบื้องต้นส่วนที่สองเป็นข้อตกลง เบื้องต้นที่สมเหตุสมผลตามสภาพความเป็นจริง และได้แสดงด้วยลูกศรสองหัวที่เชื่อมโยงเทอม ความคลาดเคลื่อนของตัวบ่งชี้ตัวเดียวกันที่วัดในช่วงเวลาต่างกัน ดังแสดงในภาพ 1 ประการที่สาม คือ ข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับลักษณะการแจกแจงของตัวแปร กล่าวคือเทอมความคลาดเคลื่อนต้อง มีการแจกแจงแบบปกติพหุ (multivariate normal) ข้อตกลงเบื้องต้นข้อนี้ทำให้สามารถวิเคราะห์ และประมาณค่าพารามิเตอร์ได้โดยใช้วิธีไลค์ลิฮูดสูงสุด (maximum likelihood)

ในการศึกษาการวัดการเปลี่ยนแปลงนั้น นักวิจัยให้ความสำคัญกับความคงที่ของ พารามิเตอร์องค์ประกอบเป็นอย่างยิ่ง เพราะนักวิจัยต้องการตอบคำถามการวิจัยที่ว่าความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรสังเกตได้กับองค์ประกอบร่วม ซึ่งวัดในช่วงเวลาที่ต่างกันยังคงมีความคงที่หรือไม่ การศึกษาความสัมพันธ์ดังกล่าวในการวิเคราะห์องค์ประกอบก็คือการพิจารณาความคงที่ของ พารามิเตอร์ของคะแนนองค์ประกอบในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่มีตัวแปรแฝง ถึงแม้ว่าจะวัดองค์ประกอบดังกล่าวในช่วงเวลาที่ต่างกัน ค่าพารามิเตอร์ขององค์ประกอบนี้ก็ยังมีค่า คงที่เช่นเดิม หรือกล่าวว่าการวัดความคงที่ของโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ก็คือความไม่ แปรเปลี่ยนขององค์ประกอบที่วัดในช่วงเวลาที่ต่างกัน ในทางกลับกัน การที่องค์ประกอบที่วัดใน ช่วงเวลาที่แตกต่างกันไม่มีความคงที่ ย่อมแสดงว่าพารามิเตอร์ขององค์ประกอบดังกล่าวเกิดการ เปลี่ยนไปในช่วงเวลาที่ทำการวัดต่างกัน (Tisak & Meredith, 1990 อ้างถึงในประสิทธิ์ ไชยกาล, 2539, หน้า 15)

สิ่งที่พิจารณาอีกประการหนึ่งในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของ องค์ประกอบก็คือ การพิจารณาความไม่แปรเปลี่ยนของแบบแผนขององค์ประกอบ (invariance of factor pattern) จุดมุ่งหมายของการวิเคราะห์ความไม่แปรเปลี่ยนของแบบแผนขององค์ประกอบใน โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบ ก็คือการตรวจสอบว่าแบบแผนขององค์ประกอบเดียวกันในกลุ่ม ประชากรที่แตกต่างกันจะมีความแตกต่างกันหรือไม่ ดังนั้นเมื่อผลการวิเคราะห์องค์ประกอบพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้กับตัวแปรแฝงของประชากรในกลุ่มมีความคงที่ ย่อมแสดง ว่าแบบแผนขององค์ประกอบที่วัดจากกลุ่มประชากรที่แตกต่างกันไม่มีความแปรเปลี่ยน หรือกล่าว

ได้ว่าแบบแผนขององค์ประกอบของประชากรในแต่ละกลุ่มเป็นแบบแผนเดียวกัน ในการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ความคงที่และความไม่แปรเปลี่ยนของโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบ มีความสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพราะ โมเดลดังกล่าวสามารถเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาและระหว่างกลุ่มประชากรได้ด้วย

1.2 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว

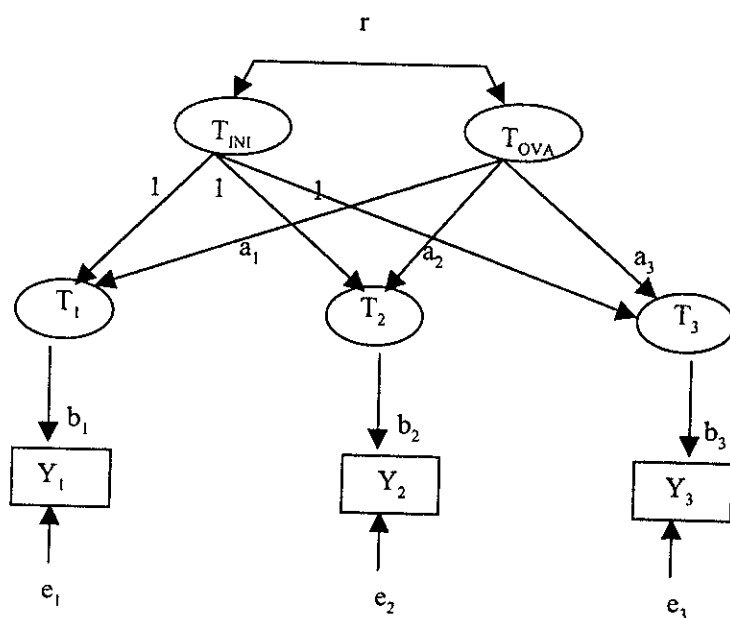
เรคอฟ (Raykov, 1994, p. 63) ได้นำวิธีการวัดองค์ประกอบระยะยาวนี้มาประยุกต์ใช้ในการวัดการเปลี่ยนแปลงและใช้ในการศึกษาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง ในโมเดลการวัด รูปสมการโครงสร้างที่พัฒนาขึ้นจึงเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวโดยใช้ข้อมูลจากการวัดหลาย ๆ ครั้ง โมเดลที่พัฒนาขึ้นนี้ทำการวัดองค์ประกอบ โดยใช้ตัวบ่งชี้เพียงตัวเดียว

โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว เป็นโมเดลที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาจากแนวคิดการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว เพื่อใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระยะยาว โมเดลนี้มีแนวคิดในการวัดตัวแปรตามทฤษฎีการวัดแบบดั้งเดิม (CTT) โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียวนี้อธิบายว่า คะแนนดิบของตัวแปรสังเกตได้ที่วัดในแต่ละช่วงเวลาจะประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญซึ่งอยู่ในรูปตัวแปรแฝง 3 ส่วน ส่วนแรกคือ องค์ประกอบในสถานะเริ่มต้น (Initial factor ; T_{I_1}) ส่วนที่สองคือ องค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด (Overall change factor ; T_{OVA}) องค์ประกอบในส่วนนี้จะเป็ผลคูณของน้ำหนักองค์ประกอบกับคะแนนการเปลี่ยนแปลงที่อยู่ในรูปตัวแปรแฝงระหว่างการวัดครั้งแรกกับการวัดครั้งสุดท้าย และส่วนที่สามคือองค์ประกอบเฉพาะ (δ_k) ก็คือความคลาดเคลื่อนในการวัด (e_k) นั่นเอง จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถเขียนในรูปสมการที่ 2 ได้

$$T_k = T_1 + a_k(T_k - T_1) + (\delta_k) \quad (2)$$

เมื่อ	T_k	คือ คะแนนจริงในรูปตัวแปรแฝงในการวัดครั้งที่ k
	a_k	คือ ค่าพารามิเตอร์ที่บ่งชี้อัตราการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
	δ_k	คือ องค์ประกอบเฉพาะของตัวแปรที่วัดในแต่ละครั้ง คือเทอมความคลาดเคลื่อนในการวัด (e_k)

จากสมการ 2 นำมาเขียนอธิบายในรูปโมเดล ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว

เมื่อพิจารณาภาพ 2 กับสมการ 2 จะพบว่า ตัวแปรสังเกตได้ Y_1 , Y_2 และ Y_3 เป็นตัวแปรตัวเดียวกันที่วัดในช่วงเวลาต่างกัน คือ t_1 , t_2 และ t_3 ตามลำดับ คะแนนดิบของตัวแปร Y_1 , Y_2 และ Y_3 ประกอบด้วยองค์ประกอบสามส่วน ส่วนแรกคือผลคูณขององค์ประกอบสถานะเริ่มต้น (T_{INI}) กับน้ำหนักองค์ประกอบของสถานะเริ่มต้น ซึ่งกำหนดให้มามีค่าเป็น 1 ในการวัดทุกช่วงเวลา เพื่อให้องค์ประกอบสถานะเริ่มต้นในการวัดทุกครั้งมีค่าเท่ากัน ส่วนที่สองคือผลคูณของคะแนนการเปลี่ยนแปลง (T_{OVA}) กับน้ำหนักองค์ประกอบต่อองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด (a_k) โดยกำหนดให้น้ำหนักองค์ประกอบในการวัดครั้งแรกเป็นศูนย์ เนื่องจากถือว่าในการวัดครั้งแรกยังไม่มี การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น และส่วนที่สามคือ องค์ประกอบเฉพาะ (δ_k)

1.3 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว

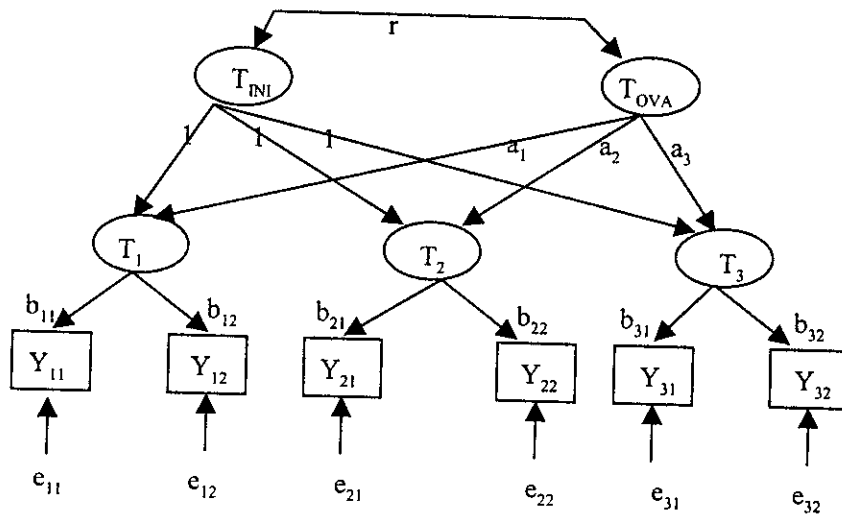
โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว ใช้แนวคิดในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของโมเดลตามแนวคิดทฤษฎีการวัดแบบดั้งเดิม โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัวนี้สามารถเขียนได้ในรูปของสมการที่ 3

$$T_k = T_i + a_k(T_p - T_i) + \delta_k \quad (3)$$

เมื่อ $T_1, T_2, \dots, T_p$ คือ คะแนนองค์ประกอบร่วมในรูปตัวแปรแฝงที่ทำการวัด
ครั้งที่ $1, 2, \dots, p$

δ_k คือ องค์ประกอบเฉพาะของตัวแปรที่วัดในแต่ละครั้ง ซึ่งก็คือเทอม
ความคลาดเคลื่อนในการวัด

จากสมการ 3 สามารถเขียนแสดงในรูปของโมเดล ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว

เมื่อพิจารณาจากสมการ 3 กับภาพ 3 จะพบว่า องค์ประกอบร่วมที่วัดในช่วงเวลาต่างกัน ประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญสามส่วน ส่วนแรกคือ องค์ประกอบในสถานะเริ่มต้น (T_{INI}) ส่วนที่สองคือ องค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด (T_{OVA}) และส่วนที่สามคือ องค์ประกอบเฉพาะ (δ_k) หรือเทอมความคลาดเคลื่อนในการวัด องค์ประกอบร่วมที่วัดในแต่ละช่วงเวลาวัดด้วยตัวแปรสังเกตได้หลาย ๆ ตัว นั่นคือ T_1, T_2 และ T_3 เป็นองค์ประกอบร่วมของตัวแปร Y_1 และ Y_2 ซึ่งวัดในแต่ละช่วงเวลา t_1, t_2 และ t_3 ตามลำดับ ดังนั้นคะแนนดิบที่วัดจากตัวแปรสังเกตได้ Y_1 และ Y_2 จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่สำคัญสองส่วน คือ องค์ประกอบร่วมกับองค์ประกอบเฉพาะ ในขณะเดียวกันองค์ประกอบร่วมที่วัดในแต่ละช่วงเวลา ประกอบด้วยส่วนสำคัญสามส่วน ส่วนแรกคือ องค์ประกอบในสถานะเริ่มต้น (T_{INI}) ส่วนที่สองคือ องค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด (T_{OVA}) และส่วนที่สามคือ องค์ประกอบเฉพาะ (δ_k) หรือเทอมความคลาดเคลื่อนในการวัดนั่นเอง คำนวณน้ำหนักองค์ประกอบ $b_{11}, \dots, b_{1,q_1}; b_{21}, \dots, b_{p,q_p}$ เป็นค่าพารามิเตอร์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์

ระหว่างตัวแปรสังเกตได้กับองค์ประกอบร่วมที่วัดในแต่ละช่วงเวลา ส่วน $a_1, \dots, a_p$ เป็นค่าพารามิเตอร์ของโมเดลอีกชุดหนึ่งที่ใช้ในการอธิบายองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงที่วัดในแต่ละช่วงเวลาซึ่งค่าพารามิเตอร์ของโมเดลทั้งหมดนี้จะถูกประมาณค่าจากข้อมูล อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากภาพ 3 จะพบว่ามีกำหนดให้ลูกศรทิศทางเดียว จากองค์ประกอบ T_{1t_1} ไปยังองค์ประกอบร่วม T_1 , T_2 และ T_3 มีค่าเท่ากับ 1 ทำให้องค์ประกอบในสถานะเริ่มต้นของตัวแปรทั้งสามมีค่าเท่ากัน นอกจากนี้ในการวัดองค์ประกอบครั้งแรก ถือว่าเป็นการวัดองค์ประกอบในสถานะเริ่มต้นยังไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ a_1 มีค่าเท่ากับศูนย์

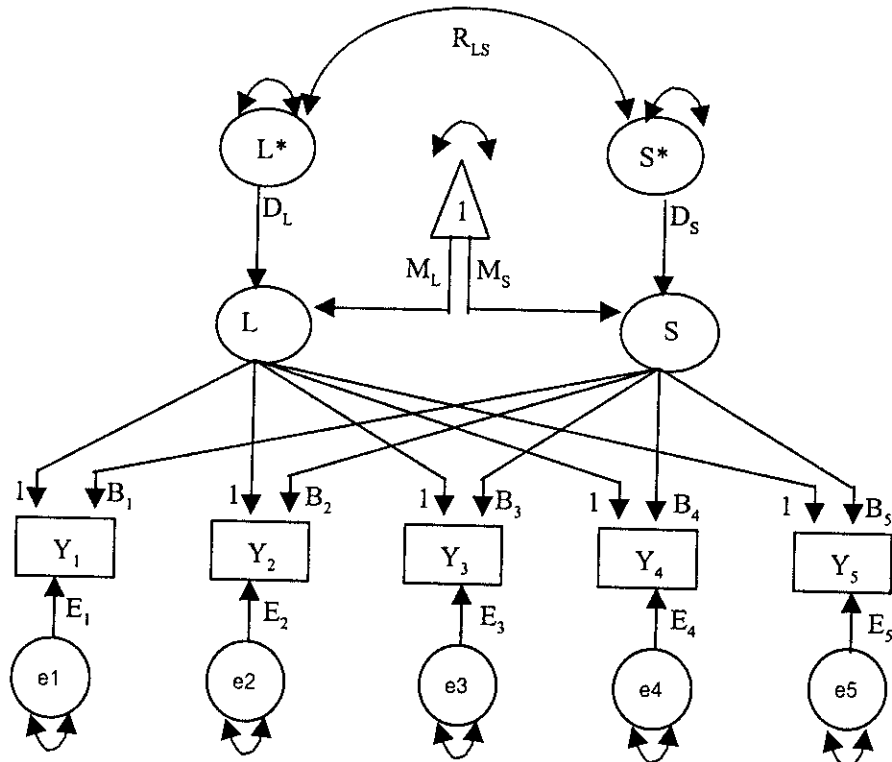
หลักการวิเคราะห์การวัดพัฒนาการด้วยโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวประกอบด้วย 3 ขั้นตอน (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542, หน้า 268) ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 คือ การวิเคราะห์โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่มีความคงที่ (stationarity longitudinal factor analysis) เพื่อตอบคำถามการวิจัยที่ว่าคะแนนพัฒนาการที่วัดผลต่างขององค์ประกอบร่วมในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวมีค่าเป็นเท่าไร หลักการวิเคราะห์ต้องวิเคราะห์ 2 ครั้ง ครั้งแรกเป็นการวิเคราะห์ตามโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่เป็นโมเดลพื้นฐาน(base) ครั้งที่สองเป็นการวิเคราะห์ตามโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวเพื่อตรวจสอบว่าน้ำหนักองค์ประกอบ มีความคงที่ ระหว่างช่วงเวลาการวัดหรือไม่ ถ้ามีความคงที่แสดงว่าองค์ประกอบร่วมมีค่าคงที่ตลอดช่วงเวลาการวัด ถ้าไม่มีความคงที่แสดงว่ามีความเปลี่ยนแปลงหรือมีพัฒนาการระหว่างช่วงเวลาการวัด ขั้นตอนที่ 2 คือ การวิเคราะห์โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่ไม่แปรเปลี่ยน (invariance longitudinal factor analysis) เพื่อตอบคำถามการวิจัยที่ว่าคะแนนพัฒนาการที่วัดจากผลต่างขององค์ประกอบในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว มีค่าคงที่สำหรับทุกกลุ่มประชากรในการวิจัยหรือไม่อย่างไร หลักการวิเคราะห์ต้องวิเคราะห์ข้อมูล 2 ครั้ง ครั้งแรกเป็นการวิเคราะห์ตามโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว แต่ต้องใส่ข้อมูลเป็นหลายชุดตามจำนวนกลุ่มประชากร ครั้งที่สอง เป็นการวิเคราะห์ตรวจสอบความไม่แปรเปลี่ยนของน้ำหนักองค์ประกอบระหว่างกลุ่มประชากรทุกกลุ่ม ขั้นตอนที่ 3 คือ การวิเคราะห์โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่มีความคงที่ (stationarity, invariance longitudinal factor analysis) เพื่อตอบคำถามการวิจัยที่ว่า คะแนนพัฒนาการเมื่อวัดจากผลต่างขององค์ประกอบร่วมในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว มีค่าเป็นเท่าไร และค่าคะแนนพัฒนาการมีค่าคงที่สำหรับทุกกลุ่มประชากรในการวิจัยหรือไม่ อย่างไร

2. การวัดพัฒนาการ โดยโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง

โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง พัฒนาโดย เมคอาร์เดิล และ สไตน์ (McArdle

163879

& Epstein, 1987) เมอริคิท และ ไทคักคี่ (Meredith & Tisak, 1990) เมคฮาร์เดล และ ฮามากามิ (McArdle & Hamagami, 1995, อ้างถึงใน นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542, หน้า 277) ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงในการวิเคราะห์สำหรับการวัด 5 ครั้ง

สัญลักษณ์ในภาพ 4 มีความหมายดังนี้

$Y_1, Y_2, \dots, Y_5$ คือ ตัวแปรสังเกตได้จากการวัด 5 ครั้ง

L คือ ตัวแปรแฝงระดับ (level) คะแนนในการวัดครั้งแรก

S คือ ตัวแปรแฝงความชัน (slope) หรืออัตราพัฒนาการ

L^* คือ ตัวแปรแฝงความคลาดเคลื่อนของตัวแปรแฝง L

S^* คือ ตัวแปรแฝงความคลาดเคลื่อนของตัวแปรแฝง S

$e_1, e_2, \dots, e_5$ คือ ตัวแปรแฝงความคลาดเคลื่อนในการวัด 5 ครั้ง



คือ ตัวแปรสังเกตได้ซึ่งมีค่าคงที่ (constant) ในที่นี้เท่ากับ 1

$B_1, B_2, \dots, B_5$ คือ พารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบของตัวแปรสังเกตได้ Y

M_L คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรแฝง L

M_S คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรแฝง S

D_L	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรแฝง L
D_S	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรแฝง S
$E_1, E_2, \dots, E_5$	คือ ส่วนความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรสังเกตได้ Y
R_{LS}	คือ ความแปรปรวนร่วมระหว่าง L^* และ S^*
	คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย
	คือ ความแปรปรวน/ความแปรปรวนร่วม

สมการทางคณิตศาสตร์จากภาพ 4 ในโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง แสดงได้ดัง
สมการที่ 4 – 6

$$Y_{t,n} = L_n + B_t S_n + E_{t,n} \quad (4)$$

$$S_n = M_t(1) + D_S S^* \quad (5)$$

$$L_n = M_t(1) + D_L L^* \quad (6)$$

จากสมการ 4 อธิบายได้ว่า คะแนนสังเกตได้ของคนที่ n ในการวัดครั้งที่ t ได้มาจากคะแนนในการวัดครั้งแรก บวกกับผลคูณของค่าน้ำหนักในช่วงเวลาที่ t กับคะแนนพัฒนาการของตนเอง รวมกับความคลาดเคลื่อนในการวัดในแต่ละครั้ง ของแต่ละคน สมการ 5 อธิบายได้ว่าคะแนนพัฒนาการของแต่ละคน มาจากค่าเฉลี่ยของคะแนนพัฒนาการคูณกับค่าคงที่ 1 รวมกับผลคูณระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนพัฒนาการกับค่าความคลาดเคลื่อนของคะแนนพัฒนาการ สมการ 6 อธิบายได้ว่า คะแนนในการวัดครั้งแรกของแต่ละคน มาจากค่าเฉลี่ยของคะแนนในการวัดครั้งแรกของทุกคนคูณกับค่าคงที่ 1 รวมกับผลคูณระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าความคลาดเคลื่อนของคะแนนในการวัดครั้งแรก

โดยที่ L_n เป็นตัวแปรแฝงระดับซึ่งบอกระดับความแตกต่างระหว่างบุคคลของผลสัมฤทธิ์ในการวัดครั้งแรก ตัวแปรนี้เป็นค่าคงที่ของแต่ละบุคคลตลอดทุกช่วงเวลาที่ทำการศึกษา S_n เป็นตัวแปรแฝงความชัน ที่บอกความแตกต่างของอัตราการเปลี่ยนแปลง เครื่องหมาย บวกหรือลบของคะแนนของตัวแปรนี้แสดงทิศทางของการเปลี่ยนแปลง ตัวแปรนี้เป็นค่าคงที่ของแต่ละบุคคล เช่นเดียวกับตัวแปร L_n การส่งผลต่อตัวแปรสังเกตได้ $Y_{t,n}$ ของตัวแปรแฝงความชันสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เพราะว่าตัวแปรนี้จะคูณด้วยน้ำหนักองค์ประกอบ $B_t e_n$ เป็นตัวแปรความคลาดเคลื่อนหรือคะแนนส่วนที่เหลือ (residual score) เป็นตัวแปรสุ่มที่สังเกตไม่ได้ ตัวแปรนี้มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นในทุกช่วงเวลา ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเป็นความคลาดเคลื่อนในการวัด B_t เป็นน้ำหนักองค์ประกอบ (factor loading) จากตัวแปรแฝงความชันไปยังตัวแปรสังเกตได้

มีลักษณะเป็นฟังก์ชันซึ่งนำมาคูณกับค่าความชันในสมการ เพื่ออธิบายค่าตัวแปรสังเกตได้ ตัวแปรนี้สามารถเปลี่ยนค่าได้ตามช่วงเวลา แต่ส่วนใหญ่ในโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงแบบพารามิเตอร์อิสระ มักกำหนดค่า B_1 เท่ากับ 0 และ B_2 เท่ากับ 1 เพื่อใช้เป็นแกนอ้างอิง ส่วนค่าน้ำหนักองค์ประกอบตัวอื่นหลังจากนั้นจะกำหนดให้เป็นพารามิเตอร์อิสระ

ปัจจุบันการวัดการเปลี่ยนแปลงโดยใช้โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงได้มีการพัฒนาไปมาก มีการประยุกต์โมเดลหลายรูปแบบ ได้แก่ การเพิ่มตัวแปรเชิงสาเหตุลงในโมเดล ทำให้สามารถบอกอิทธิพลของตัวแปรเชิงสาเหตุที่มีต่อคะแนนเริ่มต้นและอัตราการเปลี่ยนแปลง การวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงพร้อมกันครั้งละหลายตัวแปร การวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงพหุระดับ ซึ่งทำให้ทราบค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรระดับต่าง ๆ ได้

3. การวัดพัฒนาการโดยโมเดลเชิงเส้นระดับลดหลั่น

ลินเดย์ และ สมิท (Lindley & Smith, อ้างถึงใน นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542, หน้า 292-299) เป็นคนแรกที่น่าเสนอสังกับและคำศัพท์ว่า “hierarchical linear models” ในการประชุมสัมมนาเรื่องการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิคของเบย์ส เมื่อปี ค.ศ. 1972

ข้อมูลในการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์ มีธรรมชาติเป็นข้อมูลที่มีหลายระดับซ้อนกันเป็นระดับลดหลั่น เช่น บุคคลหรือเจ้าหน้าที่ เป็นหน่วยที่ซ้อนอยู่ในองค์กร และองค์กรเป็นหน่วยที่ซ้อนอยู่ในชุมชน การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจึงต้องศึกษาทั้งสามระดับ คือ ระดับบุคคล ระดับองค์กร และระดับชุมชน เพื่อให้ได้ผลการวิจัยที่สมบูรณ์ การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โมเดลเชิงเส้นระดับลดหลั่น เป็นประโยชน์ในการตอบปัญหาวิจัยที่สำคัญ 3 ประการ ประการแรก คือ การประมาณค่าอิทธิพลของตัวแปรภายในหน่วยระดับมหภาคแต่ละหน่วย ให้ได้ผลการประมาณค่าที่ถูกต้องมากขึ้น เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลเป็นรายโรงเรียนเพื่อศึกษานาถอิทธิพลของตัวแปรที่วัดในระดับบุคคล (ระดับจุลภาค) ภายในโรงเรียนแต่ละโรง ประการที่สอง คือ การสร้างโมเดลและการทดสอบโมเดลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรข้ามระดับ ซึ่งจะตอบคำถามเกี่ยวกับขนาดอิทธิพลของตัวแปรระดับมหภาค ที่มีต่อตัวแปรระดับจุลภาค ได้อย่างถูกต้อง ประการที่สาม คือ การประมาณค่าของส่วนประกอบความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วม ซึ่งจะตอบคำถามว่าตัวแปรแต่ละตัวมีความแปรปรวนระหว่างหน่วยในแต่ละระดับมากน้อยเพียงใด

ในกรณีที่มีข้อมูลสองระดับ ตัวแปร Y_{ij} คือ คะแนนสอบของนักเรียนคนที่ i ในโรงเรียนที่ j มีตัวแปร W_j เป็นตัวแปรทำนายในระดับโรงเรียน และมีตัวแปร X_{ij} เป็นตัวแปรทำนายระดับนักเรียน การวิเคราะห์โมเดลเชิงเส้นระดับลดหลั่นมีดังนี้

โมเดลระดับลดหลั่น

ระดับที่ 1 (ระดับนักเรียน)

$$Y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j} X_{ij} + r_{ij}$$

ระดับ 2 (ระดับโรงเรียน)

$$\beta_{0j} = \gamma_{00} + \gamma_{01}W_j + U_{0j}$$

$$\beta_{1j} = \gamma_{10} + \gamma_{11}W_j + U_{1j}$$

โมเดลระดับนักเรียนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และ Y นักวิจัยสามารถวิเคราะห์การสร้างความถดถอยระดับนักเรียนในแต่ละโรงเรียนได้ สมการระดับนักเรียน แสดงว่า นักวิจัยสามารถหาค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามเป็นรายโรงเรียนได้ มีค่าเท่ากับ β_{0j} และหาค่าอิทธิพล β_{1j} ของตัวแปรทำนาย X ที่มีต่อตัวแปร Y ได้ โดยที่สัมประสิทธิ์การถดถอย β_{1j} เป็นสัมประสิทธิ์แบบสุ่ม เมื่อตรวจสอบว่ามีความแปรปรวนจริง นักวิจัยสามารถนำค่าเฉลี่ย และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยไปวิเคราะห์ข้อมูลในระดับโรงเรียนได้ ดังสมการในโมเดลระดับ 2 เมื่อนำโมเดลทั้งสองระดับมาวิเคราะห์ร่วมกันจะได้โมเดล ดังนี้

$$\text{โมเดลรวม} \quad Y_{ij} = \gamma_{10}X_{ij} + \gamma_{01}W_j + \gamma_{11}X_{ij}W_j + U_{0j} + U_{1j}X_{ij} + r_{ij}$$

จากโมเดลพื้นฐานข้างต้น นำมาสร้างเป็นโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร จะสามารถขยายโมเดลให้ครอบคลุมโมเดลย่อยได้ต่อไปนี้

1. โมเดลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว และมีอิทธิพลสุ่ม เป็นโมเดลที่ไม่มีตัวแปรทำนายในระดับ 1 และ 2 เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โมเดลไม่มีเงื่อนไขเต็มรูป
2. โมเดลที่มีสัมประสิทธิ์สุ่มในระดับ 1 คือค่า β_{0j}
3. โมเดลที่มีค่าเฉลี่ยระดับ 1 เป็นตัวแปรตามในระดับ 2 หรือเรียกว่าโมเดลการถดถอยที่มีค่าเฉลี่ยเป็นตัวแปรผล
4. โมเดลการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมแบบทางเดียวมีอิทธิพลสุ่ม เหมือนโมเดลการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมแบบดั้งเดิม แต่มีสัมประสิทธิ์ระดับ 2 เป็นสัมประสิทธิ์สุ่ม
5. โมเดลการถดถอยแบบสัมประสิทธิ์สุ่ม

เนื่องจากลักษณะข้อมูลในการวัดพัฒนาการ เป็นข้อมูลหลายระดับซ้อนกันเป็นระดับลดหลั่น ตามโมเดลเชิงเส้นระดับลดหลั่น จึงสามารถใช้โปรแกรม HLM วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อวัดระดับพัฒนาการได้ แนวคิดเรื่องการวิเคราะห์โมเดลเชิงเส้นระดับลดหลั่น สามารถนำมาวิเคราะห์โมเดลพัฒนาการเชิงเส้นได้ และนำไปใช้ได้หลายกรณี คือ 1) ใช้ในการประมาณค่าเฉลี่ยของโค้งพัฒนาการ และความแตกต่างจากคะแนนพัฒนาการของนักเรียนแต่ละคน 2) การประมาณค่าของความเที่ยงของการวัดตัวแปรเพื่อศึกษาสถานะเริ่มต้น และอัตราการเปลี่ยนแปลง 3) การประมาณค่า

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสภาวะเริ่มต้นกับอัตราพัฒนาการ และ 4) การตรวจสอบโมเดล แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวทำนายระดับนักเรียนกับคะแนนสภาวะเริ่มต้น และอัตราพัฒนาการ

กล่าวโดยสรุป การวัดพัฒนาการแนวใหม่ด้วยวิธีการหลัก 3 วิธี วิธีแรก คือ วิธีการวัดพัฒนาการด้วยโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว วิธีที่สอง คือ วิธีวัดพัฒนาการด้วยโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และวิธีที่สาม คือ วิธีการวัดพัฒนาการโดยใช้โมเดลเชิงเส้นระดับลดหลั่น ในแต่ละวิธีจะมีความชัดเจนเมื่อใช้หลักการวิเคราะห์ด้วยโมเดลสมการโครงสร้างเชิงเส้น และมีแนวคิดที่สมเหตุสมผล

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดการวัดพัฒนาการแนวใหม่

เรคอฟ (Raykov, 1994, p. 63) ได้เสนอโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง 2 แบบคือ โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว โมเดลนี้จะวัดองค์ประกอบที่ต้องการวัดการเปลี่ยนแปลงด้วยตัวบ่งชี้เพียงตัวเดียว อีกโมเดลหนึ่งคือ โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว โมเดลนี้จะวัดองค์ประกอบที่ต้องการวัดการเปลี่ยนแปลงด้วยตัวบ่งชี้หลาย ๆ ตัว โมเดลทั้งสองนี้เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ใช้ข้อมูลที่ทำกรวัดซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง เพื่อศึกษาแบบแผนการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบระยะยาวเพื่อจะได้นำสารสนเทศที่มีสาระประโยชน์จากการวัดข้อมูลระยะยาวมาใช้ในการศึกษาแบบแผนการเปลี่ยนแปลง หรือกระบวนการของการพัฒนาการได้อย่างมีประสิทธิภาพ และได้นำเสนอโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอื่น ๆ ที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงด้วย โดยนำเสนอในรูปของโมเดลความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงเส้นหรือโมเดลลิสเรล

วิลเลท และ เซเยอร์ (Willett & Sayer, 1994) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมในการศึกษาพัฒนาการ และเปรียบเทียบ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง 3 โมเดลในการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว โมเดลแรกกำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากัน โมเดลสองประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเป็นอิสระ และโมเดลสามประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดอย่างเป็นอิสระและให้สัมพันธ์กัน ในการศึกษาพฤติกรรมที่เบี่ยงเบนของวัยรุ่น อายุ 11 – 15 ปี โดยใช้ข้อมูลการติดตามผล 5 ครั้ง จำนวน 168 คน พบว่า โมเดลสามมีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือโมเดลสองและโมเดลแรก ตามลำดับ

ประสิทธิ์ ไชยกาล (2539) ได้ทำวิจัยเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างโมเดลลิสเรล 3 แบบ ที่ใช้ในการศึกษาตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ของโรงเรียนสังกัดกรุงเทพมหานคร จำนวน 606 คน โดยวัดตัวแปรที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลง 3 ครั้ง พบว่า โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการ

เปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัวมีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่บ่งชี้อัตราการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝงที่เกิดขึ้นตลอดช่วงเวลามีความคลาดเคลื่อนในการวัดต่ำที่สุด รองลงไปคือ โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว และโมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว ตามลำดับ

วีระศักดิ์ คำล้าน (2540) ได้ศึกษาการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคำศัพท์ภาษาอังกฤษ เป็นการประยุกต์ใช้โมเดลเชิงเส้นพหุระดับโดยใช้โปรแกรมเอชแอลเอ็ม กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 603 คน ทำการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคำศัพท์ภาษาอังกฤษซ้ำ 8 ครั้ง พบว่า กระบวนการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวโดยใช้โปรแกรมเอชแอลเอ็ม สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ได้ครบถ้วน ผลการวิเคราะห์โมเดลไถ้พัฒนาการแบบควอคราติก สามารถอธิบายความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคำศัพท์ภาษาอังกฤษได้สูงกว่าโมเดลพัฒนาการเชิงเส้น นักเรียนมีอัตราการเรียนรู้ในคำศัพท์เฉลี่ย .38 คำต่อ 2 สัปดาห์ และมีอัตราเร่งเท่ากับ $-.02$ ความเที่ยงในการประมาณค่าสถานภาพเริ่มต้น อัตราพัฒนาการ และอัตราเร่งเท่ากับ .99 .58 และ .43 ตามลำดับ สถานภาพเริ่มต้นมีความสัมพันธ์ทางบวกกับอัตราพัฒนาการและอัตราเร่ง และตัวแปรเซาว์ปัญญากับแรงจูงใจส่งอิทธิพลต่อสถานภาพเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ ตัวแปรเจตคติและตัวแปรคัมมีเพสหญิงส่งอิทธิพลต่ออัตราเร่งอย่างมีนัยสำคัญ

อิทธิพงษ์ ตั้งสกุลเรืองไโล (2541) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลไถ้พัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง 4 รูปแบบ ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของพัฒนาการทางกายและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษา คือ โมเดลพัฒนาการเชิงเส้นไถ้ที่มีตัวแปรแฝงและกำหนดค่าพารามิเตอร์อิสระ โมเดลพัฒนาการเชิงเส้นไถ้ที่มีตัวแปรแฝงและกำหนดค่าพารามิเตอร์คงที่ โมเดลพัฒนาการเชิงเส้นตรง และโมเดลพัฒนาการพื้นฐานที่ไม่มีค่าความชัน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักเรียนประถมศึกษาในสังกัดกรุงเทพมหานครและกรมสามัญศึกษา จำนวน 406 คน ในสังกัดสำนักงานการประถมศึกษาและจังหวัดพิษณุโลก จำนวน 592 คน ทำการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนซ้ำ 5 ครั้ง พบว่า โมเดลไถ้พัฒนาการผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนมีลักษณะเป็นเส้นไถ้พาราโบลาคว่ำ ในขณะที่น้ำหนักและส่วนสูงของนักเรียนเป็นเส้นไถ้พาราโบลาหงาย ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลไถ้พัฒนาการ พบว่า โมเดลลิสเรลในรูปโมเดลพัฒนาการเชิงเส้นไถ้ที่มีตัวแปรแฝงและกำหนดค่าพารามิเตอร์อิสระชนิดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากันมีประสิทธิภาพในการศึกษา

พัฒนาการเกี่ยวกับการวัดการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวของพัฒนาการด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ และพัฒนาการทางกายภาพด้านน้ำหนักและส่วนสูงได้ดีที่สุด

มนต์ทิศา ไชยแก้ว (2542) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงระยะยาวโดยใช้โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงเมื่ออัตราการขาดหายของข้อมูล ช่วงเวลาการวัดและจำนวนครั้งที่วัดแตกต่างกัน โมเดลโค้งพัฒนาการที่ใช้เปรียบเทียบคือ โมเดลที่มีข้อมูลครบสมบูรณ์จากการวัดระยะยาว 5 ครั้ง กับโมเดลที่มีการวัดไม่ครบสมบูรณ์และโมเดลที่มีข้อมูลขาดหาย ข้อมูลสำหรับการวิจัยเป็นข้อมูลทุติยภูมิรวม 4 ชุด ชุดแรกเป็นฐานข้อมูลการวัดระยะยาว 5 ครั้ง ของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 สังกัดกรุงเทพมหานคร จำนวน 406 คน ฐานข้อมูลอีก 3 ชุด เป็นข้อมูลอัตราการเข้าเรียนระดับประถมศึกษา มัธยมศึกษาและอุดมศึกษาจากประเทศต่าง ๆ จำนวน 125, 118 และ 112 ประเทศ เก็บข้อมูลในปี ค.ศ. 1975 1980 1985 1990 และ 1995 ตามลำดับ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของโมเดลที่มีการวัดไม่ครบสมบูรณ์กับโมเดลที่มีการวัดครบสมบูรณ์ส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่า .70 โดยโมเดลที่วัด 4 ครั้งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกว่าโมเดลที่ช่วงระยะเวลาที่วัดสั้น ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยระหว่างการเปลี่ยนแปลงระยะยาวจากโมเดลที่มีการวัดครบสมบูรณ์กับโมเดลที่วัดได้ 3 ครั้งมีค่าสูงกว่าโมเดลที่วัดได้ 4 ครั้ง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของโมเดลที่มีการวัดครบสมบูรณ์กับโมเดลที่มีการขาดหายของข้อมูลดามีค่าสูงกว่าโมเดลที่มีอัตราการขาดหายสูง และ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยระหว่างการเปลี่ยนแปลงระยะยาวจากโมเดลที่มีการวัดครบสมบูรณ์กับโมเดลที่มีอัตราการขาดหายดามีค่าสูงกว่าโมเดลที่มีอัตราการขาดหายสูง

สุภารัตน์ เรืองจันทิก (2542) ได้ศึกษาการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวของความรู้สิ่งแวดลอมระหว่างโมเดลเอชแอลเอ็ม และโมเดลลิสเรล ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสิ่งแวดลอม ทำการวัดตัวแปรความรู้สิ่งแวดลอมซ้ำ 7 ครั้ง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ปีการศึกษา 2541 ในจังหวัดศรีสะเกษ จำนวน 509 คน พบว่า ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสถานภาพเริ่มต้น พบว่า ในโมเดลทั้ง 2 โมเดล ตัวแปรประสบการณ์ในการเข้าร่วมกิจกรรมเกี่ยวกับสิ่งแวดลอมมีอิทธิพลต่อสถานภาพเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ ตัวแปรเพศไม่มีอิทธิพลต่อสถานภาพเริ่มต้น ส่วนตัวแปรเจตคติต่อสิ่งแวดลอมที่ทำการวิเคราะห์ด้วยโมเดลเอชแอลเอ็มมีอิทธิพลต่อสถานภาพเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ตัวแปรเจตคติต่อสิ่งแวดลอมที่ทำการวิเคราะห์ด้วยโมเดลลิสเรลไม่มีอิทธิพลต่อสถานภาพเริ่มต้น ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงทั้ง 2 โมเดล พบว่า ตัวแปรเจตคติต่อสิ่งแวดลอมมีอิทธิพลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของความรู้ด้านสิ่งแวดลอมอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนตัวแปรเพศและตัวแปรประสบการณ์ในการ

เข้าร่วมกิจกรรมเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม ไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลง การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสถานภาพเริ่มต้นและอัตราการเปลี่ยนแปลงทั้ง 2 โมเดล พบว่าสถานภาพเริ่มต้นมีความสัมพันธ์ทางบวก กับอัตราการเปลี่ยนแปลง อย่างมีนัยสำคัญ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวด้วยโมเดลลิสเรลสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงระยะยาวได้ดีกว่าโมเดลเอชแอลเอ็ม เนื่องจากโมเดลมีความคลาดเคลื่อนที่ต่ำกว่า

อัญชลี สิทธิกุลธร (2543) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระยะยาวเพื่อพัฒนาโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงแบบพหุระดับของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคำศัพท์ภาษาอังกฤษ วิเคราะห์ความสอดคล้องของโมเดลที่พัฒนากับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยใช้เทคนิคโมเดลสมการโครงสร้างเชิงเส้น และศึกษาอิทธิพลของคุณลักษณะครู และเชาว์ปัญญาของนักเรียนที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคำศัพท์ภาษาอังกฤษของนักเรียน กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนโรงเรียนประถมศึกษาปีที่ 6 เขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 365 คน และครู 11 คน ข้อมูลสำหรับการวิจัยเป็นข้อมูลระยะยาววัดซ้ำ 4 ครั้ง พบว่า อัตราพัฒนาการของนักเรียนในระดับภายในกลุ่ม มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อตัวแปรผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคำศัพท์ภาษาอังกฤษจากการวัดทั้ง 4 ครั้ง เท่ากับ 0, 1, 1.372, 1.467 ตามลำดับ และอัตราการพัฒนาการของนักเรียนในระดับระหว่างกลุ่ม มีอิทธิพล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคำศัพท์ภาษาอังกฤษจากการวัดทั้ง 4 ครั้ง เท่ากับ 0, 1, 0.533, 1.454 ตามลำดับ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงแบบพหุระดับของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคำศัพท์ภาษาอังกฤษมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ตัวแปรคณะที่ครูจบการศึกษา และตัวแปรการศึกษาขั้นสูงสุดที่ครูสำเร็จการศึกษา มีอิทธิพลทางตรงกับตัวแปรวิธีการสอนของครูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยมีอิทธิพลเท่ากับ $-.169$ และ $-.456$ ตามลำดับ ตัวแปรคณะที่ครูจบการศึกษามีอิทธิพลเท่ากับ $.489$ ตัวแปรแฝงความชัน หรือพัฒนาการของผู้เรียนในระดับระหว่างกลุ่มมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ตัวแปรวิธีสอนของครูมีอิทธิพลกับคะแนนในระดับตั้งต้นระดับระหว่างกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เท่ากับ $-.346$

สมถวิล วิจิตรวรรณ (2543) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ ระหว่างโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ข้อมูลการวิจัยครั้งนี้ได้จากประชากรนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 469 คน ในโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษา สังกัดสำนักงานการประถมศึกษาจังหวัดสมุทรสงคราม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2542 โดยทำการวัดซ้ำ 5 ครั้ง ในช่วงเวลาต่างกัน การวิเคราะห์ข้อมูลโมเดลพหุระดับใช้โปรแกรม HLM ส่วนโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม EQS ผลการศึกษาพบว่า โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงเป็น

คณิตศาสตร์ที่ตัว ได้แก่ ตัวแปรเจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์ ตัวแปรการรับรู้ความสามารถทางคณิตศาสตร์ ตัวแปรการกำกับตนเองในการเรียนคณิตศาสตร์ และตัวแปรผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ตัวแปรทั้งสี่ตัวนี้มีความสัมพันธ์กันและมีความสำคัญต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ดังนี้

การกำกับตนเองในการเรียน (self – regulated learning) หมายถึง การที่ผู้เรียนมีกลวิธีการรู้คิดของตนเองที่จะวางแผน เตือนและปรับความคิดของตนเอง มีการจัดการและควบคุมความพยายามของตนเอง รวมทั้งการใช้กลวิธีทางปัญญาในการเรียนรู้

การกำกับตนเองในการเรียน มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีการเรียนรู้ปัญญาด้านสังคม (social cognitive theory) ที่เชื่อว่าการกำกับตนเองในการเรียนของผู้เรียนเป็นผลเนื่องมาจากการมีปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกันระหว่าง 3 องค์ประกอบ ได้แก่ องค์ประกอบด้านพฤติกรรม องค์ประกอบส่วนบุคคล และองค์ประกอบด้านอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม ทั้งสามองค์ประกอบนี้ จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดที่มีอิทธิพลซึ่งกันและกันอย่างเท่าเทียมกัน

ปัจจัยที่กำหนดการกำกับตนเองในการเรียน (Zimmerman, 1989, pp. 332-336 อ้างถึงใน จิราภรณ์ กุณสิทธิ์, 2541, หน้า 9) มี 3 ด้าน คือ

1. อิทธิพลส่วนบุคคล ได้แก่ ความรู้ของนักเรียน กระบวนการรู้คิดของตนเอง เป้าหมาย และอารมณ์ความรู้สึกของนักเรียน
2. อิทธิพลด้านพฤติกรรม ได้แก่ การสังเกตตนเอง การตัดสินใจตนเอง และปฏิกิริยาต่อตนเอง ทั้งสามกระบวนการนี้ยังได้รับอิทธิพลจากกระบวนการส่วนบุคคลและกระบวนการด้านสิ่งแวดล้อม
3. อิทธิพลด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การดูแลแบบ การพูดจาสักขาน และโครงสร้างบริบทในการเรียนรู้ โดยเฉพาะองค์ประกอบของงานที่ทำและสถานการณ์ การเปลี่ยนงานที่ทำให้มีระดับความยากมากขึ้นและเปลี่ยนสถานการณ์จากเสียงดังเป็นเสียงเงียบ คาดว่าจะมีผลต่อการกำกับตนเองในการเรียน อิทธิพลด้านสิ่งแวดล้อมจะมีปฏิกิริยาต่ออิทธิพลส่วนบุคคลและอิทธิพลด้านพฤติกรรม อิทธิพลส่วนบุคคลจะถูกเชื่อมเข้ากับพฤติกรรมการกำกับตนเองและสิ่งแวดล้อมในการเรียนรู้ ผู้เรียนที่มีการกำกับตนเองจะเข้าใจอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมที่มีต่อตนเองในระหว่างการเรียนรู้ และรู้ว่าจะปรับปรุงสิ่งแวดล้อมอย่างไร โดยผ่านการใช้กลวิธีต่าง ๆ

การกำกับตนเองในการเรียน จะเกี่ยวข้องกับการกระทำ เป้าหมายการควบคุมตนเอง ทั้งด้านพฤติกรรม แรงจูงใจ และความคิดของตนเองด้วยตัวนักเรียนเอง กลวิธีในการกำกับตนเองในการเรียน ประกอบด้วย 14 วิธี ได้แก่

1. การประเมินตนเอง

2. การจัดรูปแบบและการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ
3. การตั้งเป้าหมายและการวางแผน
4. การค้นหาข้อมูล
5. การจดบันทึกและการเตือนความจำ
6. การจัดสภาพแวดล้อม
7. การให้รางวัลต่อความสำเร็จและลงโทษต่อความล้มเหลวของตนเอง
8. การทอ้งซ้ำและการจดจำ
9. – 11. การขอความช่วยเหลือทางสังคมจาก เพื่อน ครู และคนอื่น ๆ
- 12.- 14. การทบทวนจากบันทึกต่าง ๆ คือ สมุดจด ข้อสอบ และตำราเรียน

กล่าวโดยสรุปได้ว่า ถ้านักเรียนมีการกำกับตนเองในการเรียนคณิตศาสตร์แล้ว ก็จะสามารถประสบผลสำเร็จในการเรียนคณิตศาสตร์ได้ จึงควรที่จะส่งเสริมให้นักเรียนมีการกำกับตนเองในการเรียนคณิตศาสตร์ให้มากขึ้น ดังที่ จิราภรณ์ กุณสิทธิ์ (2541) ได้ศึกษาการทำนายผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ด้วยตัวแปรด้านการกำกับตนเองในการเรียน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 สามารถทำนายได้จาก การกำกับตนเองในการเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น การกำกับตนเองในการเรียน มีอิทธิพลกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์

การรับรู้ความสามารถของตนเองทางคณิตศาสตร์ (mathematics self – efficacy) หมายถึง การที่บุคคลตัดสินความสามารถของตนเองในการกระทำที่เฉพาะเจาะจงและในสถานการณ์ทั่วไป ในวิชาคณิตศาสตร์ โดยบุคคลจะตัดสินความสามารถของตนเองทั้งจากพฤติกรรมเฉพาะและทั้งจากสถานการณ์ทั่วไป ในวิชาคณิตศาสตร์ที่เกิดขึ้น

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการรับรู้ความสามารถของตนเอง มีพื้นฐานจากปัจจัย 4 ปัจจัย ดังนี้ (Bandura, 1977a, 1982, 1986, อ้างถึงใน จิราภรณ์ กุณสิทธิ์, 2541, หน้า 19)

1. การกระทำที่ประสบความสำเร็จ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการรับรู้ความสามารถของตนเองมากที่สุด การกระทำที่ประสบความสำเร็จจะทำให้บุคคลประเมินความสามารถของตนเองสูงขึ้น ในขณะที่ความล้มเหลวจะทำให้บุคคลประเมินความสามารถของตนเองต่ำลง
2. การได้เห็นตัวอย่างจากผู้อื่น การรับรู้ความสามารถของตนเองจะได้รับอิทธิพลมาจากการได้เห็นประสบการณ์ของผู้อื่นประสบความสำเร็จจากการกระทำพฤติกรรม การได้เห็นผู้อื่นกระทำพฤติกรรมที่คล้ายคลึงกันแล้วประสบผล ก็จะทำให้บุคคลรับรู้ความสามารถของตนเองเพิ่มขึ้น และบุคคลนั้นจะต้องมีความสามารถในการทำกิจกรรมนั้นได้อยู่ก่อนแล้ว
3. การชักจูงด้วยวาจา เป็นการรับเอาคำแนะนำชักจูงจากผู้อื่นมาเป็นข้อมูลเพื่อ

พิจารณาความสามารถของตน ทำให้บุคคลเกิดความมั่นใจว่าตนมีความสามารถที่จะทำงานได้สำเร็จ การพูดชักชวนจากผู้อื่นจะเป็นสิ่งที่ช่วยให้บุคคลมีกำลังใจ มีความเชื่อมั่น ในการกระทำพฤติกรรมต่าง ๆ มากขึ้น

4. ความตื่นเต้นทางอารมณ์ บุคคลจะรับรู้ว่าคุณเองตื่นเต้น มีความวิตกกังวลหรือความวิตกกังวลจากอาการกระตุ้นของร่างกาย ในสภาวะที่ร่างกายถูกกระตุ้นมาก มักจะทำให้การทำงานได้ผลไม่ดี หากบุคคลรับรู้ว่าคุณมีความวิตกกังวลในระดับสูงจะมีการรับรู้ความสามารถของตนเองในการทำงานนั้นในระดับต่ำ

กระบวนการรับรู้ความสามารถของตนเอง จะมีผลต่อกระบวนการ 4 อย่าง กระบวนการทั้ง 4 นี้จะส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของบุคคล ดังนี้ (Bandura, 1994, อ้างถึงใน จิราภรณ์ กุณสิทธิ์, หน้า 20)

1. กระบวนการทางปัญญา การรับรู้ความสามารถของตนเองจะมีผลต่อกระบวนการทางปัญญา คือ การตั้งเป้าหมายของบุคคลจะได้รับอิทธิพลจากการประเมินความสามารถของตน คนที่มีการรับรู้ความสามารถของตนเองสูงจะตั้งเป้าหมายที่สูงและท้าทาย มีความมุ่งมั่นที่จะบรรลุเป้าหมายมากกว่าคนที่มีการรับรู้ความสามารถต่ำ และรูปแบบพฤติกรรมส่วนใหญ่จะเริ่มจากรูปแบบการคิดสร้างสถานการณ์ล่วงหน้าและย้อนทบทวน บุคคลที่มีการรับรู้ความสามารถของตนเองสูงจะสร้างภาพแห่งความสำเร็จ ส่วนบุคคลที่สงสัยในความสามารถของตนเองจะสร้างภาพความล้มเหลวไว้ล่วงหน้า กระบวนการคิดจึงทำให้บุคคลทำนายเหตุการณ์และพัฒนาแนวทางที่จะควบคุมสิ่งที่จะมีผลต่อการดำรงชีวิตของตนเอง ในสภาพการณ์เรียนรู้

2. กระบวนการจิตใจ การรับรู้ความสามารถของตนเองมีบทบาทสำคัญในการจิตใจตนเอง การจิตใจของบุคคลส่วนใหญ่อยู่ในรูปของกระบวนการคิด บุคคลจะมีการจิตใจตนเองและชี้แนะการกระทำของตนเองในการคิดล่วงหน้า บุคคลจะสร้างความเชื่อจากการคิดว่าตนเองสามารถทำอะไรได้ และมีความคาดหวังถึงผลของการทำอะไรได้ และมีความคาดหวังถึงผลของการกระทำ บุคคลจะตั้งเป้าหมาย และวางแผนการกระทำของตนเอง

3. กระบวนการทางด้านความรู้สึกและอารมณ์ การรับรู้ความสามารถของตนเองมีผลต่อความเครียดและความกดดันเมื่อบุคคลเผชิญกับสภาพการณ์ที่ลำบาก มีอุปสรรค และมีผลต่อระดับแรงจูงใจ บุคคลที่เชื่อในความสามารถของตนเองจะสามารถควบคุมความเครียดที่จะทำให้เกิดความวิตกกังวลได้ คนที่เชื่อว่าตนไม่มีความสามารถจะมีความวิตกกังวลสูงและมองว่าสภาพแวดล้อมที่เขาอยู่เต็มไปด้วยอันตราย และมีความวิตกกังวลกับสิ่งต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้น

4. กระบวนการเลือก การรับรู้ความสามารถของตนเองจะมีผลต่อการเลือกกระทำ

พฤติกรรมโดยบุคคลจะเลือกกระทำในสถานการณ์ที่เขาเชื่อว่าเขาทำได้ และหลีกเลี่ยงสถานการณ์หรือกิจกรรมที่บุคคลเชื่อว่าเกินความสามารถของตนเองที่จะทำได้ บุคคลที่มีการรับรู้ความสามารถของตนเองสูงจะเลือกงานที่มีลักษณะท้าทาย ส่วนบุคคลที่มีการรับรู้ความสามารถของตนเองต่ำจะหลีกเลี่ยงงาน เป็นการปิดโอกาสที่จะพัฒนาศักยภาพของตนเอง

ตามแนวทฤษฎีการรับรู้ความสามารถของตน จะสามารถส่งผลต่อพฤติกรรมของบุคคลได้ต้องผ่านกระบวนการทางปัญญาก่อน และเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางปัญญาแล้ว จะเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของบุคคลตามการตัดสินใจความสามารถของตนเอง ซึ่งความสามารถนี้ต้องอาศัยทักษะผสมผสานร่วมกันทั้งทักษะทางปัญญา สังคม และพฤติกรรม การรับรู้ความสามารถของตนเองนี้จะไม่ได้ขึ้นอยู่กับทักษะที่บุคคลมีอยู่ในขณะนั้น แต่ขึ้นอยู่กับ การตัดสินใจของบุคคลว่า เขาสามารถทำอะไรได้ด้วยทักษะที่เขามีอยู่

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ถ้านักเรียนมีการรับรู้ความสามารถของตนเองทางคณิตศาสตร์แล้ว ก็จะสามารถประสบผลสำเร็จในการเรียนคณิตศาสตร์ได้ ดังที่ จิราภรณ์ กุณสิทธิ์ (2541) ได้ศึกษาการทำนายผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ด้วยตัวแปรการรับรู้ความสามารถของตนเองทางคณิตศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 สามารถทำนายได้จาก การรับรู้ความสามารถของตนเองทางคณิตศาสตร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น การรับรู้ความสามารถของตนเองทางคณิตศาสตร์ มีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์

เจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์ (mathematics attitude) หมายถึง ความคิดเห็นของนักเรียนในด้านความสำคัญและคุณประโยชน์ของวิชาคณิตศาสตร์ ด้านความรู้สึกด่อวิชาคณิตศาสตร์ และด้านการแสดงออกและมีส่วนร่วม

ไทรแอนดิส (Triandis, 1971 อ้างถึงใน จิราภรณ์ กุณสิทธิ์, 2541, หน้า 28) ได้แบ่งองค์ประกอบของเจตคติ ออกเป็น 3 ประการคือ

1. องค์ประกอบด้านความรู้ ได้แก่ ความรู้และแนวคิดที่มีบุคคลมีต่อสิ่งเร้าไม่ว่าบุคคลหรือสถานการณ์ใด ๆ ก็ตาม ความคิดและแนวคิดดังกล่าวจะเป็นสิ่งกำหนดลักษณะและทิศทางเจตคติของบุคคล คือ ถ้าบุคคลมีความรู้และแนวคิดต่อสิ่งใดครบถ้วนแล้ว บุคคลนั้นก็จะมีเจตคติต่อสิ่งเร้านั้นไปในทางบวกหรือลบชัดเจนยิ่งขึ้น

2. องค์ประกอบด้านความรู้สึก ได้แก่ อารมณ์หรือความรู้สึกของบุคคลที่มีต่อสิ่งเร้า อารมณ์หรือความรู้สึกดังกล่าวจะเป็นสิ่งกำหนดทิศทางและลักษณะของเจตคติของบุคคล คือ ถ้าบุคคลมีความรู้สึกที่ดีต่อสิ่งใด บุคคลก็จะมีเจตคติไปในทางบวกต่อสิ่งนั้น แต่ถ้าบุคคลมีอารมณ์หรือความรู้สึกที่ไม่ดีต่อสิ่งนั้น บุคคลก็จะมีเจตคติทางลบต่อสิ่งนั้น

3. องค์ประกอบด้านความพร้อมในการกระทำ ได้แก่ พฤติกรรมของบุคคลที่แสดงต่อสิ่งเร้าอย่างใดอย่างหนึ่ง พฤติกรรมดังกล่าวจะเป็นสิ่งที่บอกลักษณะและทิศทางเจตคติของบุคคล คือ ถ้าพฤติกรรมของบุคคลที่แสดงออกต่อสิ่งเร้านั้นชัดเจนแน่นอน ทิศทางก็จะมีลักษณะชัดเจนแน่นอน และเป็นทิศทางบวกหรือลบชัดเจน

องค์ประกอบทั้ง 3 ด้านนี้ จะต้องสอดคล้องกัน ถ้าองค์ประกอบด้านใดด้านหนึ่งเปลี่ยนแปลงไป เจตคติของบุคคลนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย

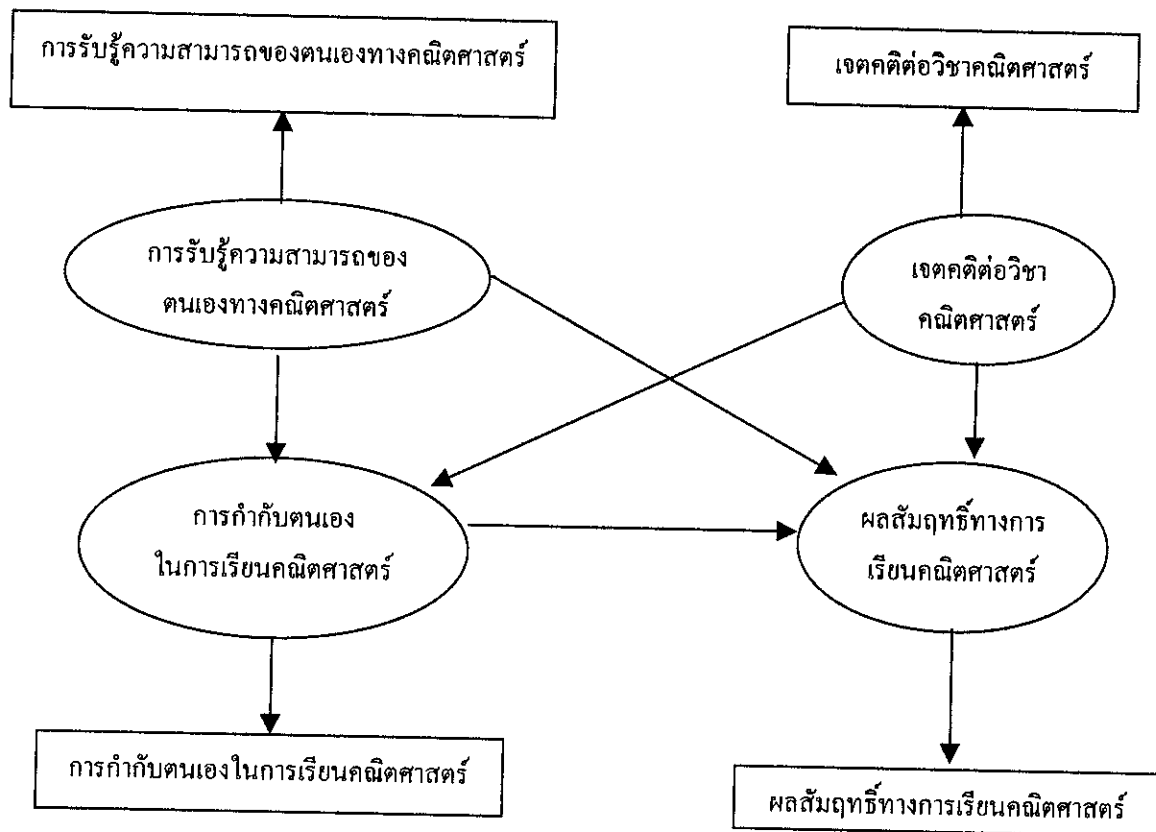
เจตคติเป็นสิ่งที่เกิดจากการเรียนรู้ เป็นสภาพการณ์ทางจิตที่มีอิทธิพลต่อการคิดและการกระทำ เป็นความรู้สึกภายในที่ก่อให้เกิดพฤติกรรม ดังนั้น ความสำคัญของการวัดเจตคติของบุคคลก็เพื่อจะได้เปลี่ยนแปลงหรือพัฒนาให้ดีขึ้น เป้าหมายในการวัดเจตคติ เพื่อให้ทราบทิศทาง คุณภาพ และความเข้มของเจตคติ หากพบว่าเป็นเจตคติที่ไม่ดีก็หาทางปรับปรุงแก้ไข หากเป็นเจตคติที่ดีงามก็ช่วยกันส่งเสริม แต่ถ้าเป็นเจตคติที่เป็นกลาง หรือไม่แน่ใจ ก็นำเสนอแนวพัฒนาให้เกิดเจตคติที่ดีงาม หรือหากว่าดีอยู่แล้วก็พัฒนาให้ดียิ่งขึ้น

ในการเรียนการสอนวิชาคณิตศาสตร์ สิ่งสำคัญที่ครูผู้สอนต้องคำนึงถึงควบคู่กับความรู้ด้านเนื้อหา คือ เจตคติของนักเรียนที่มีต่อวิชาที่เรียน ดังที่ พรหมพรณ อุคมสิน (2529, หน้า 27) กล่าวว่า จุดประสงค์การเรียนคณิตศาสตร์ที่สำคัญนอกจากการพัฒนาด้านพุทธิพิสัยแล้ว คือ การส่งเสริมให้มีการพัฒนาด้านจิตพิสัยควบคู่กันไปด้วย เช่น ความสนใจ ความรู้สึก เจตคติที่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์

มีนักเรียนส่วนหนึ่งที่ไม่สนใจและตั้งใจเรียน เหตุผลที่นักเรียนประเภทนี้มักจะมีเจตคติที่ไม่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์ หรือเกลียดวิชาคณิตศาสตร์ หรือมีประสบการณ์ที่ไม่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์ที่ผ่านมาในอดีต ทำให้เวลาที่เรียนวิชาคณิตศาสตร์มีความกลุ้มใจ ทำให้การเรียนการสอนวิชาคณิตศาสตร์ไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร ดังนั้น เจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์จึงมีความสำคัญมากต่อการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ นั่นคือ ถ้านักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์ จะทำให้นักเรียนสามารถเรียนคณิตศาสตร์ได้ดี บ่มส่งผลถึงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ให้ดีขึ้น

จากการศึกษาเอกสารแนวคิดทฤษฎีทั้งหมดที่เกี่ยวกับการกำกับตนเองในการเรียนคณิตศาสตร์ การรับรู้ความสามารถของตนเองทางคณิตศาสตร์ เจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์ จะเห็นได้ว่าทั้งสามตัวแปรนี้ สามารถพัฒนา เปลี่ยนแปลง และปลูกฝังให้แก่ผู้เรียนได้ ตัวแปรทั้งสามตัวนี้เป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งที่สำคัญในการที่จะช่วยส่งเสริม ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาโดยนำตัวแปรทั้งสามตัวนี้ คือ การกำกับตนเองในการเรียนคณิตศาสตร์ การรับรู้ความสามารถของตนเองทางคณิตศาสตร์ และเจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์

นำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ร่วมกัน ผู้วิจัยสามารถนำตัวแปรต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น มาสร้างเป็นโมเดลกรอบแนวคิดสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ได้ดังนี้



ภาพที่ 5 โมเดลกรอบแนวคิดของตัวแปรที่ส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์

จากภาพ 5 โมเดลกรอบแนวคิดของตัวแปรที่ส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ผู้วิจัยนำมาสร้างเป็นตัวแปรในโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง 3 โมเดล และโมเดลอิสระ 3 โมเดล เพื่อศึกษาตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์และสร้างตัวบ่งชี้คะแนนพัฒนาการของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ได้แก่ ตัวแปรการรับรู้ความสามารถของตนเองทางคณิตศาสตร์ ตัวแปรเจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์ ตัวแปรการกำกับตนเองในการเรียนคณิตศาสตร์ และตัวแปรผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ดังต่อไปนี้

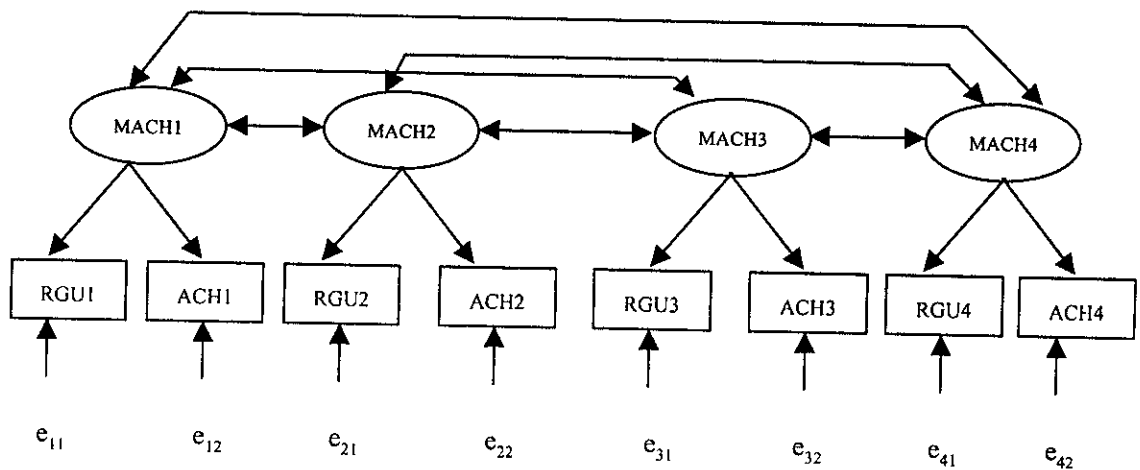
1. ตัวแปรภายนอกแฝง (exogenous variables) คือตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ได้แก่ ตัวแปรแฝงการรับรู้ความสามารถของตนเองทางคณิตศาสตร์ วัดจากตัวบ่งชี้การรับรู้ความสามารถของตนเองทางคณิตศาสตร์ และ

ตัวแปรแฝงเจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์ วัดจากตัวบ่งชี้เจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์ เป็นตัวแปรที่ทำการวัด 1 ครั้ง

2. ตัวแปรภายในแฝง (edogenous variables) คือ ตัวแปรที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ได้แก่ ตัวแปรแฝงการกำกับตนเองในการเรียนคณิตศาสตร์ วัดจากตัวบ่งชี้ การกำกับตนเองในการเรียนคณิตศาสตร์ เป็นตัวแปรที่ทำการวัดซ้ำ 4 ช่วงเวลา และตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ วัดจากตัวบ่งชี้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ และเป็นตัวแปรที่ทำการวัดซ้ำ 4 ช่วงเวลา

จากตัวแปรทั้งหมดสามารถนำมาสร้างเป็น โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ 3 โมเดล ดังนี้

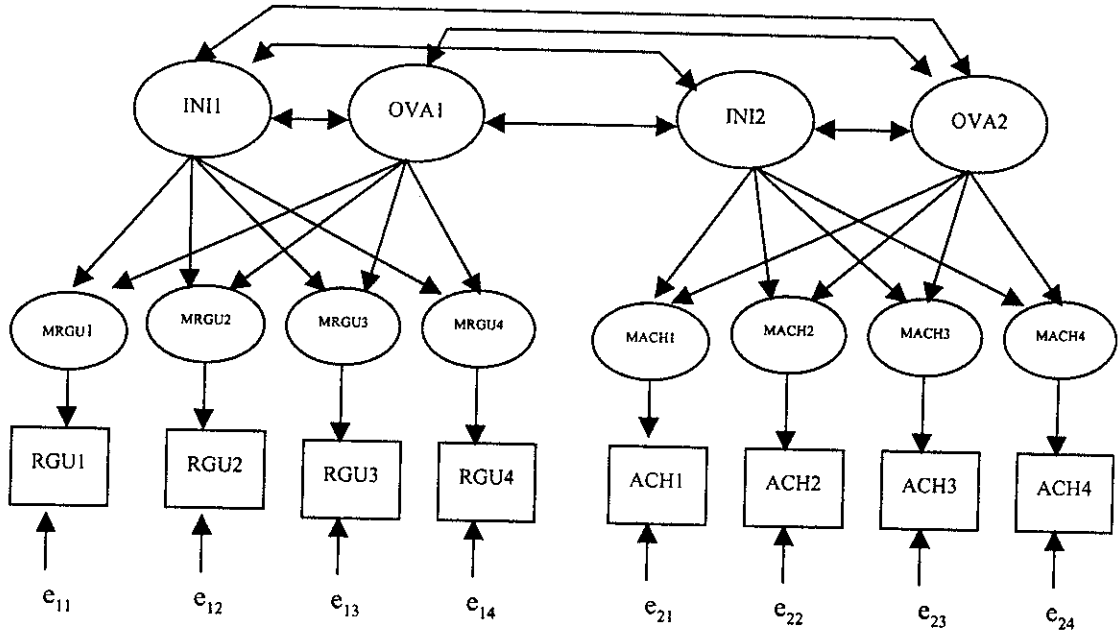
โมเดลการวัดที่ 1 โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว



ภาพที่ 6 โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว

จากภาพ 6 จะเห็นว่า MACH1, MACH2, MACH3 และ MACH4 คือองค์ประกอบร่วมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดในช่วงเวลา t_1 , t_2 , t_3 และ t_4 องค์ประกอบนี้อธิบายว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์จะต้องประกอบด้วยคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์และคะแนนการกำกับตนเองในการเรียนในการเรียนคณิตศาสตร์

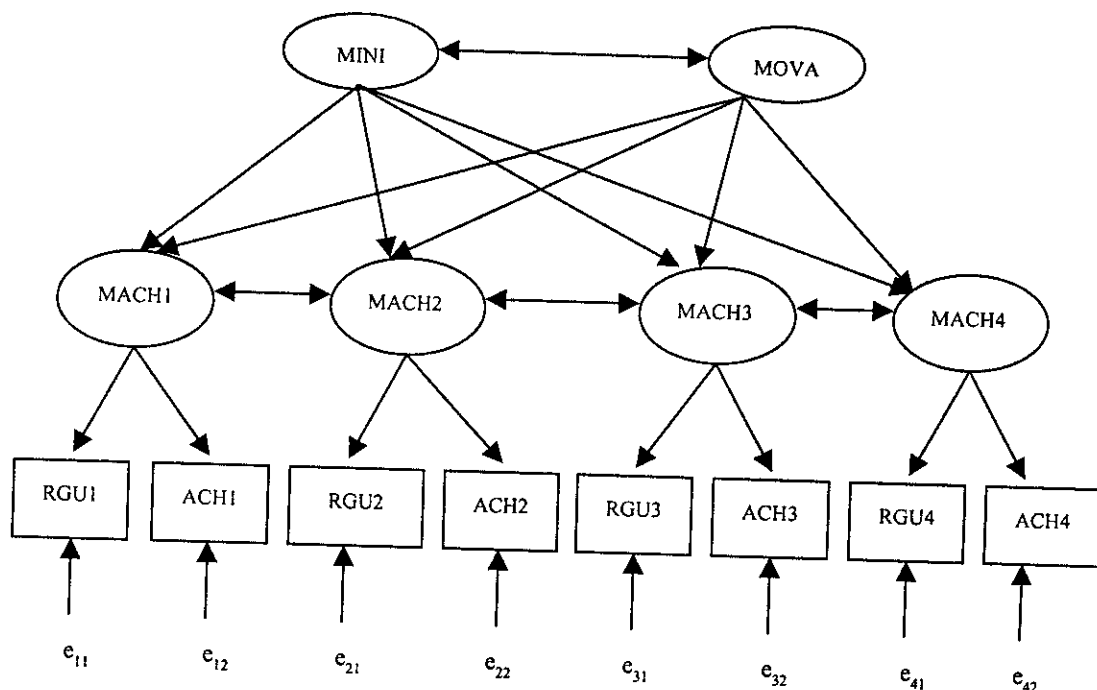
โมเดลการวัดที่ 2 โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบ
ระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว



ภาพที่ 7 โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว

จากภาพ 7 องค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงในโมเดลนี้ วัดในช่วงเวลาต่างกัน 4 ช่วงเวลา คือ t_1 , t_2 , t_3 และ t_4 มีด้วยกันสององค์ประกอบคือ องค์ประกอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ (MACH1, MACH2, MACH3 และ MACH4) วัดจากตัวบ่งชี้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ และองค์ประกอบการกำกับตนเองในการเรียนคณิตศาสตร์ (MRGU1, MRGU2, MRGU3 และ MRGU4) โดยวัดจากตัวบ่งชี้การกำกับตนเองในการเรียนคณิตศาสตร์ องค์ประกอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ และองค์ประกอบการกำกับตนเองในการเรียนคณิตศาสตร์ จะประกอบด้วยส่วนที่เป็นองค์ประกอบในสถานะเริ่มต้น (INI) และส่วนที่เป็นองค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมด (OVA) ซึ่งจะเป็นองค์ประกอบที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ และองค์ประกอบการกำกับตนเองในการเรียนคณิตศาสตร์

โมเดลการวัดที่ 3 โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ 2 ตัว

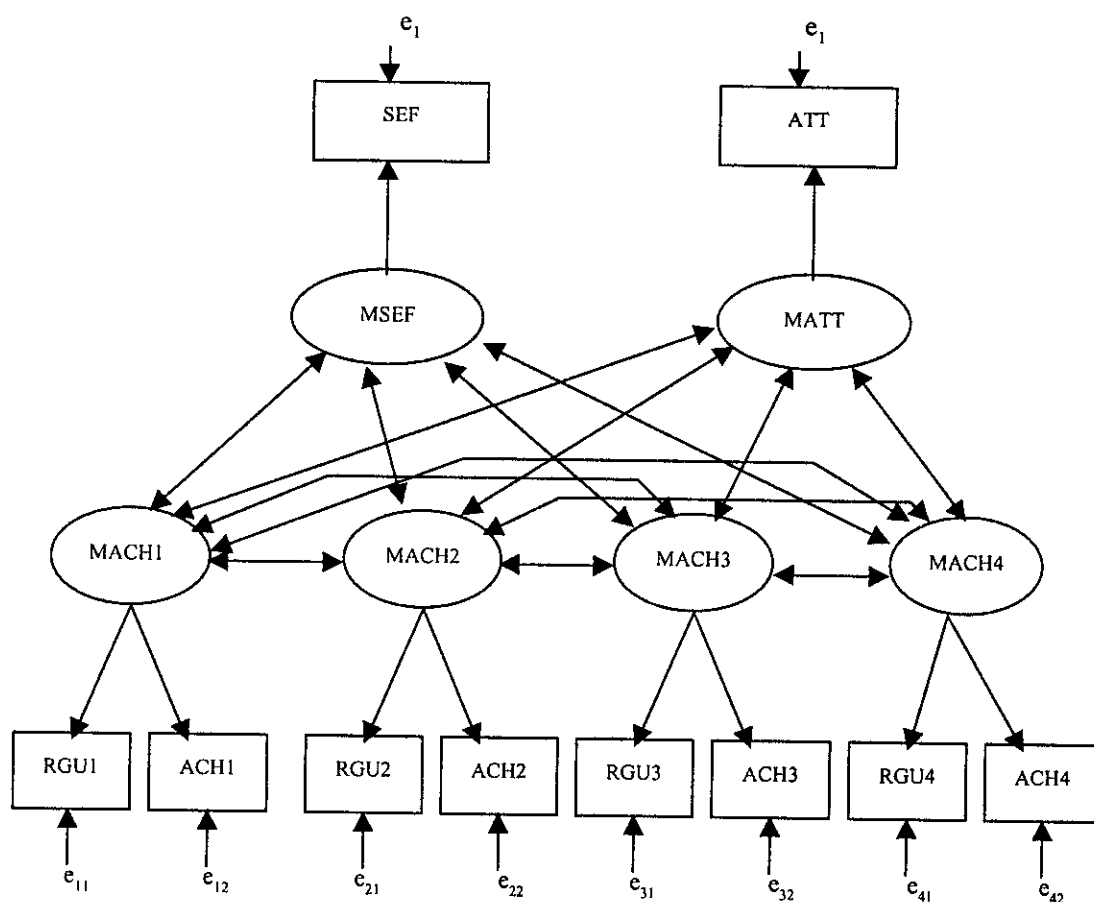


ภาพที่ 8 โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ 2 ตัว

จากภาพ 8 แสดงว่า MACH1, MACH2, MACH3 และ MACH4 คือองค์ประกอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดในช่วง t_1 , t_2 , t_3 และ t_4 องค์ประกอบนี้อธิบายว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ประกอบด้วยคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์และคะแนนการกำกับตนเองในการเรียนคณิตศาสตร์ และองค์ประกอบ MACH1, MACH2, MACH3 และ MACH4 จะประกอบด้วยส่วนที่เป็นองค์ประกอบในสถานะเริ่มต้น (MINI) และส่วนที่เป็นองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด (MOVA) ซึ่งจะเป็นองค์ประกอบที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์

โมเดลลิสม์เรลที่ใช้ศึกษาตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ประกอบด้วย 3 โมเดลดังนี้

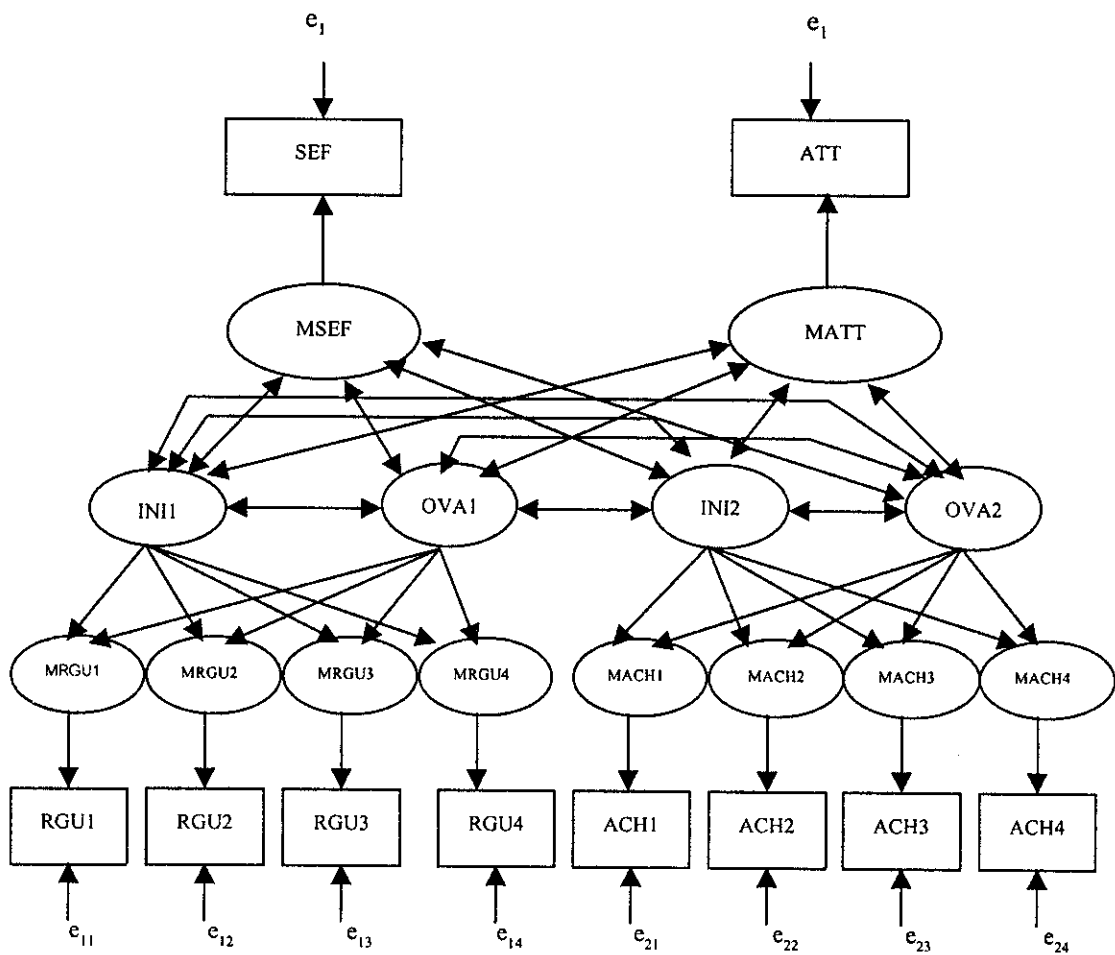
โมเดลลิสม์เรลที่ 1 โมเดลลิสม์เรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว



ภาพที่ 9 โมเดลอิสระที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบ
ระยะยาว

จากภาพ 9 จะเห็นว่า MACH1, MACH2, MACH3 และ MACH4 คือองค์ประกอบร่วม
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดในช่วงเวลา t_1 , t_2 , t_3 และ t_4 องค์ประกอบดังกล่าวอธิบายว่า
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์จะประกอบด้วยคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์
และคะแนนการกำกับตนเองในการเรียนคณิตศาสตร์ ส่วนตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงใน
โมเดลการวัด คือ องค์ประกอบการรับรู้ความสามารถของตนเองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งวัดได้จากตัว
บ่งชี้การรับรู้ความสามารถทางคณิตศาสตร์ และองค์ประกอบเจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์ ซึ่งวัดได้
จากตัวบ่งชี้เจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์

โมเดลอิสระที่ 2 โมเดลอิสระที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบโมเดลการวิเคราะห์องค์
ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัว เดียว

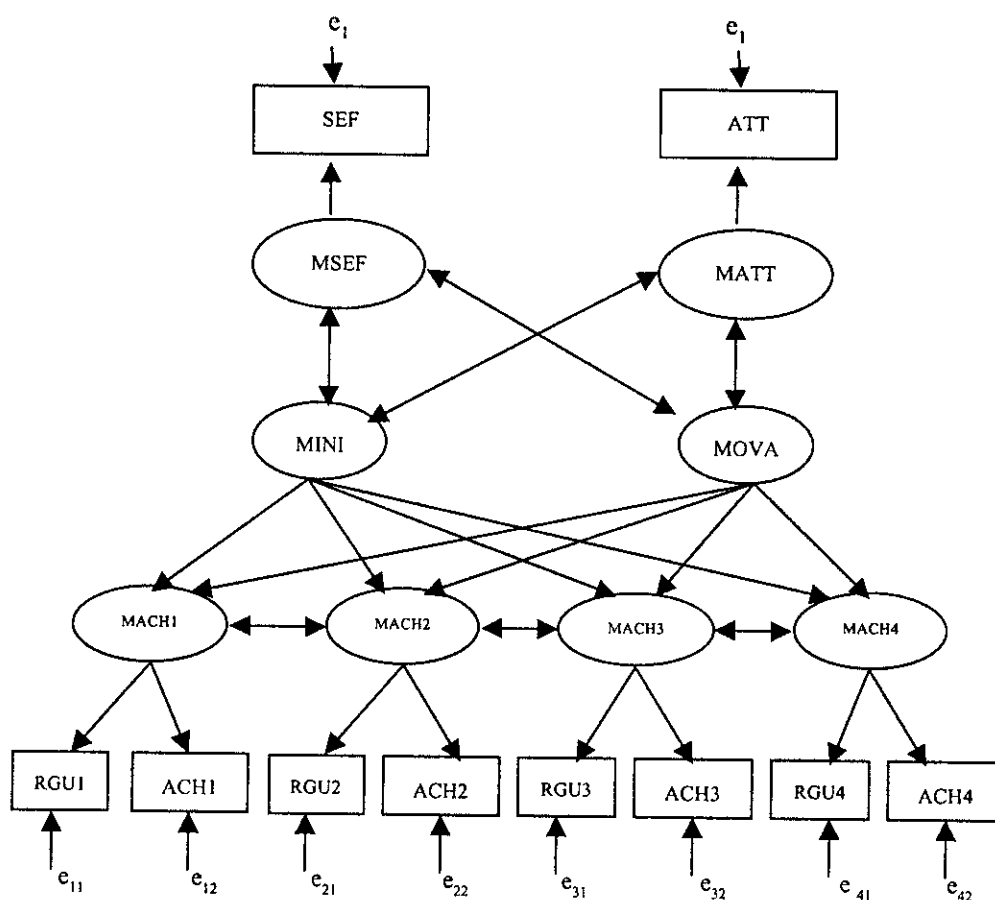


ภาพที่ 10 โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว

จากภาพ 10 องค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงในโมเดลนี้ วัดในช่วงเวลาต่างกัน 4 ช่วงเวลา คือ t_1 , t_2 , t_3 และ t_4 มีด้วยกันสององค์ประกอบคือ องค์ประกอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ วัดจากตัวบ่งชี้สัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ และองค์ประกอบการกำกับตนเองในการเรียนคณิตศาสตร์ วัดได้จากตัวบ่งชี้การกำกับตนเองในการเรียนคณิตศาสตร์ และองค์ประกอบทั้งสองประกอบด้วยส่วนที่เป็นองค์ประกอบในสถานะเริ่มต้น และส่วนที่เป็นองค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมด ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ส่วนตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงในโมเดลการวัด คือ องค์ประกอบด้านการรับรู้ความสามารถของตนเองทางคณิตศาสตร์ วัดได้จากตัวบ่งชี้การรับรู้ความสามารถของตนเอง

ทางคณิตศาสตร์ และองค์ประกอบด้านเจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์ วัดได้จากตัวบ่งชี้เจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์

โมเดลลิสรที่ 3 โมเดลลิสรที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ 2 ตัว



ภาพที่ 11 โมเดลลิสรที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ 2 ตัว

จากภาพ 11 จะเห็นว่า MACH1, MACH2, MACH3 และ MACH4 คือองค์ประกอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดในช่วงเวลา t_1 , t_2 , t_3 , และ t_4 องค์ประกอบดังกล่าวนี้อธิบายว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์จะประกอบด้วยคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์และคะแนนการกำกับตนเองในการเรียนคณิตศาสตร์ และองค์ประกอบ MACH1, MACH2, MACH3 และ MACH4 ประกอบด้วยส่วนที่เป็นองค์ประกอบในสถานะเริ่มต้น และส่วนที่เป็นองค์

ประกอบ การเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ส่วนตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงใน โมเดลการวัด คือ องค์ประกอบ การรับรู้ความสามารถของตนเอง วัดได้จากตัวบ่งชี้การรับรู้ความสามารถของตนเอง ทางคณิตศาสตร์ และองค์ประกอบ เจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์ วัดได้จากตัวบ่งชี้เจตคติต่อวิชา คณิตศาสตร์

จากโมเดลอิสระที่ 1, 2 และ 3 ค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษา คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างองค์ประกอบ การเปลี่ยนแปลงที่วัดในช่วงเวลาต่าง ๆ กับองค์ประกอบของตัวแปรที่ สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงไว้ด้วยลูกศรสองทิศทาง

ตอนที่ 4 ดัชนีตรวจสอบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงและโมเดลอิสระที่ศึกษาตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คณิตศาสตร์

โมเดลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีสองชุด ชุดแรก คือ โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง 3 โมเดล ชุดที่สอง คือ โมเดลอิสระ 3 โมเดล การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพโมเดล พิจารณาตามเกณฑ์ ดังนี้

1. ดัชนีตรวจสอบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง

1.1 ดัชนีตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลการวัดกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ถ้า โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ค่าไค-สแควร์ จะมีค่าต่ำและ ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ หมายความว่าโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงมีความสอดคล้องกับข้อมูล เชิงประจักษ์ ดัชนีตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์อื่น ๆ ได้แก่ ค่า GFI, AGFI, RMR และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานสูงสุด

1.2 ดัชนีที่สามารถระบุอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทั้งหมดของผลสัมฤทธิ์ทาง การเรียนคณิตศาสตร์ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรแฝงองค์ประกอบ การเปลี่ยนแปลงทั้งหมดของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์กับองค์ประกอบ การเปลี่ยนแปลงที่วัดในช่วง เวลาต่าง ๆ

1.3 ดัชนีตรวจสอบความคงที่ของแบบแผนองค์ประกอบ ความคงที่ของแบบแผน องค์ประกอบคือ องค์ประกอบที่ยังคงเดิม แม้ว่าจะวัดองค์ประกอบนี้ในช่วงเวลาที่แตกต่างกันก็ตาม ถ้ามีความคงที่ แสดงว่า องค์ประกอบรวมมีค่าคงที่ตลอดช่วงเวลาการวัด ถ้าไม่มีความคงที่ แสดงว่า มีความเปลี่ยนแปลงหรือมีพัฒนาการระหว่างช่วงเวลาการวัด การเปรียบเทียบความคงที่ของแบบ แผนองค์ประกอบในการวิจัยครั้งนี้ คือ การเปรียบเทียบว่าโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงแต่ละแบบ

จะให้คำอธิบายความคงที่ของค่าพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบแตกต่างกันหรือไม่ ค่าดัชนีตรวจสอบความคงที่ของน้ำหนักองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ ผลต่างของค่าไค-สแควร์ ที่ได้จากค่าไค-สแควร์ของโมเดลที่มีเงื่อนไขการกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เท่ากันกับค่าไค-สแควร์ของโมเดลที่ไม่มีเงื่อนไขการกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เท่ากัน (โมเดล base) ถ้าผลต่างของค่าไค-สแควร์มีค่าต่ำและไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าโมเดลการวัดมีความคงที่ของคะแนนองค์ประกอบ การเปลี่ยนแปลงจึงมีจุดมุ่งหมายที่จะปฏิเสธสมมติฐานที่ว่าค่าน้ำหนักองค์ประกอบที่วัดได้ในช่วงเวลาที่แตกต่างกันมีค่าเท่ากัน

1.4 ดัชนีตรวจสอบความไม่แปรเปลี่ยนของรูปแบบโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง เป็นการตรวจสอบว่าโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงที่สร้างขึ้นตามกรอบความคิด (conceptual framework) สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ของแต่ละกลุ่มหรือไม่อย่างไร ในการวิจัยครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์กลุ่มพหุ (multiple group) โดยการวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมมาจากกลุ่มนักเรียนทั้งสองกลุ่ม โดยมีการกำหนดเงื่อนไขบังคับ (constraints) ให้โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงที่สร้างขึ้นตามกรอบแนวคิดในการวิจัย มีลักษณะเป็นแบบเดียวกัน สำหรับการตรวจสอบความสอดคล้องกลมกลืนระหว่างโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ถ้าผลการวิเคราะห์ให้ผลว่าค่า ไค-สแควร์ในการทดสอบความกลมกลืนมีค่าต่ำและไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จะสรุปได้ว่า โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงที่สร้างขึ้นตามกรอบแนวคิดสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ทุกกลุ่ม และโมเดลมีลักษณะโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเป็นแบบเดียวกัน เรียกว่าโมเดลไม่แปรเปลี่ยน หรือมีความยืนยงระหว่างกลุ่ม (invariance across groups) สามารถนำโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงมาใช้ อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้

2. ดัชนีตรวจสอบประสิทธิภาพของโมเดลอิสระ

2.1 ดัชนีตรวจสอบประสิทธิภาพของโมเดลอิสระ ถ้าโมเดลอิสระมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ค่าไค-สแควร์จะมีค่าต่ำและไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ หมายความว่าโมเดลอิสระมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ดัชนีตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลอิสระกับข้อมูลเชิงประจักษ์อื่น ๆ ได้แก่ ค่า GFI, AGFI, RMR และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานสูงสุด

2.2 ดัชนีตรวจสอบความไม่แปรเปลี่ยนของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงที่วัดในช่วงเวลาต่าง ๆ กับตัวแปรภายนอกแฝง ที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลง วัดได้จากผลต่างของค่าไค-สแควร์ ที่ได้จากโมเดลอิสระที่มีการกำหนดเงื่อนไขให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภายนอกแฝงกับองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงมีค่าเท่ากัน กับค่าไค-สแควร์ของโมเดลอิสระที่ไม่มีการกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เท่ากัน

(โมเดล base) ถ้าผลต่างของค่าไอ-สแควร์มีค่าต่ำและไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแสดงว่าตัวแปรภายนอกแฝงทำให้องค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงไม่แปรเปลี่ยน ถ้าผลต่างของค่าไอ-สแควร์มีค่าสูงและมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าตัวแปรภายนอกแฝงทำให้องค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงมีความแปรเปลี่ยน

2.3 คำนี้นี้ตรวจสอบความไม่แปรเปลี่ยนของรูปแบบโมเดลอิสระ เป็นการตรวจสอบว่าโมเดลอิสระที่สร้างขึ้นตามกรอบความคิด สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ของแต่ละกลุ่มหรือไม่อย่างไร ในการวิจัยครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์กลุ่มพหุ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมมาจากกลุ่มนักเรียนทั้งสองกลุ่ม โดยมีการกำหนดเงื่อนไขบังคับ ให้โมเดลอิสระที่สร้างขึ้นตามกรอบแนวคิดในการวิจัย มีลักษณะเป็นแบบเดียวกัน สำหรับการตรวจสอบความสอดคล้องกลมกลืนระหว่างโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ถ้าผลการวิเคราะห์ให้ผลว่าค่า ไอ-สแควร์ในการทดสอบความกลมกลืนมีค่าต่ำและไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จะสรุปได้ว่า โมเดลอิสระที่สร้างขึ้นตามกรอบแนวคิด สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ทุกกลุ่ม และโมเดลอิสระมีลักษณะโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเป็นแบบเดียวกัน เรียกว่าโมเดลอิสระไม่แปรเปลี่ยน หรือมีความขึ้นยงระหว่างกลุ่มสามารถนำโมเดลอิสระนั้นมาใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้