Journal of Research Methodology Volume 11, Number 1 (January - June 1998)
วารสารวิธีวิทยาการวิจัย ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 (มกราคม - มิถุนายน 2541)

A Comparison of Efficiency among Three Lisrel Models Used in Studying the Variable Correlated with Longitudinal Change in Mathematics Achievement

Prasit Chaiyakan

ABSTRACT

The purpose of this research was to compare the efficiencies among three LISREL models used to study the correlate of longitudinal change in mathematics achievement. These models were the LISREL measurement model of change based on the basic longitudinal factor analysis, the two LISREL measurement models of change using longitudinal factor analysis with single indicator and several indicators. The sample consisted of 606 Prathom Suksa 6 students in Bangkok Metropolis. The research instruments were mathematics achievement test, attitude scale towards mathematics and mathematics aptitude test. Longitudinal data were collected by measuring mathematics achievement and attitude towards mathematics for three time points and measuring aptitude for one time point.

The major findings were as follows: the LISREL measurement model of change using longitudinal factor analysis with several indicators was the most efficient among the three LISREL models because the test results of stationarity of correlation coefficients between the correlates and the longitudinal change were not significant and the error of the model was the lowest; followed by the LISREL measurement model of change based on the basic longitudinal factor analysis and the LISREL measurement model of change using longitudinal factor analysis with single indicator respectively. For measurement of longitudinal change, the measurement model of change using longitudinal factor analysis with several indicators was the most efficient because this model gave the estimates of the parameters that accounted for overall change over times and the model error was the lowest; followed by the measurement model of change using longitudinal factor analysis with single indicator and the measurement model of change based on the longitudinal factor analysis with several indicators respectively.

Master's Degree Thesis in Educational Research Program, Department of Educational Research, Faculty of Education, Chulalongkorn University. Thesis advisor : Nonglak Wiratchai, Ph.D.

Journal of Research Methodology Volume 11, Number 1 (January - June 1998)

วารสารวิธีวิทยาการวิจัย ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 (มกราคม - มิถุนายน 2541)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างโมเดลลิสเรล 3 แบบที่ใช้ในการศึกษาตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์

ประสิทธิ์ ไชยกาล

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลลิสเรล 3 แบบที่ใช้ในการศึกษาตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ได้แก่ โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว และโมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยคือนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ของโรงเรียนในสังกัดกรุงเทพมหานคร จำนวน 606 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ แบบวัดเจตคติต่อพฤติกรรมการเรียนคณิตศาสตร์ และแบบวัดความถนัดทางการเรียนคณิตศาสตร์ การดำเนินการเก็บข้อมูลเป็นลักษณะการเก็บข้อมูลระยะยาว โดยดำเนินการวัดตัวแปรด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ และเจตคติต่อพฤติกรรมการเรียนคณิตศาสตร์ 3 ครั้ง และวัดตัวแปรด้านความถนัดทางการเรียนคณิตศาสตร์ 1 ครั้ง

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเพราะโมเดลมีความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด และสามารถให้ผลการทดสอบที่สามารถบ่งชี้ได้ว่า ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงมีความไม่แปรเปลี่ยน รองลงไปคือ โมเดลลิสเรลที่มีการวัด การเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว และโมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว ตามลำดับ สำหรับโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว พบว่า โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัวมีประสิทธิภาพสูงที่สุด เพราะโมเดลสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ที่บ่งชี้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นตลอดช่วงเวลาได้และโมเดลมีความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดด้วย รองลงไปคือโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว และโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวตามลำดับ

วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิจัยการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงลักษณ์ วิรัชชัย

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวัดการเปลี่ยนแปลง (measurement of change) เป็นเรื่องที่นักวิจัย นักวัดผล นักสถิติให้ความสนใจอย่างต่อเนื่องมานานกว่า 70 ปี (Thorndike, 1924; Thornson, 1924 อ้างถึงใน อรุณี อ่อนสวัสดิ์,2534) ในปัจจุบันวิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงในแนวใหม่ (modern methods of measurement of change) ได้นำโมเดลการวัด (measurement model) ในรูปสมการโครงสร้างเชิงเส้น (linear structural equation model) มาใช้ในศึกษาการวัดการเปลี่ยนแปลง (Raykov, 1993 ,1994 ; Browne & DuToit, 1991 ; Muthen,1991; Meredith, 1991; Meredith & Tisak,1990; McArdle & Aber,1990; McArdle & Anderson,1990 ; Tisak & Meredith,1989 ; McArdle & Epstein, 1987; Stoolmiller, Duncan, Bank, & Patterson,1993) ทั้งนี้เพราะคุณสมบัติพิเศษของโมเดลการวัดในรูปสมการโครงสร้างเชิงเส้น ที่ทำให้เป็นวิธีการที่น่าสนใจในการนำไปประยุกต์ใช้กับการวัดการเปลี่ยนแปลงอย่างน้อย 3 ประการ ประการแรกได้แก่ ความสามารถในการนำความคลาดเคลื่อนในการวัด (measurement error) มาร่วมวิเคราะห์ได้ด้วย ถ้าตัวแปรในงานวิจัยใด ๆ ถูกวัดมาโดยไม่คำนึงถึงความคลาดเคลื่อนในการวัดแล้วจะมีผลทำให้การประมาณค่าพารามิเตอร์มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น (Rogosa & Willett, 1985; Raykov,1994) ประการที่สอง โมเดลการวัดในรูปสมการโครงสร้างเชิงเส้นสามารถทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมดโดยยอมให้ความคลาดเคลื่อนในการวัด เป็นอิสระต่อกันหรือมีความสัมพันธ์ต่อกันได้ (Alwin & Jackson, 1980; Sorbon,1976 อ้างถึงใน Pike, 1991; Bollen, 1989; นงลักษณ์วิรัชชัย,2538) และประการสุดท้ายได้แก่ โมเดลการวัดในรูปสมการโครงสร้างเชิงเส้นสามารถทดสอบโครงสร้างขององค์ประกอบเดียวกันที่ถูกวัดในช่วงเวลาที่แตกต่างกันได้ (Muthen,1989) ด้วยศักยภาพของการวิเคราะห์ด้วยโมเดลการวัดในรูปสมการโครงสร้างเชิงเส้นเหล่านี้นี่เองที่ทำให้นักสถิติ นักวิจัย และนักประเมินผลนำวิธีการวิเคราะห์ด้วยโมเดลการวัด ในรูปสมการโครงสร้างเชิงเส้น มาใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลง

แนวคิดในการศึกษาการเปลี่ยนแปลง ต่างก็มีจุดมุ่งหมายเดียวกันคือ การวิเคราะห์แบบแผน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในข้อมูล (pattern of change in data) ที่เก็บรวบรวมมา (McArdle & Aber,1990) แบบแผนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้เองที่จะเป็นสื่อสะท้อนให้เห็นถึงความแปรเปลี่ยน (dynamics) ที่เกิดขึ้นซึ่งอาจเป็นไปได้ทั้งในเชิงพัฒนาการ (growth) หรือความเสื่อมถอย (decline) นอกจากนี้โมเดลการวัดในรูปสมการโครงสร้างเชิงเส้น แต่ละโมเดลที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงจะสะท้อนให้เห็นถึงแนวคิดของการวัดการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันออกไป แต่วิธีการเหล่านี้ต่างก็เป็นการศึกษาแบบแผนของการเปลี่ยนแปลง หรือกระบวนการของพัฒนาการ (developmental process) ที่เกิดขึ้นด้วยข้อมูลระยะยาว (longitudinal data) ทั้งสิ้น แนวคิดหนึ่งที่ได้นำวิธีการวิเคราะห์ด้วยโมเดลการวัดในรูปสมการโครงสร้างเชิงเส้นมาใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงก็คือ

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาว (longitudinal analysis of change) โดยใช้*การวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว (longitudinal factor analysis)* วิธีการนี้สามารถอธิบายกระบวนการพัฒนาการได้เป็นอย่างดี (Tisak & Meredith, 1990) การวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวมีจุดเด่นที่สำคัญสามประการ ประการแรกคือ วิธีการดังกล่าวนี้สามารถอธิบายแบบแผนของการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบที่ทำการวัดในช่วงเวลาที่แตกต่างกันด้วยตัวบ่งชี้องค์ประกอบนั้น ๆ หลาย ๆ ตัว การวัดองค์ประกอบใด ๆ ด้วยตัวบ่งชี้หลาย ๆ ตัว จะมีผลทำให้ความเที่ยงในการวัดองค์ประกอบนั้น ๆ มีค่าสูงกว่าการวัดองค์ประกอบด้วยตัวบ่งชี้เพียงตัวเดียว (Bollen,1989 ; Joreskog & Sorborn, 1989 ; Tisak & Meredith, 1993 ; Raykov, 1994) จุดเด่นประการที่สองคือผลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวจะได้ค่าน้ำหนักขององค์ประกอบ (factor loading) ของตัวแปรสังเกตได้ที่วัดในแต่ละช่วงเวลา น้ำหนักองค์ประกอบนี้จะเป็นค่าพารามิเตอร์ที่บอกความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนดิบของตัวแปรสังเกตได้ที่วัดในแต่ละช่วงเวลา (Y_t) กับองค์ประกอบร่วม (common factor) และน้ำหนักองค์ประกอบดังกล่าวจะเป็นตัวบอกการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบที่เกิดขึ้นตลอดช่วงเวลาได้ จุดเด่นประการที่สามคือการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวยังสามารถตรวจสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับความไม่แปรเปลี่ยนขององค์ประกอบตลอดช่วงเวลา (factor invarience over time) ได้ด้วย การทดสอบสมมุติฐานดังกล่าวเป็นการตรวจสอบว่า น้ำหนักองค์ประกอบที่วัดในช่วงเวลาที่แตกต่างกันมีความเท่าเทียมกันหรือไม่และผลการทดสอบสมมุติฐานดังกล่าวจะเป็นการยืนยันได้เป็นอย่างดีว่า องค์ประกอบที่วัดในช่วงเวลาที่แตกต่างกันเป็นองค์ประกอบเดียวกันหรือไม่ (McArdle & Aber, 1990) จึงเห็นได้ว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวสามารถให้คำอธิบายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบว่า องค์ประกอบเดิมที่วัดในช่วงเวลาที่แตกต่างกันมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่

จากลักษณะเด่นของโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวดังกล่าว จึงได้มีนักวิจัยหลาย ๆ คนนำวิธีการดังกล่าวนี้ ไปใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับการวัดการเปลี่ยนแปลง ดังเช่น Raykov (1994) ได้นำแนวคิดการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว มาใช้ในการศึกษาตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง ขององค์ประกอบในระยะยาว ซึ่ง Raykov (1994) ได้เสนอโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง (measurement change model) 2 แบบ คือ ***โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว (longitudinal factor analysis with single indicator) และโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว (longitudinal factor analysis with several indicators)*** โมเดลทั้งสองเป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว จึงใช้ข้อมูลที่ทำการวัดซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง เพื่อศึกษาแบบแผนการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบในระยะยาว ทั้งนี้ก็เพื่อจะได้นำสารสนเทศที่มีสาระประโยชน์ จากการวัดข้อมูลในระยะยาวมาใช้ในการศึกษา

แบบแผนการเปลี่ยนแปลง (pattern of change) หรือกระบวนการของพัฒนาการ (developmental process) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากการเสนอโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงแล้ว Raykov (1994) ยังได้นำเสนอโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอื่น ๆที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงด้วย โดยเสนอในรูปของโมเดลความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงเส้น (linear structural relation model) หรือโมเดลลิสเรล (LISREL model) โมเดลดังกล่าวจะให้ผลการวิเคราะห์ที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลง ขององค์ประกอบที่เกิดขึ้นกับตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงสนใจในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลลิสเรล ที่ใช้ในการศึกษาตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว โมเดลลิสเรลแต่ละแบบ ประกอบด้วยโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง และโมเดลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลง กับตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง โมเดลลิสเรลทั้ง 3 แบบได้แก่ โมเดลที่ 1 คือ โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว (baseline longitudinal factor analysis model) ตามแนวคิดที่เสนอโดย Tisak และ Meredith (1990) โมเดลที่ 2 คือ โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว (longitudinal factor analysis with single indicator) โมเดลที่ 3 คือโมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว (longitudinal factor analysis with several indicators) ผู้วิจัยจะนำโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงทั้งสามแบบมาใช้เพื่อศึกษาตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงโดยอยู่ในรูปโมเดลลิสเรล 3 แบบดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อตอบคำถามการวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง และตอบคำถามวิจัยที่ว่าปัจจัยใดที่มีความสามารถทำนายการเปลี่ยนแปลง (predictor of change) ค่าพารามิเตอร์ที่สนใจศึกษาได้แก่ค่าพารามิเตอร์ที่บอกความสัมพันธ์ขององค์ประกอบที่วัดในช่วงเวลาต่างกันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างปัจจัยอื่น ๆ กับคะแนนองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลง (factor change score)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลลิสเรล ที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลง 3 โมเดลซึ่งประกอบไปด้วย โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว และโมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว ผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลลิสเรลตามเกณฑ์ต่อไปนี้คือ

1. ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง กับข้อมูลเชิงประจักษ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมลิสเรล

2. ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลลิสเรลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมลิสเรล

3. ดัชนีความคงที่ของคะแนนองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงตามโมเดลการวัด 3 แบบ

4. ดัชนีความไม่แปรเปลี่ยนของแบบแผนองค์ประกอบตามโมเดลการวัด 3 แบบ

5. ดัชนีความไม่แปรเปลี่ยนของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงกับตัวแปรอื่น ๆ ที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงตามโมเดลลิสเรล 3 แบบ

ขอบเขตการวิจัย

1. โมเดลลิสเรล ที่ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่สัมพันธ์ กับองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงในครั้งนี้ ผู้วิจัยกำหนดขอบเขตในการศึกษาองค์ประกอบที่สัมพันธ์กับคะแนนองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงเพียงองค์ประกอบเดียว และทำการวัดองค์ประกอบนี้เพียงครั้งเดียวด้วยตัวแปรหลายตัวโดยที่การวัดตัวแปรเหล่านี้ ทำการวัดภายใต้เงื่อนไขของตัวแปรคอนเจนเนอริก (congeneric variables) เหตุผลที่กำหนดขอบเขตไว้ดังกล่าว เพื่อการควบคุมอิทธิพลแทรกซ้อนที่อาจเกิดขึ้น ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลเพราะโมเดลที่มีตัวแปรแฝง ที่มีความสัมพันธ์กันหลาย ๆ ตัว จะมีค่าดัชนีบ่งชี้ความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์แตกต่างจากโมเดลที่มีตัวแปรแฝงเพียงตัวเดียว

2 ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยสนใจศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะที่พึงประสงค์ของนักเรียน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ในวิชาคณิตศาสตร์ตามหลักสูตรประถมศึกษา พุทธศักราช 2521 (ฉบับปรับปรุง 2533) ซึ่งได้แก่ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทางคณิตศาสตร์และเจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์ ทั้งนี้เนื่องมาจากในหลักสูตรประถมศึกษา พุทธศักราช 2521 (ฉบับปรับปรุง 2533) ได้กำหนดให้วิชาคณิตศาสตร์เป็นวิชาพื้นฐานสำหรับการเรียนวิชาอื่น ๆ ในชั้นสูง ๆ ต่อไป

ข้อจำกัดของงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาแนวคิด ในการวัดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบระยะยาว (longitudinal study) โดยผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลตัวแปรที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงโดยการวัดซ้ำสามครั้งตามแนวคิดของ Raykov (1994) ที่ได้เสนอไว้ว่าในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงหรือพัฒนาการ (growth) ขององค์ประกอบควรดำเนินการวัดตัวแปรดังกล่าวอย่างน้อยสามครั้งเพื่อสามารถแสดงให้เห็นถึงพัฒนาการขององค์ประกอบได้ชัดเจนขึ้น แต่ในการศึกษาวิจัยจริงมี

ข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลาในการเก็บข้อมูลซึ่งสามารถกำหนดระยะห่างของการวัดตัวแปรที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงได้เพียง 1 เดือนเท่านั้นซึ่งกล่าวได้ว่าเป็นระยะเวลาที่สั้นเกินไปที่จะแสดงให้เห็นได้ว่าองค์ประกอบมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาเพื่อพิสูจน์และตรวจสอบประสิทธภาพของโมเดลที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบ รวมไปถึงโมเดลที่ใช้ในการศึกษาตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวเพื่อการพิสูจน์โมเดลที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการมุ่งอธิบายการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้เป็นประโยชน์ทั้งในเชิงปฏิบัติและในเชิงวิชาการ ประโยชน์ในเชิงปฏิบัติคือ จะเป็นแนวทางในการเลือกโมเดลเพื่อใช้ในการวัดการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการของพัฒนาการ และใช้ในการศึกษาถึงตัวแปรที่สัมพันธ์ และเป็นตัวทำนายการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบที่สนใจศึกษาได้อย่างเหมาะสม ประโยชน์ในเชิงวิชาการในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่การนำวิธีวิทยาการวิจัย (research methodology) แนวใหม่ซึ่งเป็นครั้งแรกที่ได้นำมาใช้กับงานวิจัยในประเทศไทยคือ วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว (Longitudinal Factor Analysis) และโมเดลโค้งแห่งพัฒนาการ (Latent Growth Curve Model) ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาแบบแผนของการเปลี่ยนแปลง (pattern of change) กระบวนการของพัฒนาการ (development process) รวมถึงสามารถศึกษาปัจจัยที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงได้อย่างมีประสิทธิภาพนอกจากนี้วิธีการดังกล่าวยังสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของแบบแผนการเปลี่ยนแปลงระหว่างกลุ่ม ทั้งในกรณีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มในการวิจัยเชิงบรรยาย และในการวิจัยเชิงทดลองได้อีกด้วย (Meredith,1991; Rakov,1994) ผลจากการวิจัยในครั้งนี้จึงเสมือนการเปิดโลกทัศน์ของวิธีวิทยาการวิจัยอีกแนวทางหนึ่ง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาความก้าวหน้าทางด้านวิธีวิทยาการวิจัยต่อไป

รายงานเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทความฉบับนี้ ผู้วิจัยขอนำเสนอผลการศึกษาค้นคว้าเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพียง 3 ตอนได้แก่ ตอนแรกคือแนวคิดในการวัดการเปลี่ยนแปลงแนวใหม่ ตอนที่สองเป็นแนวคิดเกี่ยวกับโมเดลความสัมพันธ์ ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบกับตัวแปร ที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงและตอนที่สามเป็นเรื่องของดัชนีบ่งชี้ประสิทธิภาพของโมเดล ที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลง ส่วนเนื้อหาในตอนอื่น ๆ ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ตอนที่ 1 แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวกับการวัดการเปลี่ยนแปลงแนวใหม่

การวัดการเปลี่ยนแปลงแนวใหม่ได้นำโมเดลการวัดในรูปสมการโครงสร้างมาใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลง หรือการศึกษาถึงกระบวนการพัฒนาโดยใช้ข้อมูลที่มีการวัดหลาย ๆ ครั้ง การวัดการเปลี่ยนแปลงแนวใหม่นี้ มีหลายแนวความคิดด้วยกัน แนวคิดที่สำคัญได้แก่ โมเดลออโตรีเกรสซีฟ (autoregressive model) โมเดลดีฟเฟอร์เรนซ์คอมโพเนนท์ (difference component model) โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว (longitudinal factor analysis model) และโมเดลโค้งพัฒนาการ (growth curve model) ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจะเสนอรายละเอียดเฉพาะโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว (longitudinal factor analysis model) และโมเดลโค้งพัฒนาการ (growth curve model) เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องมาจากโมเดลดังกล่าว มีจุดเด่นที่เป็นข้อได้เปรียบกว่าโมเดลอื่น ๆ ดังที่ได้เสนอมาแล้วข้างต้น ส่วนโมเดลที่เหลือ ผู้ที่สนใจสามารถติดตามศึกษาได้จากบทความของ McArdle และ Aber (1990) ในหนังสือ *Statistical Methods in longitudinal Research Volume I* (Eye,1990) และในหนังสือ *Applied Computational Statistical Methods in longitudinal Research* (Rovien & Eye,1991)

1. โมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว (Baseline of Longitudinal Factor Analysis)

โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว มีแนวคิดว่า คะแนนดิบของแต่ละบุคคลที่วัดตัวแปรหนึ่ง ๆ ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ($Y_{m,t,n}$) จะประกอบไปด้วยคะแนนสองส่วนคือ คะแนนองค์ประกอบร่วม (common factor score) และคะแนนองค์ประกอบเฉพาะ (unique factor score) ของแต่ละบุคคลที่วัดตัวแปรนั้น ๆ ในช่วงเวลานั้น สามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้คือ

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

เมื่อ $Y_{m,t,n}$ คือ คะแนนดิบในการวัดตัวแปรที่ m ของคนที่ n ในช่วงเวลาที่ t ซึ่งเขียนในรูปคะแนนเบี่ยงเบนจากกลุ่ม

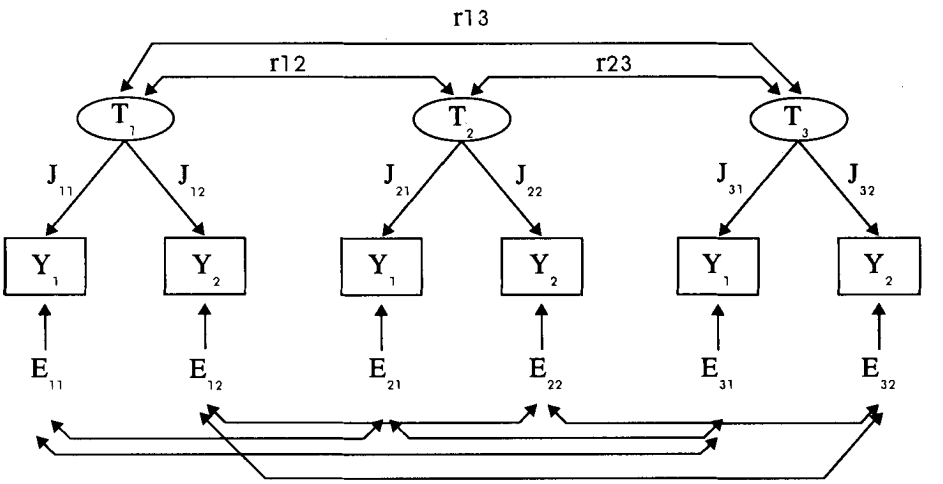
$T_{t,n}$ คือ คะแนนองค์ประกอบร่วมของคนที่ n ในการวัดครั้งที่ t

$U_{m,t,n}$ คือ คะแนนองค์ประกอบเฉพาะในการวัดตัวแปรที่ m ในช่วงเวลาที่ t $=E_{m,t,n}$

$J_{m,t}$ คือ น้ำหนักองค์ประกอบในการวัดตัวแปรที่ m ในช่วงเวลาที่ t

จากสมการที่ 1 จะเห็นได้ว่าคะแนนเบี่ยงเบนของการวัดตัวแปรที่ m ของคนที่ n ในช่วงเวลาที่ t ที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ย ประกอบไปด้วยส่วนสำคัญสองส่วน ส่วนแรกคือผลคูณของ

องค์ประกอบร่วม ($T_{t,n}$) กับน้ำหนักองค์ประกอบ (factor loading) และส่วนที่สองก็คือคะแนนองค์ประกอบเฉพาะ ($U_{m,t,n}$) หรือความคลาดเคลื่อนในการวัด ($E_{m,t,n}$) นั่นเอง ในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวนี้ องค์ประกอบร่วมที่วัดในแต่ละช่วงเวลาจะมีความสัมพันธ์กัน ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้จะบอกให้ทราบว่า องค์ประกอบร่วมที่วัดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งสามารถเป็นตัวทำนายองค์ประกอบร่วมที่วัดในช่วงเวลาที่ถัดไป (Eye & Rovine,1991; Tisak & Meredith,1990 ; McArdle & Aber,1990) โมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวสามารถเขียนได้ดังแผนภาพที่ 1



แผนภาพที่ 1 โมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว

จากแผนภาพที่ 1 T_1,T_2 และ T_3 เป็นองค์ประกอบร่วมที่วัดในช่วงเวลา t_1,t_2 และ t_3 ตามลำดับ โดยองค์ประกอบร่วมที่วัดในแต่ละช่วงเวลาจะถูกวัดด้วยตัวแปรสังเกตได้ 2 ตัวคือ Y_1 และY_2 เมื่อพิจารณาจากแผนภาพประกอบกับสมการที่ 1 จะเห็นได้ว่าตัวแปรสังเกตได้ที่วัดในช่วงเวลาต่างกันจะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญสองส่วน ส่วนแรกคือผลคูณของคะแนนองค์ประกอบร่วมกับน้ำหนักองค์ประกอบ (J_{11}, J_{12},...J_{32})ส่วนที่สองก็คือ คะแนนองค์ประกอบเฉพาะ ซึ่งสามารถเขียนแจกแจงในรูปสมการได้ดังต่อไปนี้คือ

คะแนนของตัวแปรสังเกตได้ที่วัดในช่วงเวลาที่ t_1

$$Y_{11} = J_{11}T_1 + E_{11}$$
$$Y_{12} = J_{12}T_1 + E_{12}$$

คะแนนของตัวแปรสังเกตได้ที่วัดในช่วงเวลาที่ t_2

$$Y_{21} = J_{21} T_2 + E_{21}$$
$$Y_{22} = J_{22} T_2 + E_{22}$$

คะแนนของตัวแปรสังเกตได้ที่วัดในช่วงเวลาที่ t_3

$$Y_{31} = J_{31} T_3 + E_{31}$$
$$Y_{32} = J_{32} T_3 + E_{32}$$

การวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว มีข้อตกลงเบื้องต้นที่สำคัญสองประการคือ ประการแรก ในการวัดครั้งเดียวกัน องค์ประกอบร่วมจะต้องไม่มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบเฉพาะ ข้อตกลงเบื้องต้นข้อนี้มีความเข้มงวดเป็นอย่างยิ่งในการวิเคราะห์องค์ประกอบ ข้อตกลงเบื้องต้นประการที่สองก็คือ องค์ประกอบเฉพาะที่วัดในช่วงเวลาเดียวกันจะต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน แต่สามารถมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบเฉพาะของตัวแปรเดียวกัน ที่วัดในช่วงเวลาที่ต่างกันได้ (Tisak & Meredith,1990) จากข้อตกลงเบื้องต้นข้อแรก เมื่อพิจารณาาจากแผนภาพที่ 1 จะพบว่าไม่มีลูกศรที่แสดงว่าองค์ประกอบร่วมและองค์ประกอบเฉพาะที่วัดในช่วงเวลาเดียวกันมีความสัมพันธ์ นั่นคือไม่มีลูกศรจาก E_{11}, E_{12} ไปยัง F_{t1} จาก E_{21}, E_{22} ไปยัง F_{t2} และจาก E_{31}, E_{32} ไปยัง T_3 ส่วนข้อตกลงเบื้องต้นข้อที่ 2 นั้น จะปรากฏลูกศรที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบเฉพาะของตัวแปรเดียวกันที่วัดในช่วงเวลาที่แตกต่างกันเท่านั้น

ในการศึกษาการวัดการเปลี่ยนแปลงนั้น นักวิจัยให้ความสำคัญกับความคงที่ของพารามิเตอร์ของคะแนนองค์ประกอบเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพราะนักวิจัยต้องการตอบคำถามการวิจัยที่ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้กับองค์ประกอบร่วม ซึ่งวัดในช่วงเวลาที่แตกต่างกันยังคงมีค่าคงที่หรือไม่ การศึกษาความสัมพันธ์ดังกล่าวในการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ก็คือ การพิจารณาความคงที่ (stationarity) ของพารามิเตอร์ของคะแนนองค์ประกอบ ในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่มีตัวแปรแฝง ซึ่งถึงแม้ว่าจะวัดองค์ประกอบดังกล่าวนี้ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ค่าพารามิเตอร์ขององค์ประกอบนี้ก็ยังมีค่าคงที่เช่นเดิม หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งก็คือ ความคงที่ของโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว (stationarity of longitudinal factor analytic model) ก็คือความไม่แปรเปลี่ยนขององค์ประกอบที่วัดในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ในทางกลับกันการที่องค์ประกอบที่วัดในช่วงเวลาที่แตกต่างกันไม่มีความคงที่ ย่อมแสดงให้เห็นว่า พารา-มิเตอร์ขององค์ประกอบดังกล่าว เกิดการแปรเปลี่ยนไปในช่วงเวลาที่ทำการวัดต่างกัน (Tisak & Meredith,1990)

สิ่งที่พิจารณาอีกประการหนึ่งในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ขององค์ประกอบ ก็คือ การพิจารณาความไม่แปรเปลี่ยนของแบบแผนขององค์ประกอบ (invariance of factor pattern) จุดมุ่งหมายของการวิเคราะห์ความไม่แปรเปลี่ยนของแบบแผนขององค์ประกอบในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบ ก็คือการตรวจสอบว่าแบบแผนขององค์ประกอบเดียวกันในกลุ่มประชากรที่แตกต่างกันจะมีความแตกต่างกันหรือไม่ ดังนั้นเมื่อผลการวิเคราะห์องค์ประกอบพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้กับตัวแปรแฝงของประชากรในแต่ละกลุ่มมีความคงที่ ย่อมแสดงว่าแบบแผนขององค์ประกอบที่วัดจากกลุ่มประชากรที่แตกต่างกัน ไม่มีความแปรเปลี่ยน หรือกล่าวได้ว่าแบบแผนขององค์ประกอบของประชากรในแต่ละกลุ่ม เป็นแบบแผนเดียวกัน ในการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ความคงที่และความไม่แปรเปลี่ยนของโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบ (stationarity and invariance of longitudinal factor analytic model) มีความสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพราะโมเดลดังกล่าวสามารถเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาและระหว่างกลุ่มประชากรได้โดยตรง (Tisak & Meredith,1990)

2. โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว (Longitudinal Factor Analysis with Single Indicator Model)

Raykov(1994) ได้นำวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวนี้มาประยุกต์ใช้ในการวัดการเปลี่ยนแปลง และใช้ในการศึกษาถึงตัวแปรที่มีความสำคัญกับการเปลี่ยนแปลงด้วย ในการวัดการเปลี่ยนแปลง Raykov ได้ให้ความสำคัญกับการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องในระยะยาว ดังนั้นโมเดลการวัดในรูปสมการโครงสร้างที่พัฒนาขึ้นจึงเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวโดยใช้ข้อมูลจากการวัดหลายๆ ครั้ง โมเดลที่พัฒนาขึ้นนี้ ทำการวัดองค์ประกอบโดยใช้ตัวบ่งชี้เพียงตัวเดียวจึงให้ชื่อว่า โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียวมีแนวคิดในการวัดตัวแปรตามทฤษฎีการวัดแบบดั้งเดิม (CTT) คะแนนดิบของตัวแปรสังเกตได้ที่วัดในแต่ละช่วงเวลาจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบสำคัญซึ่งอยู่ในรูปตัวแปรแฝง 3 ส่วน ส่วนแรก คือ องค์ประกอบในสถานะเริ่มต้น (initial factor ; T_{ini}) ส่วนที่สองคือ องค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด (overall change factor ; T_{ova}) องค์ประกอบในส่วนนี้ จะเป็นผลคูณของน้ำหนักองค์ประกอบกับคะแนนการเปลี่ยนแปลง ที่อยู่ในรูปตัวแปรแฝงระหว่างการวัดในครั้งแรกกับการวัดครั้งสุดท้าย และส่วนที่สามก็คือองค์ประกอบเฉพาะ (δ_{jk}) จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถเขียนในรูปสมการได้ดังสมการที่ 2 และรูปโมเดลในแผนภาพที่ 2 ดังนี้

$$T_{jk} = T_{j1} + a_{jk}(T_{jp} - T_{j1}) + \delta_{jk} \quad \text{.....(2)}$$

เมื่อ T_{jk} คือ คะแนนองค์ประกอบในรูปตัวแปรแฝงของตัวแปรที่ j ในการวัดครั้งที่ k

j คือ ลำดับที่ของตัวแปรซึ่งมีจำนวน m ตัวแปร ($j = 1,2,\ldots, m$)

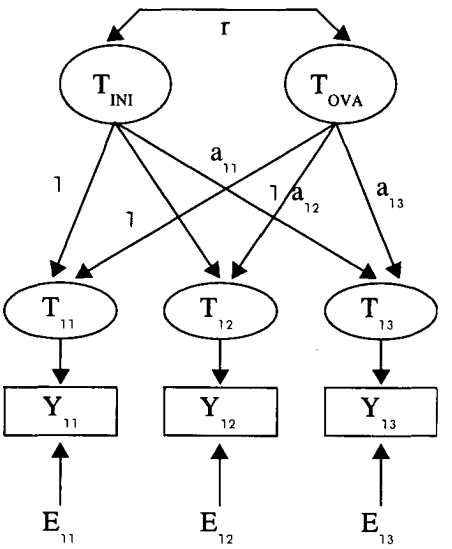
k คือ ลำดับที่ในการวัดตัวแปรแต่ละตัวซึ่งมีจำนวน p ครั้ง ($k = 1,2,\ldots, p_j$)

T_{j1} คือ องค์ประกอบในสถานะเริ่มต้นซึ่งก็คือคะแนนที่อยู่ในรูปตัวแปรแฝงของการวัดตัวแปรที่ j ในครั้งแรก

T_{jp} คือ คะแนนที่อยู่ในรูปตัวแปรแฝงของการวัดตัวแปรที่ j ในครั้งสุดท้าย

δ_{jk} คือ องค์ประกอบเฉพาะของตัวแปรที่วัดในแต่ละครั้งซึ่งก็คือเทอมความคลาดเคลื่อนในการวัด (E_{jk}) นั่นเองและองค์ประกอบเฉพาะดังกล่าวมีข้อตกลงเบื้องต้นว่าค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ ศูนย์

a_{jk} คือ พารามิเตอร์ที่บ่งชี้ อัตราการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นซึ่งจะถูกประมาณค่าจากข้อมูลเชิงประจักษ์



แผนภาพที่ 2 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว

เมื่อพิจารณาจากแผนภาพที่ 2 ประกอบกับสมการที่ 2 จะพบว่า ตัวแปรสังเกตได้ Y_{11},Y_{12} และ Y_{13} เป็นตัวแปรตัวเดียวกันแต่วัดในช่วงเวลาต่างกัน คือ t_1,t_2 และ t_3 ตามลำดับ คะแนนดิบของตัวแปร Y_{11},Y_{12} และ Y_{13} ประกอบด้วยองค์ประกอบสามส่วนดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้น ถ้าในกรณีที่มีตัวแปรสังเกตได้ที่ต้องการวัดจำนวน m ตัว และทำการวัดซ้ำเป็นจำนวน p ครั้ง

คะแนนดิบของตัวแปรที่วัดในแต่ละครั้ง (Y_{11},..., $Y_{1,p1}$;Y_{21},..., $Y_{2,p2}$;...; $Y_{m,1}$,..., $Y_{m,pm}$) จะสามารถเขียนแจกแจงได้ดังต่อไปนี้คือ

คะแนนดิบของตัวแปรที่ 1 ที่มีการวัดซ้ำ p ครั้ง (j = 1; k= p)

$$Y_{11} = T_{11} + E_{11} \qquad [=T_{11} + o(T_{1p1} - T_{11}) + E_{11}]$$
$$Y_{12} = T_{11} + a_{12}(T_{1p1} - T_{11}) + E_{12}$$
$$Y_{13} = T_{11} + a_{13}(T_{1p1} - T_{11}) + E_{13}$$

.

.

.

$$Y_{1,p1-1} = T_{11} + a_{1p1-1}(T_{1p1} - T_{11}) + E_{1p1-1}$$
$$Y_{1,p1} = T_{1p} + E_{1p1} \qquad [=T_{11} + 1(T_{1p} - T_{11}) + E_{2p2}]$$

คะแนนดิบของตัวแปรที่ 2 ที่มีการวัดซ้ำ p ครั้ง (j = 2 ; k = p)

$$Y_{21} = T_{21} + E_{21} \qquad [=T_{21} + o(T_{2p2} - T_{21}) + E_{21}]$$
$$Y_{22} = T_{21} + a_{22}(T_{2p2} - T_{21}) + E_{22}$$
$$Y_{23} = T_{21} + a_{23}(T_{2p2} - T_{21}) + E_{23}$$

.

.

.

$$Y_{2,p2-1} = T_{21} + a_{2,p2-1}(T_{2p2} - T_{21}) + E_{2,p2-1}$$
$$Y_{2,p2} = T_{2p2} + E_{2p2} \qquad [=T_{21} + 1(T_{2p2} - T_{21}) + E_{2p2}]$$

คะแนนดิบของตัวแปรที่ m ที่มีการวัดซ้ำ p ครั้ง (j = m ; k=p)

$$Y_{m1} = T_{m1} + E_{m1} \qquad [=T_{m1} + o(T_{m,pm} - T_{m1}) + E_{m1}]$$
$$Y_{m2} = T_{m1} + a_{m2}(T_{m,pm} - T_{m1}) + E_{m2}$$
$$Y_{m3} = T_{m1} + a_{m3}(T_{m,pm} - T_{m1}) + E_{m3}$$

.

.

.

$$Y_{m,pm-1} = T_{m1} + a_{m,pm-1}(T_{m,pm} - T_{m1}) + E_{m,pm-1}$$
$$Y_{m,pm} = T_{m,p} + E_{m,pm} \qquad [=T_{m1} + 1(T_{m,pm} - T_{m1}) + E_{m,pm}]$$

จากสมการที่แจกแจงมาข้างต้น ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ $a_{11}, a_{12} \ldots a_{1,p1}$; a_{21}, $a_{22} \ldots a_{2,\,p2}$;...; a_{m1} , a_{m2},..., $a_{m,\,pm}$ ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบที่วัดในแต่ละครั้ง จะถูกประมาณค่าจากข้อมูล เมื่อพิจารณาจากแผนภาพที่ 2 จะพบว่ามีการกำหนดให้ลูกศรทิศทางเดียว จากองค์ประกอบ T_{INI} ไปยังตัวแปรสังเกตได้ Y_{11}, Y_{12} และ Y_{13} มีค่าเท่า 1 ทั้งนี้เนื่องมาจาก T_{INI} ถูกกำหนดให้มีสถานะเป็นองค์ประกอบเริ่มต้นของตัวแปร Y_{11}, Y_{12}, และ Y_{13} การกำหนดให้น้ำหนักองค์ประกอบมีค่าเท่ากับ 1 ดังกล่าว จึงทำให้องค์ประกอบในสถานะเริ่มต้นของตัวแปรทั้งสามมีค่าเท่ากัน นอกจากนี้ในการวัดองค์ประกอบครั้งแรก ถือว่าเป็นการวัดองค์-ประกอบในสถานะเริ่มต้นถือว่ายังไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ a_{11} มีค่าเท่ากับศูนย์ โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียวที่ Raykov (1994) พัฒนาขึ้นมาแนวคิดการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวนี้ สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากบทความเรื่อง *Factor analysis model* (McArdle Anderson,1990; McArdle & Aber,1990) และจากบทความเรื่อง *Factor analysis model* (Meredith & Tisak,1990)

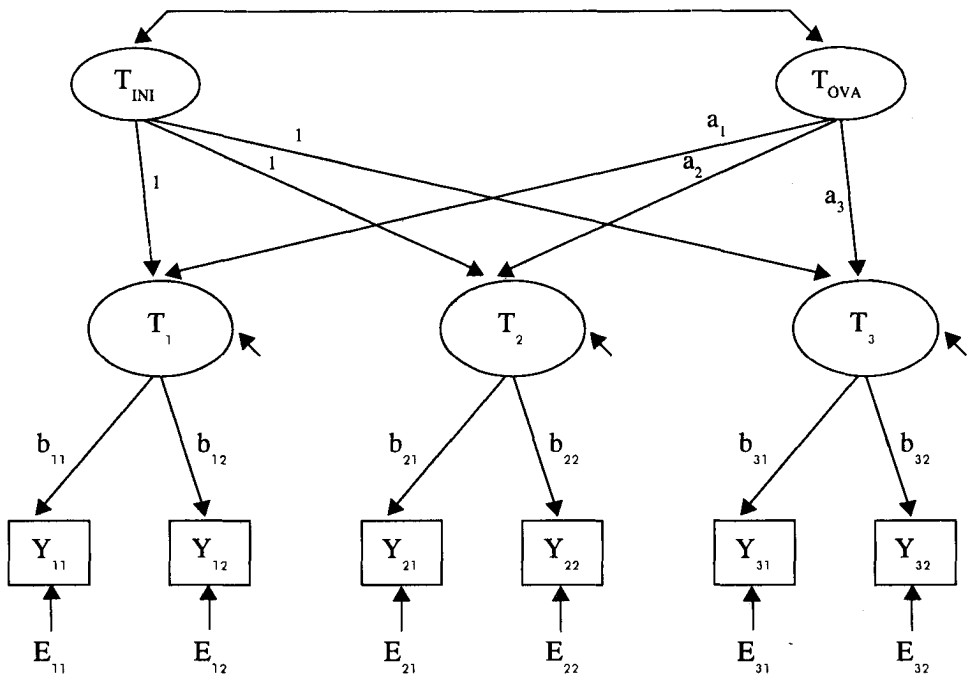
3. โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว (Longitudinal Factor Analysis with Several Indicators model)

โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว เป็นโมเดลที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะ(trait) ที่มีการวัดซ้ำหลายๆ ครั้งด้วยตัวบ่งชี้ตัวแปรแฝงนั้นเพียงตัวเดียว ซึ่งไม่สอดคล้องกับแนวคิดในการวัดคุณลักษณะทางจิตวิทยาที่เสนอว่า การวัดโครงสร้างองค์ประกอบที่เป็นคุณลักษณะทางจิตวิทยา หรือตัวแปรแฝง (latent variable) ควรทำการวัดจากดัชนีบ่งชี้องค์ประกอบหลายๆตัว (Bollen,1989; Joreskog & Sorborn, 1989; Raykov,1994) ทั้งนี้เพราะการวัดองค์ประกอบใดๆ ด้วยตัวบ่งชี้เพียงตัวเดียว จะให้สารสนเทศเกี่ยวกับองค์ประกอบนั้นๆ เพียงด้านใดด้านหนึ่งซึ่งจะทำให้โครงสร้างขององค์ประกอบที่วัดได้นั้นขาดทั้งความเที่ยง (reliability) และความตรง (validity) ดังนั้น โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบจึงสมควรวัดด้วยดัชนีบ่งชี้ตัวแปรแฝงนั้นหลายๆ ตัว ซึ่งจะเรียกโมเดลต่อไปนี้ว่าโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว แนวคิดที่ใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของโมเดลนั้น ยังคงใช้แนวคิดทฤษฎีการวัดแบบดั้งเดิมเช่นเดียวกับ การประมาณค่าพารามิเตอร์ ในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัวนี้สามารถเขียนแสดงในรูปสมการได้ดังในสมการที่ 3 และโมเดลในแผนภาพที่ 3 ดังนี้

$$T_k = T_1 + a_k(T_p - T_1) + \delta_k, \quad k = 1,2,\ldots,p \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

เมื่อ $T_1, T_2, \ldots, T_p$ = คะแนนองค์ประกอบร่วมในรูปตัวแปรแฝงที่ทำการวัดในครั้งที่ 1, ที่2, จนถึงครั้งที่ p ด้วยตัวบ่งชี้หลาย ๆ ตัว

δ_k = องค์ประกอบเฉพาะที่ทำการวัดตัวแปรในครั้งนั้น ๆ ซึ่งก็คือเทอมความคลาดเคลื่อนในการวัดนั่นเอง



แผนภาพที่ 3 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว

เมื่อพิจารณาจากสมการที่ 3 ประกอบกับแผนภาพที่ 3 จะพบว่า องค์ประกอบร่วมที่วัดในช่วงเวลาต่าง ๆ กันยังคงประกอบไปด้วยองค์ประกอบสำคัญสามส่วน ส่วนแรกคือ องค์ประกอบในสถานะเริ่มต้น (T_{INI}) ส่วนที่สองคือองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด (T_{OVA}) และส่วนที่สามคือองค์ประกอบเฉพาะ (δ_k) หรือเทอมความคลาดเคลื่อนในการวัดเช่นเดียวกับโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว แต่มีความแตกต่างกันตรงที่ในโมเดลนี้องค์ประกอบร่วมที่วัดในแต่ละช่วงเวลา จะถูกวัดด้วยตัวแปรสังเกตได้หลาย ๆ ตัว นั่นคือ T_1, T_2, T_3

เป็นองค์ประกอบร่วมของตัวแปร Y_1 และ Y_2 ซึ่งวัดในแต่ละช่วงเวลา t_1,t_2 และ t_3 ตามลำดับ ดังนั้น คะแนนดิบของตัวแปรสังเกตได้ Y_1 และ Y_2 จะประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญสองส่วน คือ องค์ประกอบร่วมกับองค์ประกอบเฉพาะดังที่แสดงไว้ในสมการที่ 1 ของโมเดลพื้นฐานของการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ในขณะเดียวกันองค์ประกอบร่วมที่วัดในแต่ละช่วงเวลา ก็จะประกอบด้วยส่วนสำคัญสามส่วน ส่วนแรกคือ องค์ประกอบในสถานะเริ่มต้น (T_{INI}) ส่วนที่สองคือ องค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด (T_{OVA}) และส่วนที่สามคือองค์ประกอบเฉพาะ (δ_k) หรือเทอมความคลาดเคลื่อนในการวัด จากสมการที่ 3 และแผนภาพที่ 3 คะแนนดิบของตัวแปรสังเกตได้ Y_1 และ Y_2 ที่วัดในช่วงเวลาต่างกันจึงสามารถเขียนแจกแจงได้ดังต่อไปนี้

คะแนนดิบในการวัดครั้งแรกของตัวแปร Y_1 และ Y_2

$$Y_{11} = b_{11}T_1 + E_{11} \qquad \{=b_{11}[T_1 + o(T_p - T_1)] + E_{11}\}$$

$$Y_{12} = b_{12}T_1 + E_{12} \qquad \{=b_{12}[T_1 + o(T_p - T_1)] + E_{12}\}$$

คะแนนดิบในการวัดครั้งที่ 2 ของตัวแปร Y_1 และ Y_2

$$Y_{21} = b_{21}T_2 + E_{21} \qquad \{=b_{21}[T_1 + a_2(T_p - T_1)] + E_{21}\}$$

$$Y_{22} = b_{22}T_2 + E_{22} \qquad \{=b_{22}[T_1 + a_2(T_p - T_1)] + E_{22}\}$$

คะแนนดิบในการวัดครั้งที่ 3 ของตัวแปร Y_1 และ Y_2

$$Y_{31} = b_{31}T_3 + E_{31} \qquad \{=b_{31}[T_1 + a_3(T_p - T_1)] + E_{31}\}$$

$$Y_{32} = b_{32}T_3 + E_{32} \qquad \{=b_{32}[T_1 + a_3(T_p - T_1)] + E_{32}\}$$

ในกรณีที่มีการวัดตัวแปรสังเกตได้จำนวน q ตัวแปร และทำการวัดซ้ำเป็นจำนวน p ครั้ง

คะแนนดิบในการวัดครั้งที่ p-1 ของตัวแปรตัวแปรจำนวน q ตัว จึงเป็นดังนี้

$$Y_{p-1,1} = b_{p-1,1}T_{p-1} + E_{p-1,1} \qquad \{=b_{p-1,1}[T_1 + a_{p-1}(T_p - T_1)] + E_{p-1,1}\}$$

$$Y_{p-1,2} = b_{p-1,2}T_{p-1} + E_{p-1,2} \qquad \{=b_{p-1,2}[T_1 + a_{p-1}(T_p - T_1)] + E_{p-1,2}\}$$

$$Y_{p-1,3} = b_{p-1,3}T_{p-1} + E_{p-1,3} \qquad \{=b_{p-1,3}[T_1 + a_{p-1}(T_p - T_1)] + E_{p-1,3}\}$$

.

.

.

$$Y_{p-1,qp-1} = b_{p-1,qp-1}T_{p-1} + E_{p-1,1} \qquad \{=b_{p-1,qp-1}[T_1 + a_{p-1}(T_p - T_1)] + E_{p-1,qp-1}\}$$

คะแนนดิบในการวัดครั้งที่ p ของตัวแปรตัวแปรจำนวน q ตัว

$$Y_{p1} = b_{p1} T_p + E_{p1} \qquad \{= b_{p1}[T_1 + 1(T_p - T_1)] + E_{p1}\}$$

$$Y_{p2} = b_{p2} T_p + E_{p2} \qquad \{= b_{p2}[T_1 + 1(T_p - T_1)] + E_{p2}\}$$

$$Y_{p3} = b_{p3} T_p + E_{p3} \qquad \{= b_{p3}[T_1 + 1(T_p - T_1)] + E_{p3}\}$$

.

.

.

$$Y_{p,pq} = b_{p,pq} T_1 + E_{p,pq} \qquad \{= b_{p,pq}[T_1 + 1(T_p - T_1)] + E_{p,pq}\}$$

จากสมการที่แสดงการแจกแจงคะแนนดิบของตัวแปรสังเกตได้ที่แสดงมาทั้งหมด ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ $b_{11},....,b_{1,q1}$; $b_{21},... ,b_{2,q2}$; $b_{p1},.....,b_{p,qp}$ เป็นค่าพารามิเตอร์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้กับองค์ประกอบร่วมที่วัดในแต่ละช่วงเวลา ส่วน $a_1,...., a_p$ เป็นค่าพารามิเตอร์ของโมเดลอีกชุดหนึ่ง ที่ใช้ในการอธิบายองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลง ที่วัดในแต่ละช่วงเวลาซึ่งค่าพารามิเตอร์ของโมเดลทั้งหมดนี้จะถูกประมาณค่าจากข้อมูล อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากแผนภาพที่ 3 จะพบว่ามีการกำหนดให้ลูกศรทิศทางเดียว จากองค์ประกอบ T_{INI} ไปยังองค์ประกอบร่วม T_1,T_2 และ T_3 มีค่าเท่ากับ 1 ทั้งนี้เนื่องมาจาก T_{INI} ถูกกำหนดให้มีสถานะเป็นองค์ประกอบเริ่มต้นขององค์ประกอบร่วมT_1,T_2 และ T_3 การกำหนดให้น้ำหนักองค์ประกอบมีค่าเท่ากับ 1 ดังกล่าว จึงทำให้องค์ประกอบในสถานะเริ่มต้นของตัวแปรทั้งสามมีค่าเท่ากัน นอกจากนี้ในการวัดองค์ประกอบครั้งแรกถือว่าเป็นการวัดองค์ประกอบในสถานะเริ่มต้นถือว่ายังไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ a_1 มีค่าเท่ากับศูนย์ เช่นเดียวกับการกำหนดพารามิเตอร์ ในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว

ตอนที่ 2 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝงที่วัดการเปลี่ยนแปลงกับตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง

ในการวิจัยในครั้งนี้นอกจากการให้ความสนใจกับการวัดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบแล้วสิ่งที่สนใจอีกประการหนึ่ง ก็คือ การศึกษาปัจจัยหรือองค์ประกอบภายนอกที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง ตัวแปรที่สัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงจะวัดอยู่ในรูปตัวแปรคอนเจนเนอริกที่องค์ประกอบร่วมจะทำการวัดจากตัวแปรสังเกตได้หลายๆ ตัว สามารถเขียนในรูปของคะแนนจริงตามทฤษฎีการวัดแบบดั้งเดิมได้ดังนี้

$$X_{cg} = d_g T_c + E_{cg} \quad \text{.....(4)}$$

เมื่อกำหนดให้ X_c หมายถึง คะแนนสังเกตของตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงตัวที่ g

g หมายถึง ลำดับที่ของจำนวนตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง

T_c หมายถึง ค่าคะแนนจริงของตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง

E_{cg} หมายถึง ความคลาดเคลื่อนในการวัดตัวแปร

ดังนั้น คะแนนดิบของตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงซึ่งวัดจากตัวแปรสังเกตได้จำนวน g ตัว จึงสามารถเขียนแจกแจงได้ดังต่อไปนี้

$$X_{c1} = d_1 T_c + E_{c1}$$

$$X_{c2} = d_2 T_c + E_{c2}$$

.

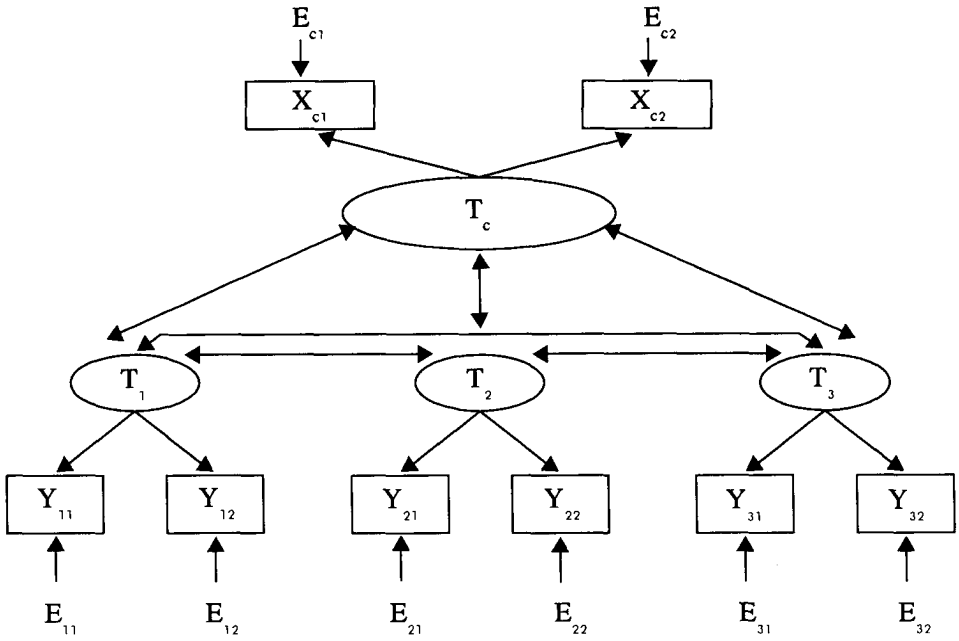
.

.

$$X_{cg} = d_g T_c + E_{cg}$$

ค่าคงที่ $d_1, d_2, \ldots\ldots, d_g$ เป็นพารามิเตอร์ของโมเดลการวัดตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะถูกประมาณค่าจากข้อมูลเช่นเดียวกับพารามิเตอร์ทั้งหลาย ในแต่ละโมเดลในการศึกษาตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง ค่าพารามิเตอร์ที่สนใจจึงได้แก่ ค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างองค์ประกอบของตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง กับองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้ด้วยโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวแต่ละโมเดล ซึ่งแสดงด้วยแผนภาพดังต่อไปนี้

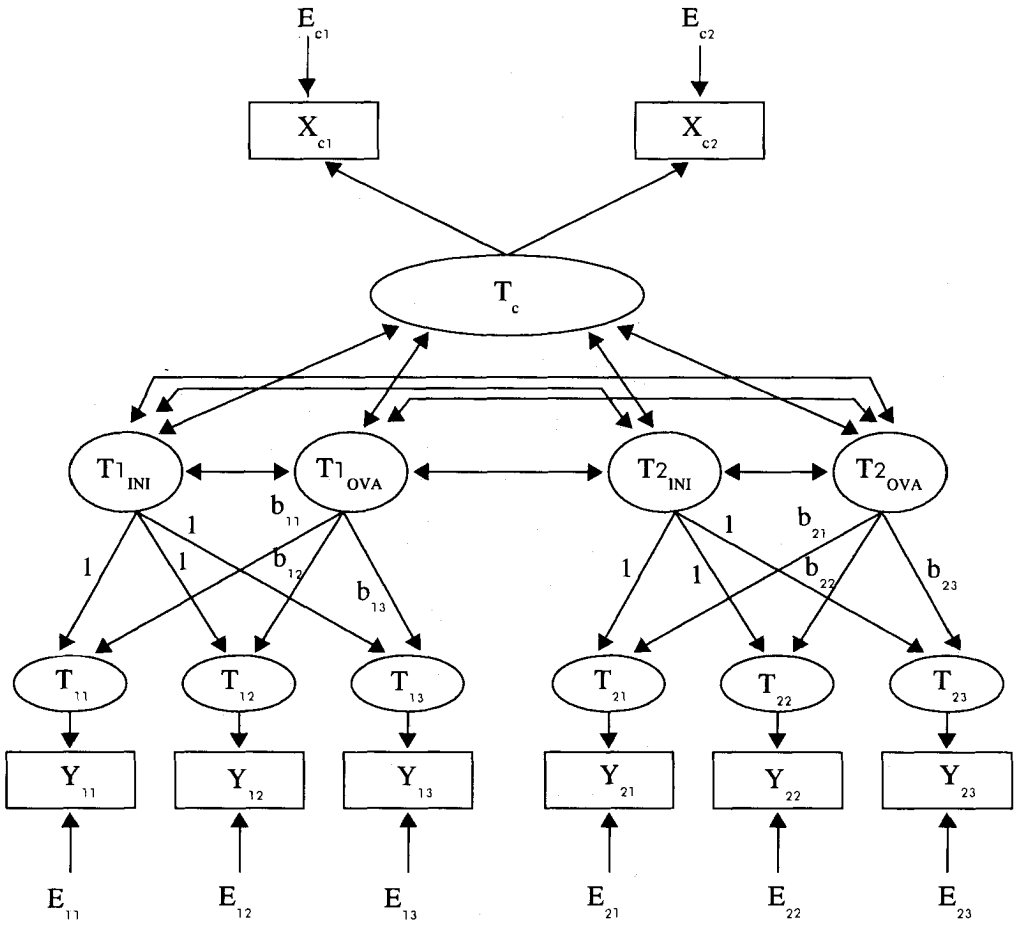
แผนภาพที่ 4 เป็นโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลง ที่ได้จากโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวกับองค์ประกอบอื่นๆ พารามิเตอร์ที่สนใจคือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างองค์ประกอบของตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง กับคะแนนองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลง ซึ่งได้แก่ $r(T_c, T_2 - T_1)$, $r(T_c, T_3 - T_2)$, $r(T_c, T_3 - T_1)$ ซึ่งแสดงไว้ด้วยลูกศรสองทิศทางในโมเดล นั่นเอง



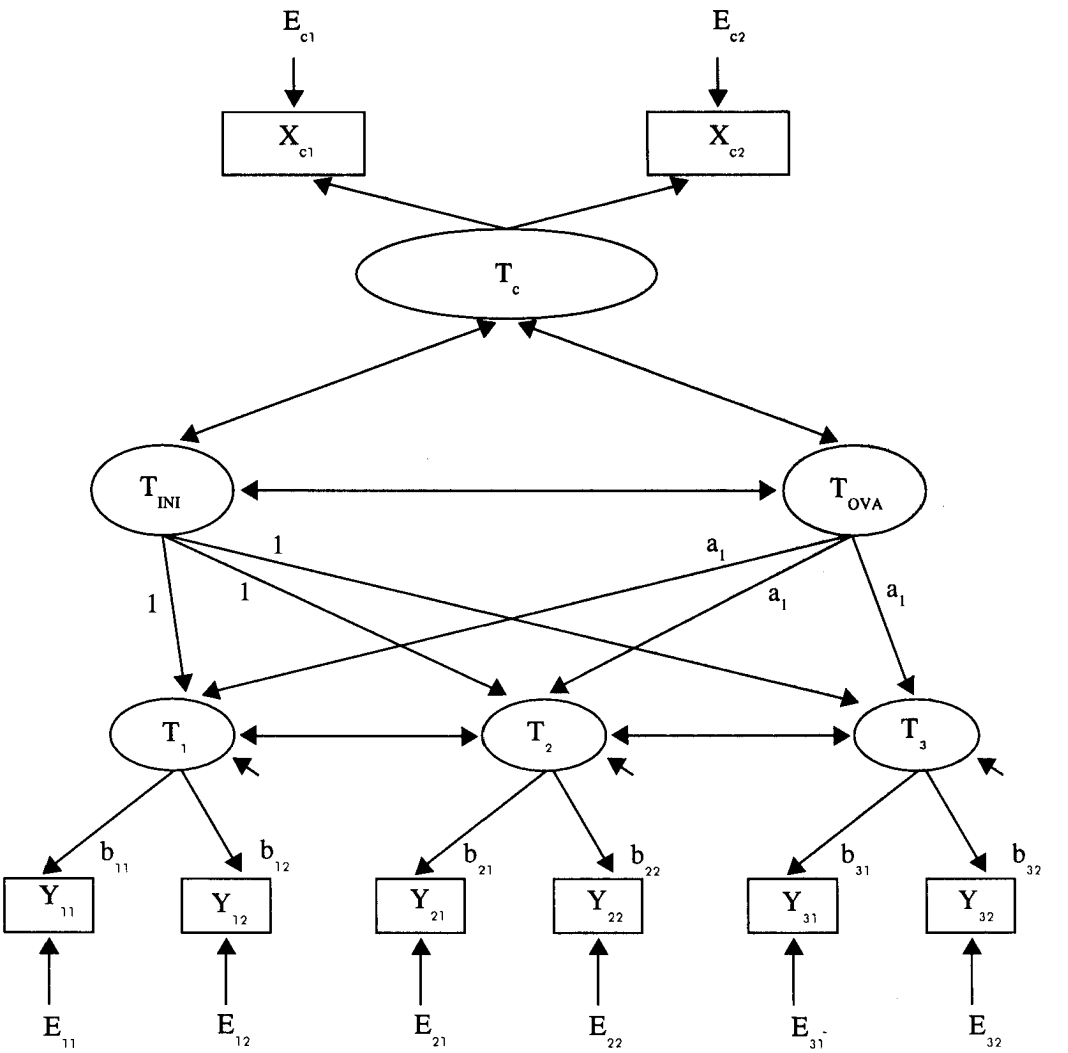
แผนภาพที่ 4 โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว

แผนภาพที่ 5 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลง ที่ได้จากโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว กับองค์ประกอบอื่น ๆ พารามิเตอร์ที่สนใจคือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงกับคะแนนองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงซึ่งได้แก่ $r(T_c, T_{1,p1}-T_{11})$, $r(T_c, T_{2,p2}-T_{21})$ ดังที่แสดงไว้ด้วยลูกศรสองทิศทางโมเดลนั่นเอง

แผนภาพที่ 6 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลง ที่ได้จากโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลาย ๆ ตัว กับองค์ประกอบอื่น ๆ พารา-มิเตอร์ที่สนใจ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง องค์ประกอบของตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงกับคะแนนองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงซึ่งได้แก่ $r(T_p - T_1, T_c)$ ดังที่ได้แสดงไว้ด้วยลูกศรสองทิศทางในโมเดล นั่นเอง



แผนภาพที่ 5 โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว



แผนภาพที่ 6 โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว

ตอนที่ 3 ดัชนีบ่งชี้ประสิทธิภาพของโมเดลที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมีจุดประสงค์เพื่อการศึกษาประสิทธิภาพของโมเดลที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลง ผู้วิจัยมุ่งศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลใน 2 ประการคือ การเปรียบ-เทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปสมการโครงสร้าง และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลลิสเรลหรือโมเดลความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลง ดัชนีบ่งชี้ประสิทธิภาพของโมเดลมีดังนี้

1. ดัชนีบ่งชี้ประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปสมการโครงสร้าง

1.1. ค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดล กับข้อมูลเชิงประจักษ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมลิสเรล ถ้าโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ค่าดัชนีความสอดคล้องเช่น ค่าไค-สแควร์มีค่าต่ำและไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นย่อมหมายความว่าโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงมีประสิทธิภาพ (Tisak & Meredith,1990; Raykov,1994) ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์อื่นๆ ได้แก่ ค่า GFI ค่า RMR เป็นต้น

1.2 ความคงที่ของคะแนนองค์ประกอบ (stationarity of factors pattern across times) คือความไม่แปรเปลี่ยนขององค์ประกอบที่วัดในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ดังนั้นการที่องค์ประกอบที่วัดในช่วงเวลาที่แตกต่างกันไม่มีความคงที่ (lack of stationarity) จึงเป็นสิ่งที่แสดงว่าค่าพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น (Tisak & Meredith,1990) การเปรียบเทียบความคงที่ขององค์ประกอบในการวิจัยครั้งนี้ ก็คือการเปรียบเทียบว่าโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงแต่ละแบบ จะให้คำอธิบายความคงที่ของค่าพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบแตกต่างกันหรือไม่นั่นเองค่าดัชนีที่บ่งชี้ถึงความคงที่ของคะแนนองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้แก่ ผลต่างระหว่างไค-สแควร์ (difference chi-square) ที่ได้จากโมเดลการวัด เมื่อค่าน้ำหนักองค์ประกอบมีค่าต่างกันในแต่ละช่วงเวลา กับไค-สแควร์ที่ได้จากโมเดลการวัด เมื่อกำหนดค่าน้ำหนักองค์ประกอบให้มีค่าเท่ากันในทุกช่วงเวลา ถ้าผลต่างค่าไค-สแควร์มีค่าต่ำ และไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแสดงว่าโมเดลการวัดมีความคงที่ของคะแนนองค์ประกอบในการวัดการเปลี่ยนแปลง จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะปฏิเสธสมมุติฐานที่ว่า ค่าน้ำหนักองค์ประกอบที่วัดได้ในช่วงเวลาต่างกัน มีค่าเท่ากัน ซึ่งนั่นย่อมหมายถึงว่าองค์ประกอบที่วัดในช่วงเวลาต่างกันมีการเปลี่ยนแปลงไปนั่นเอง จึงกล่าวได้ว่าโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงนั้นมีประสิทธิภาพที่สามารถระบุการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบได้ (Tisak & Meredith, 1990; Raykov,1994 ; McArdle & Aber,1990)

1.3 ความไม่แปรเปลี่ยนของแบบแผนองค์ประกอบ (invariance of factor pattern across groups) เป็นการตรวจสอบว่าแบบแผนองค์ประกอบ (factor pattern) ในกลุ่มประชากรที่แตกต่างกันจะมีความแตกต่างกันหรือไม่ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งคือ แบบแผนขององค์ประกอบของประชากรในแต่ละกลุ่มเป็นแบบแผนเดียวกันหรือไม่ ในการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว โมเดลการวิเคราะห์ความคงที่และความไม่แปรเปลี่ยนขององค์ประกอบ (stationarity and invariance longitudinal factor model) มีความสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพราะโมเดลดังกล่าวสามารถเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างช่วงเวลาและระหว่างกลุ่มประชากรได้โดยตรง (Tisak & Meredith,1990) ในการเปรียบเทียบความไม่แปรเปลี่ยนของแบบแผนขององค์ประกอบในการวิจัยครั้งนี้ ก็คือ การเปรียบเทียบว่าโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงแต่ละแบบจะให้คำอธิบายแบบแผน

องค์ประกอบแตกต่างกันหรือไม่นั่นเอง ค่าดัชนีความไม่แปรเปลี่ยนของแบบแผนในองค์ประกอบดังกล่าวได้แก่ ผลต่างระหว่างไค-สแควร์ ที่ได้จากโมเดลการวัดของกลุ่มประชากรหนึ่ง กับไค-สแควร์ที่ได้จากโมเดลการวัด เมื่อกำหนดค่าน้ำหนักองค์ประกอบให้มีค่าเท่ากับ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบของกลุ่มประชากรอีกกลุ่มหนึ่ง ถ้าผลต่างค่าไค-สแควร์มีค่าต่ำและไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแสดงว่าโมเดลการวัดมีความไม่แปรเปลี่ยนของแบบแผนน้ำหนักองค์ประกอบ ในทางกลับกันถ้าผลการทดสอบปฏิเสธสมมุติฐานดังกล่าว นั่นแสดงว่า แบบแผนน้ำหนักองค์ประกอบที่วัดจากกลุ่มที่แตกต่างกันไม่มีคุณสมบัติของความไม่แปรเปลี่ยนระหว่างกลุ่ม ผลการทดสอบดังกล่าวแสดงว่ากลุ่มที่แตกต่างกันมีการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝงที่แตกต่างกันนั่นเอง และโมเดลการวัดมีประสิทธิภาพ (Tisak & Meredith,1990 ; Raykov,1994 ; McArdle & Aber,1990)

2. ดัชนีบ่งชี้ประสิทธิภาพของโมเดลลิสเรล (LISREL model) หรือโมเดลความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นโมเดลที่ใช้เพื่อศึกษาว่าปัจจัยใดที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของคะแนนองค์ประกอบ ดัชนีบ่งชี้ประสิทธิภาพของโมเดล ได้แก่

2.1 ค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมลิสเรล ถ้าโมเดลลิสเรลมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ค่าดัชนีความสอดคล้องเช่นค่าไค-สแควร์มีค่าต่ำและไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นย่อมหมายความว่าโมเดลลิสเรลมีประสิทธิภาพ (Tisak & Meredith,1990 ; McArdle & Aber,1990 ; Raykov,1993,1994) ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์อื่นๆ ได้แก่ ค่า GFI ค่า RMR เป็นต้น

2.2 ความไม่แปรเปลี่ยนของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลง กับตัวแปรอื่นๆ ที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง วัดได้จากผลต่างระหว่างไค-สแควร์ที่ได้จากโมเดลลิสเรล แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงกับตัวแปรอื่นๆที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าต่างกันในแต่ละช่วงเวลา กับไค-สแควร์ที่ได้จากโมเดลลิสเรล แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงกับตัวแปรอื่นๆ ที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง เมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่วัดในช่วงเวลาต่างกัน ให้มีค่าเท่ากัน ถ้าผลต่างไค-สแควร์มีค่าต่ำ และไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแสดงว่า โมเดลความสัมพันธ์มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไม่แปรเปลี่ยน (Raykov,1994)

สมมุติฐานของการวิจัย

1. ในด้านประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง ผู้วิจัยตั้งสมมุติฐานว่าโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว จะมีประสิทธิภาพในการวัดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบระยะยาวได้ดีที่สุด รองลงไปคือ โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบ

ระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว และสุดท้ายคือโมเดลพื้นฐานของการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ทั้งนี้เพราะโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบได้ทั้งที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา และที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาได้ ส่วนโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียวสามารถอธิบายได้เพียงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทั้งหมด ในขณะที่โมเดลพื้นฐานของการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว สามารถอธิบายได้เพียงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างช่วงเวลาเท่านั้น

2. ในด้านประสิทธิภาพของโมเดลลิสเรลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงกับองค์ประกอบอื่นที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงนั้น ผู้วิจัยตั้งสมมุติฐานไว้ว่า โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลง ในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว จะมีประสิทธิภาพในการศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบที่สัมพันธ์กับเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบระยะยาวได้ดีที่สุด รองลงไปคือโมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลง ในรูปโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว และสุดท้ายคือ โมเดลลิสเรลที่มีการเปลี่ยนแปลง ในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว ทั้งนี้เพราะการวัดองค์ประกอบด้วยตัวบ่งชี้หลาย ๆตัว จะทำให้การวัดองค์ประกอบมีความเที่ยงสูง และมีความคลาดเคลื่อนในการวัดต่ำกว่าการวัดองค์ประกอบด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียวและจะส่งผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบมีค่าสูงขึ้นด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากร กลุ่มประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ของโรงเรียนสังกัดกรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2539 จำนวน 35,384 คน (ข้อมูลจากสถิติของฝ่ายแผนงานและสารสนเทศทางการศึกษา กองวิชาการ สำนักการศึกษา กรุงเทพมหานคร,2539) เหตุผลที่ผู้วิจัยเลือกศึกษาประชากรกลุ่มนี้ก็คือ โรงเรียนประถมศึกษา สังกัดกรุงเทพมหานคร มีลักษณะที่เป็นเอกพันธ์ (homogenous) กล่าวคือโรงเรียนในสังกัดกรุงเทพมหานครไม่มีความแตกต่างกันในด้านที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ อีกประการหนึ่งก็คือโรงเรียนในสังกัดกรุงเทพมหานครอยู่ในเขตที่เป็นศูนย์รวมทางวิชาการและมีบรรยากาศทางวิชาการซึ่งมีความหลากหลายที่คล้ายคลึงกัน

2. กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ของโรงเรียนในสังกัดสำนักงานเขตยานนาวา และสำนักงานเขตคลองสาน ปีการศึกษา 2539 จำนวน 600 คน โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้น (stratified random sampling) ซึ่งมีสำนักงานเขตและขนาดโรงเรียน เป็นเกณฑ์ในแบ่งชั้น การกำหนดขนาดพอดีของกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้คำนวณโดยใช้สูตรของ Yamane (1970) นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่ายเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความไม่เปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์

สหสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มประชากร และเพื่อใช้ในการตรวจสอบความตรงข้ามกลุ่ม (cross validation) ของโมเดลลิสเรลด้วย

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มี 5 ฉบับ ดังนี้คือ

3.1 แบบสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ (M-ACH Test) ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เป็นเนื้อหาเกี่ยวกับวิชาคณิตศาสตร์ตามหลักสูตรประถมศึกษา พุทธศักราช 2521 (ฉบับปรับปรุง 2533) ซึ่งครอบคลุมจุดประสงค์การเรียนรู้ทั้ง 8 จุดประสงค์ ตามเอกสารหลักสูตร (แบบ ป.02) โดยแบบสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์มีค่าความยากโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.44 ค่าอำนาจจำแนกโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.31 และความเที่ยงของแบบสอบที่คำนวณแบบ KR-20 เท่ากับ .813

3.2 แบบวัดเจตคติต่อพฤติกรรมการเรียนคณิตศาสตร์ (M-ATT Test) เป็นแบบวัดเจตคติต่อพฤติกรรมการเรียนคณิตศาสตร์ทางตรงที่ แหวนไพลิน เย็นสุข (2537) สร้างขึ้นเพื่อใช้วัดเจตคติต่อพฤติกรรมการเรียนคณิตศาสตร์ทางตรงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ผลการคำนวณค่าความเที่ยงของแบบวัดเจตคติต่อพฤติกรรมทางการเรียนคณิตศาสตร์ทั้งฉบับ ซึ่งคำนวณแบบค่าความสอดคล้องภายในตามวิธี ALPHA มีค่าเท่ากับ 0.96

3.3 แบบวัดความถนัดทางคณิตศาสตร์ (M-APT Test) แบบวัดฉบับนี้เป็นแบบวัดที่ กิตติพงษ์ ลิขิตบุญญฤทธิ์ (2537) ได้สร้างขึ้นโดยใช้ทฤษฎีเกี่ยวกับสมรรถภาพทางสมองตามแนวทฤษฎีหลายองค์ประกอบ (Multiple Factor Theory) ของเธอร์สโตนเป็นกรอบแนวคิดในการพัฒนาแบบวัดฉบับนี้ แบบวัดความถนัดทางการเรียนคณิตศาสตร์ฉบับนี้ประกอบแบบทดสอบย่อยจำนวน 10 ฉบับ ซึ่งแบบทดสอบทั้ง 10 ฉบับเป็นแบบทดสอบชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือกให้เลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว การตรวจให้คะแนนสำหรับผู้ที่เลือกคำตอบที่ถูกต้องจะได้รับคะแนน 1 คะแนน ส่วนผู้ที่เลือกคำตอบที่ไม่ถูกต้องหรือไม่ตอบจะได้รับคะแนน 0 คะแนน

3.4 แบบประเมินความสามารถในการเรียนคณิตศาสตร์โดยครูผู้สอน เป็นแบบประเมินที่ให้ครูผู้สอน ประเมินระดับความสามารถทางการเรียนคณิตศาสตร์ในภาพรวมของนักเรียนเป็นรายบุคคล แบบประเมินมีลักษณะเป็นมาตรประมาณค่าแบบลิเคอร์ท 5 ระดับ คะแนนที่ได้จากแบบประเมินความสามารถทางการเรียนคณิตศาสตร์ฉบับนี้ นำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบความตรงตามสภาพของแบบสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างคะแนนจากแบบสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ กับคะแนนที่ได้จากแบบประเมินความสามารถในการเรียนคณิตศาสตร์ ซึ่งพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเท่ากับ .6054 ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

3.5 แบบประเมินเจตคติต่อการเรียนคณิตศาสตร์โดยครูผู้สอน เป็นแบบประเมินที่ให้ครูผู้สอนประเมิน ระดับเจตคติต่อการเรียนคณิตศาสตร์ในภาพรวมของนักเรียนเป็นรายบุคคล แบบประเมินมีลักษณะเป็นมาตรประมาณค่าแบบลิเคอร์ท 5 ระดับ คะแนนที่ได้จากแบบประเมินเจตคติฯฉบับนี้ นำมาใช้เป็นเกณฑ์ ในการตรวจสอบความตรงตามสภาพ ของแบบวัดเจตคติต่อพฤติกรรมการเรียนคณิตศาสตร์ด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างคะแนนจากแบบวัดเจตคติต่อพฤติกรรมการเรียนคณิตศาสตร์ กับคะแนนที่ได้จากแบบประเมินเจตคติต่อพฤติกรรมการเรียนคณิตศาสตร์ซึ่งพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเท่ากับ .5704 ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

4. วิธีดำเนินการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยเก็บข้อมูลด้วยตนเอง โดยดำเนินการวัดตัวแปรที่ต้องการศึกษาการเปลี่ยนแปลงซึ่งได้แก่ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์และเจตคติต่อคณิตศาสตร์เป็นจำนวน 3 ครั้ง คือการวัดครั้งที่ 1 หลังจากเปิดภาคเรียนประมาณ 2 สัปดาห์ การวัดครั้งที่2 ประมาณกลางภาคเรียนและวัดครั้งที่ 3 ก่อนสอบปลายภาคเรียนประมาณ 1 สัปดาห์ ส่วนการวัดตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง ซึ่งได้แก่ การวัดความถนัดทางการเรียนคณิตศาสตร์ (Aptitude) วัดหลังจากเปิดภาคเรียนไปแล้วประมาณ 6 สัปดาห์ เมื่อทำการเก็บข้อมูลกับนักเรียนเสร็จสิ้นแล้ว จึงให้ครูผู้สอนวิชาคณิตศาสตร์ประเมินความสามารถในการเรียนคณิตศาสตร์ และเจตคติต่อการเรียนคณิตศาสตร์เป็นอันดับสุดท้ายของการเก็บข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ ผู้วิจัยแบ่งการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 9 ตอน แต่ในบทความฉบับนี้ผู้วิจัยขอนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะในส่วนที่สำคัญ เพียง 3 ตอน ส่วนผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่เหลือ สามารถศึกษาได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ของผู้วิจัย

อักษรย่อภาษาอังกฤษที่ใช้แทนชื่อตัวแปรสังเกตได้และตัวแปรแฝง ทั้งในโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงและโมเดลลิสเรล

ตัวแปรสังเกตได้ (observed variable)

ACH1 คือ คะแนนสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดครั้งที่ 1

ACH2 คือ คะแนนสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดครั้งที่ 2

ACH3 คือ คะแนนสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดครั้งที่ 3

ATT1 คือ คะแนนเจตคติต่อพฤติกรรมการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดครั้งที่ 1

ATT2 คือ คะแนนเจตคติต่อพฤติกรรมการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดครั้งที่ 2

ATT3 คือ คะแนนเจตคติต่อพฤติกรรมการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดครั้งที่ 3

NUMBER คือ สเกลองค์ประกอบ ความถนัดทางการเรียนคณิตศาสตร์ด้านจำนวน

SPACE คือ สเกลองค์ประกอบ ความถนัดทางการเรียนคณิตศาสตร์ด้านมิติสัมพันธ์

MEMO&RES คือ สเกลองค์ประกอบความถนัดทางการเรียนคณิตศาสตร์ด้านความจำและเหตุผล

ตัวแปรแฝง (latent variable)

MACH1 คือ ตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดครั้งที่ 1

MACH2 คือ ตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดครั้งที่ 2

MACH3 คือ ตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดครั้งที่ 3

MATT1 คือ ตัวแปรแฝงเจตคติต่อการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดครั้งที่ 1

MATT2 คือ ตัวแปรแฝงเจตคติต่อการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดครั้งที่ 2

MATT3 คือ ตัวแปรแฝงเจตคติต่อการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดครั้งที่ 3

INI1 คือ องค์ประกอบในสถานะเริ่มต้น (initial trait) ของตัวแปรแฝงเจตคติต่อการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดด้วยคะแนนเจตคติต่อพฤติกรรมการเรียนคณิตศาสตร์(ตัวบ่งชี้ตัวเดียว)

OVAI1 คือ องค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมด (over all change) ของตัวแปรแฝงเจตคติต่อการเรียนคณิตศาสตร์ ที่วัดด้วยคะแนนเจตคติต่อพฤติกรรมการเรียนคณิตศาสตร์ (ตัวบ่งชี้ตัวเดียว)

INI2 คือ องค์ประกอบในสถานะเริ่มต้น (initial trait) ของตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดด้วยคะแนนสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ (ตัวบ่ง-ชี้ ตัวเดียว)

OVA2 คือ องค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมด (overall change) ของตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดด้วยคะแนนสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ (ตัวบ่งชี้ตัวเดียว)

MINI คือ องค์ประกอบในสถานะเริ่มต้น (initial trait) ของตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดด้วยตัวบ่งชี้สองตัว

MOVA คือ องค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมด (overall change) ของตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดด้วยตัวบ่งชี้สองตัว

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ดัชนีตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์

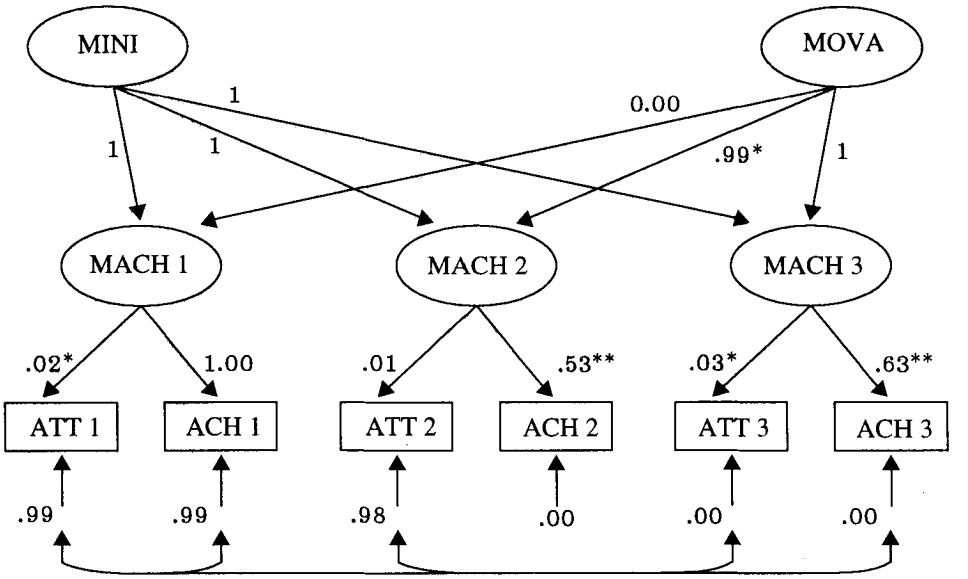
1.1 ผลการวิเคราะห์ดัชนีตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงกับข้อมูลเชิงประจักษ์

การวิเคราะห์ในขั้นตอนนี้ เป็นการตรวจสอบดัชนีความสอดคล้อง ของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงกับข้อมูลเชิงประจักษ์ จากกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 1 ผลการวิเคราะห์เป็นการรายงานค่าดัชนีตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และค่าน้ำหนักองค์ประกอบ ซึ่งในบทความนี้จะนำเสนอเฉพาะโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์ องค์ประกอบระยะยาว ที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว (โมเดลการวัดที่ 3) ซึ่งเป็นโมเดลที่มีประสิทธิภาพในการวัดการเปลี่ยนแปลงสูงที่สุด

ผลการวิเคราะห์ดัชนีความสอดคล้อง ของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัวกับข้อมูลเชิงประจักษ์ พบว่า ไค-สแควร์มีค่าเท่ากับ 10.47; p=.11 ที่ระดับองศาอิสระเท่ากับ 6 ดัชนี GFI เท่ากับ .99 ดัชนี AGFI เท่ากับ .96 ซึ่งแสดงว่าโมเดลมีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ แต่เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ค่าเศษเหลือหรือความคลาดเคลื่อนพบว่า ดัชนี RMR มีค่าเท่ากับ 15.82 แสดงว่าโมเดลยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่สูงเกินกว่าปกติ โมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์อย่างไม่สมบูรณ์

เมื่อพิจารณาแผนภาพที่ 7 พบว่า ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (factor loading) บางค่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ความเที่ยงของตัวแปรสังเกตได้ ATT1, ATT2 และ ATT3 มีค่าต่ำมาก ในโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว (โมเดลการวัดที่ 3)นี้ พารามิเตอร์ที่อธิบายอัตราการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝงได้แก่ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบจากตัวแปรแฝง MOVA ไปยังตัวแปรแฝง MACH2 พารามิเตอร์นี้ บ่งชี้ถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝง ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ที่วัดในช่วงเวลาต่างกัน (MACH1, MACH2 และ MACH3) มีค่าเท่ากับ .99 (SE=.08; t=12.76) ซึ่งเป็นค่าที่มีความแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผลการประมาณพารามิเตอร์บ่งชี้อัตราการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นตลอดช่วงเวลา (overall change) สามารถกล่าวได้ว่าตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ซึ่งวัดด้วยตัวบ่งชี้ด้านคะแนนสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ และตัวบ่งชี้ด้านคะแนนเจตคติต่อพฤติกรรมการเรียนคณิตศาสตร์ มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเช่นกันโดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ .99



GOODNESS OF FIT STATISTICS		*p < 0.5 ** p < 0.1
CHI-SQUARE = 10.47 ; df = 6 ; p = 0.11		
GFI = 0.99 , AGFI = 0.96, PGFI = 0.28,RMR = 15.82		
R^2 (ATTI) = .01	R^2 (ACH1) = 1.00	R^2 (MACH1) = 1.00
R^2 (ATT2) =.01	R^2 (ACH2) = 1.00	R^2 (MACH2) = 1.00
R^2 (ATT3) = .03	R^2 (ACH3) = 1.00	R^2 (MACH3) = 1.00

แผนภาพที่ 7 โมเดลการวัดที่ 3: โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว

1.2 ผลการวิเคราะห์ดัชนีตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลลิสเรลกับข้อมูลเชิงประจักษ์

การวิเคราะห์ในขั้นตอนนี้ เป็นการตรวจสอบดัชนีความสอดคล้อง ของโมเดลลิสเรลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ผลการวิเคราะห์เป็นการรายงานค่าดัชนีตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และค่าน้ำหนักองค์ประกอบ ซึ่งในบทความนี้จะนำเสนอเฉพาะโมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลง ในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว ซึ่งเป็นโมเดลที่มีประสิทธิภาพในการศึกษาตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสูงที่สุด

ผลการวิเคราะห์ดัชนีตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว (โมเดลลิสเรลที่ 3) กับข้อมูลเชิงประจักษ์ในครั้งนี้ ได้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรสังเกตได้คะแนนสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ (ACH) และสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปร สังเกตได้คะแนนเจตคติต่อพฤติกรรมทางการเรียนคณิตศาสตร์ (ATT) ลงบนตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ (MACH) หรือ เมทริกซ์ LY ของโมเดลลิสเรลที่ 2 ให้มีค่าเท่ากับเมทริกซ์ LY ของโมเดลการวัดที่ 2 ผลการวิเคราะห์ดัชนีตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิง-ประจักษ์ พบว่า ไค-สแควร์มีค่าเท่ากับ 18.75 ; p = .066 ที่ระดับองศาอิสระเท่ากับ 11 ดัชนี GFI เท่ากับ .99 ดัชนี AGFI เท่ากับ .95 ซึ่งแสดงว่าโมเดลมีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ส่วนผลการวิเคราะห์ค่าเศษเหลือได้แก่ ดัชนี RMR เท่ากับ 11.31 ซึ่งมีค่าน้อย แสดงว่าโมเดลยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำนั่นย่อมแสดงว่า โมเดลมีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์สูง

ค่าความเที่ยงของตัวแปรสังเกตได้ในโมเดลเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R^2) พบว่าตัวแปรสังเกตได้ด้านคะแนนสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ที่วัดในครั้งที่ 1, 2 และ 3 (ACH1, ACH2 และ ACH3) มีค่าเท่ากับ .90, .76 และ .86 ตามลำดับซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สูง ในขณะที่ตัวแปรสังเกตได้ด้านคะแนนเจตคติต่อพฤติกรรมทางการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดครั้งที่ 1, 2 และ 3 (ATT2, ATT2 และ ATT3) มีค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ต่ำมากโดยมีค่าเท่ากับ .01,.01 และ .03 ตามลำดับ กรณีดังกล่าวนี้เป็นผลมาจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้ ด้านคะแนนสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดในครั้งที่ 1, 2 และ 3 (ACH1, ACH2 และ ACH3) และตัวแปรสังเกตได้ด้านคะแนนเจตคติต่อพฤติกรรมทางการเรียนคณิตศาสตร์ที่วัดครั้งที่ 1, 2 และ 3 (ATT2, ATT2 และ ATT3) มีค่าต่ำนั่นเอง ดังนั้นการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ (MACH) ด้วยตัวบ่งชี้ทั้งสองตัวจึงมีเพียงตัวแปรสังเกตได้ด้านคะแนนสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์เท่านั้นที่เป็นตัวบ่งชี้ของตัวแปรแฝงดังกล่าว ส่วนตัวแปรสังเกตได้ด้านคะแนนเจตคติต่อพฤติกรรมทางการเรียนคณิตศาสตร์นั้น ถือได้ว่าไม่ได้เป็นตัวบ่งชี้องค์ประกอบของตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ แต่เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียน ตามที่ได้มีผู้เคยทำการศึกษาวิจัยไว้ ดังรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งผู้วิจัยได้เสนอไว้ในบทที่ 2 ส่วนค่าความเที่ยงของสเกลองค์ประกอบด้านจำนวน ด้านมิติสัมพันธ์ และด้านความจำและเหตุผล พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R^2) พบว่าสเกลองค์ประกอบทั้งสามด้านมีค่าความเที่ยง อยู่ในเกณฑ์ปานกลางโดยมีค่า R^2 เท่ากับ .65, .36 และ .35 ตามลำดับ ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่บ่งชี้อัตราการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝงด้าน

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนซึ่งได้แก่ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ จาก MOVA ไปยัง MACH2 มีค่าเท่ากับ .99 (SE = .08 ; t = 12.76)

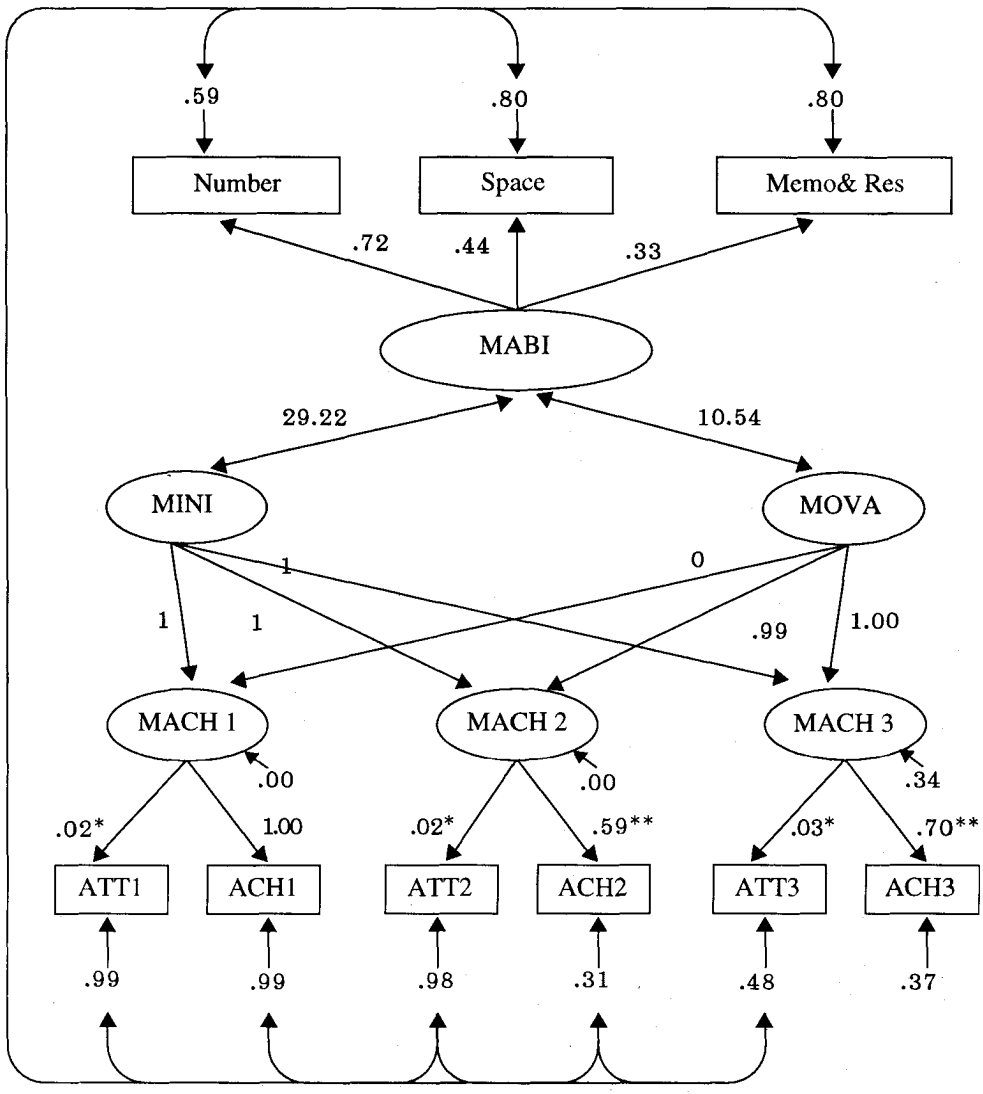
สิ่งที่น่าสนใจในโมเดลนี้ก็คือความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝง ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ ในสถานะเริ่มต้นของตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ (MINI) และองค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ของตัวแปรแฝงด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ (MOVA) ที่วัดด้วยตัวบ่งชี้สองตัว คือคะแนนเจตคติต่อพฤติกรรมการเรียนคณิตศาสตร์ และคะแนนสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ กับตัวแปรแฝงความสามารถทางการเรียนคณิตศาสตร์ (MABI) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝง MINI กับ MABI และระหว่างตัวแปรแฝง MOVA กับ MABI มีค่าเท่ากับ .133 และ .063 ตามลำดับ

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลง

2.1 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง

เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง ประกอบด้วยเกณฑ์ 3 ประการ ประการแรกคือผลการวิเคราะห์ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ประการที่สองคือผลการทดสอบดัชนีความคงที่ของแบบแผนน้ำหนักองค์-ประกอบที่วัดต่างช่วงเวลากัน และประการสุดท้าย คือผลการทดสอบดัชนีความไม่แปรเปลี่ยนของแบบแผนน้ำหนักองค์ประกอบ ที่วัดจากกลุ่มตัวอย่างคนละกลุ่ม ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดตามเกณฑ์ดังกล่าวในตารางที่ 1 สรุปได้ดังนี้

โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง ในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบในระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว (โมเดลการวัดที่ 2) และโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง ในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบในระยะยาว ที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว (โมเดลการวัดที่ 3) ใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวได้โดยในโมเดลการวัดที่ 2 พารามิเตอร์ที่บ่งชี้อัตราการเปลี่ยนแปลง ของตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ที่วัดจากคะแนนสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน มีค่าเท่ากับ 1.00 (SE = .09 ; t = 11.34) ส่วนโมเดลการวัดที่ 3 พารามิเตอร์ที่บ่งชี้อัตราการเปลี่ยนแปลง ของตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ที่วัดจากคะแนนสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และคะแนนเจตคติต่อพฤติกรรมการเรียนคณิตศาสตร์ มีค่าเท่ากับ .99 (SE = .08 ; t = 12.76) ในขณะที่โมเดลการวัดที่ 1 ไม่สามารถใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวนี้ได้ เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ดังกล่าวจะเห็นได้ว่าโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบใน



GOODNESS OF FIT STATISTICS

CHI-SQUARE = 18.75 ; df = 11 ; p = 0.066, RMR = 11.31

GFI = 0.99 , AGFI = 0.95,

COVAR (MINI,MABI) = 29.22, SE = 11.62

COVAR (MOVA,MABI) = 10.54, SE = 15.80

*p<0.5 **p<0.1

แผนภาพที่ 8 โมเดลการวัดที่ 3 : โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง

เงื่อนไขการเปรียบเทียบ	ค่าสถิติ Goodness of Fit	โมเดลที่ 1	โมเดลที่ 2	โมเดลที่ 3
1. ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ในโมเดล	χ^2	12.20	12.82	10.47
	df	6	7	6
	p	.058	.077	.11
	χ^2/df	2.033	1.831	1.745
	GFI	.99	.99	.99
	AGFI	.95	.96	.96
	RMR	15.53	22.88	15.82
2. การทดสอบดัชนีความคงที่ของค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (stationarity of factor pattern across times)	χ^2	130.99	246.31	45.61
	df	8	9	8
	p	.00	.00	.00
	χ^2/df	16.373	27.367	5.701
สมมุติฐานของโมเดลที่ 1และ 3 EQ LY 4 1 LY 5 2 LY 6 3 สมมุติฐานของโมเดลที่ 2 EQ LY 4 4 LY 5 5 LY 6 6	GFI	.89	.78	.96
	AGFI	.71	.49	.89
	RMR	361	189.89	116.93

โมเดลการวัดที่ 1: $\Delta\chi^2_{UNEQ-EQ}$ = 118.79, $df_{UNEQ-EQ}$ = 2, ตาราง χ^2_2 = .103
โมเดลการวัดที่ 2: $\Delta\chi^2_{UNEQ-EQ}$ = 233.49, $df_{UNEQ-EQ}$ = 2, ตาราง χ^2_2 = .103
โมเดลการวัดที่ 3: $\Delta\chi^2_{UNEQ-EQ}$ = 35.14, $df_{UNEQ-EQ}$ = 2, ตาราง χ^2_2 = .103

3. การทดสอบความไม่แปรเปลี่ยนของแบบแผนองค์ประกอบที่วัดจากต่างกลุ่ม (invariance of factor pattern across groups)	χ^2	93.99	21.27	192.09
	df	12	7	8
	p	.00	.0034	.00
	χ^2/df	7.832	3.038	24.011
	GFI	.91	.98	.85
	AGFI	.84	.94	.60
	RMR	212.76	35.24	182.30

โมเดลการวัดที่ 1: $\Delta\chi^2_{G2-G1}$ = 85.90, df_{G2-G1} = 7, ตาราง χ^2_7 = 2.17
โมเดลการวัดที่ 2: $\Delta\chi^2_{G2-G1}$ = 5.36, df_{G2-G1} = 12, ตาราง χ^2_{12} = 5.23
โมเดลการวัดที่ 3: $\Delta\chi^2_{G2-G1}$ = 176.85, df_{G2-G2} = 5, ตาราง χ^2_5 = 1.61

ระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว (โมเดลการวัดที่ 2) และโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบในระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว (โมเดลการวัดที่ 3) มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง ในรูปโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์-ประกอบระยะยาว (โมเดลการวัดที่ 1)

1. เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงตามเกณฑ์ดัชนีตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ พบว่า ไค-สแควร์สัมพัทธ์ (χ^2/df) ของโมเดลการวัดที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 2.033, 1.831 และ 1.745 ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า โมเดลการวัดที่ 3 มีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากที่สุด รองลงไปคือ โมเดลการวัดที่ 2 และ 1 ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ค่าเศษเหลือ (residual) หรือความคลาดเคลื่อน ได้แก่ ดัชนี RMR ของโมเดลการวัดที่ 1, 2, 3 มีค่าเท่ากับ 15.53, 22.88, 15.82 และค่าความคลาดเคลื่อนในรูปคะแนนมาตรฐานสูงสุด (largest standardize residual) ของโมเดลที่ 1, 2, 3 มีค่าเท่ากับ 2.80, 3.06, 2.87 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความคลาดเคลื่อนในโมเดลที่ 2 มีค่ามากที่สุด ในขณะที่โมเดลที่ 1 และ 3 มีความคลาดเคลื่อนในโมเดลใกล้เคียงกัน และต่ำกว่าโมเดลการวัดที่ 2 จากค่าดัชนีดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่า โมเดลการวัดที่ 2 ซึ่งวัดองค์ประกอบด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว จึงทำให้ค่าเศษเหลือ หรือความคลาดเคลื่อนในโมเดลมีสูงกว่าโมเดลการวัดที่ 1 และ 3 ซึ่งวัดองค์ประกอบด้วยตัวบ่งชี้สองตัว

2. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง เมื่อพิจารณาตามเงื่อนไขการทดสอบความคงที่ของแบบแผนน้ำหนักองค์ประกอบ ของตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ที่วัดด้วยคะแนนสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่า ผลต่างไค-สแควร์ ของโมเดลการวัดที่ 1, 2 และ 3 มีค่าสูงและมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่าไค-สแควร์สัมพัทธ์ ของโมเดลที่ 1, 2, และ 3 ที่มีค่าเท่ากับ 16.373, 27.367 และ 5.701 ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าเกณฑ์ (2.00) ชี้ให้เห็นว่า ทั้งสามโมเดลไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ นั่นแสดงว่าแบบแผนน้ำหนักองค์ประกอบ ของตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ที่วัดด้วยคะแนนสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ไม่มีความคงที่ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือ ตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ซึ่งวัดด้วยตัวแปรสังเกตได้ด้านคะแนนสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ที่วัดในช่วงเวลาต่างกันมีการเปลี่ยนแปลงไปนั่นเอง ผลการทดสอบนี้สอดคล้องกับผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่บ่งชี้อัตราการเปลี่ยนแปลงในโมเดลการวัดที่ 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.00 (SE = .09 ; t = 11.34) และโมเดลการวัดที่ 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ .99 (SE = .08 ; t = 12.76) ในขณะที่โมเดลการวัดที่ 1 ไม่สามารถประมาณค่าพารา-มิเตอร์ดังกล่าวได้ ดังนั้น โมเดลการวัดที่ 2 และ 3 จึงมีประสิทธิภาพดีกว่าโมเดลการวัดที่ 1

3. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง เมื่อพิจารณาตามเงื่อนไขการทดสอบความไม่แปรเปลี่ยนของแบบแผนองค์ประกอบที่วัดจากต่างกลุ่ม พบว่าผลต่างไค-สแควร์ ของโมเดลการวัดที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 85.90, 5.36 และ 176.85 มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่าไค-สแควร์สัมพัทธ์ของโมเดลที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 7.832, 3.038 และ 24.011 ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าเกณฑ์ แสดงว่าโมเดลไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ นั่นคือโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงไม่มีความไม่แปรเปลี่ยนของแบบแผนองค์ประกอบที่วัดจากต่างกลุ่ม

จากผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง ในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว (โมเดลการวัดที่ 3) มีประสิทธิภาพดีกว่า โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว (โมเดลการวัดที่ 2) เพราะโมเดลการวัดที่ 3 มีความคลาดเคลื่อนในการวัดต่ำกว่าโมเดลการวัดที่ 2 อย่างไรก็ตามโมเดลการวัดที่ 2 และ 3 ก็ยังมีประสิทธิภาพดีกว่า โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง ในรูปโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว(โมเดลการวัดที่ 1) ทั้งนี้เพราะโมเดลการวัดที่ 1 ไม่สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ที่บ่งชี้อัตราการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝงได้ถึงแม้ว่าโมเดลการวัดที่ 1 จะมีความคลาดเคลื่อนในการวัดองค์ประกอบต่ำกว่าโมเดลการวัดที่ 2 ก็ตาม ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าโมเดลการวัดที่ 3 มีประสิทธิภาพในการวัดการเปลี่ยนแปลงดีที่สุด รองลงไปคือ โมเดลการวัดที่ 2 และโมเดลการวัดที่ 1 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้

2.2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลลิสเรล ที่ใช้ในการศึกษาตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง

เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลลิสเรลมี 2 ประการคือผลการวิเคราะห์ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และผลการทดสอบความไม่แปรเปลี่ยนของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงในโมเดล ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลลิสเรล ตามเกณฑ์ดังกล่าวในตารางที่ 2 สรุปได้ดังนี้

1. เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลลิสเรลตามเกณฑ์ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ พบว่า โมเดลลิสเรลทั้งสามโมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว (โมเดลลิสเรลที่ 1) โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัว-บ่งชี้ตัวเดียว (โมเดลลิสเรลที่ 2) และโมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว (โมเดลลิสเรลที่ 3) มีความสอดคล้องกับ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพโมเดลลิสเรล

เงื่อนไขการเปรียบเทียบ	ค่าสถิติ Goodness of fit	โมเดล ที่ 1	โมเดล ที่ 2	โมเดล ที่ 3
1. ดัชนีความสอดคล้องของโมเดล กับข้อมูลเชิงประจักษ์ในการ ประมาณค่าพารามิเตอร์ในโมเดล	χ^2	8.09	24.39	18.75
	df	5	18	11
	p	.15	.14	.066
	χ^2/df	1.618	1.355	1.704
	GFI	.99	.98	.99
	AGFI	.95	.96	.95
	RMR	7.38	41.39	11.31
2. การทดสอบดัชนีความไม่แปร เปลี่ยนของค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝง ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลง (ผลสัมฤทธิ์)กับตัวแปรแฝงภาย นอก(ความสามารถทางการเรียน คณิตศาสตร์)	χ^2	81.45	26.72	19.81
	df	7	19	12
	p	.00	.11	.071
	χ^2/df	11.635	1.406	1.650
	GFI	.95	.96	.99
	AGFI	.68	.91	.95
	RMR	21.77	43.08	11.08

โมเดลลิสเรลที่ 1: $\Delta\chi^2_{UNEQ-EQ}$ = 73.36 , $df_{UNEQ-EQ}$ = 2 , ตาราง χ^2_2 = .103

โมเดลลิสเรลที่ 2: $\Delta\chi^2_{UNEQ-EQ}$ = 2.33 , $df_{UNEQ-EQ}$ = 1 , ตาราง χ^2_1 = .0039

โมเดลลิสเรลที่ 3: $\Delta\chi^2_{UNEQ-EQ}$ = 1.06 , $df_{UNEQ-EQ}$ = 1 , ตาราง χ^2_1 = .0039

ข้อมูลเชิงประจักษ์โดยค่าไค-สแควร์สัมพัทธ์ มีค่าเท่ากับ 1.618, 1.355 และ 1.704 ตามลำดับ และการที่ไค-สแควร์สัมพัทธ์มีค่าไม่เกิน 2.00 ย่อมเป็นเครื่องยืนยันได้ว่า ทั้งสามโมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ เมื่อพิจารณาไค-สแควร์สัมพัทธ์ร่วมกับดัชนีตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดล กับข้อมูลเชิงประจักษ์อื่นๆ ได้แก่ ดัชนี GFI และดัชนี AGFI จะเห็นได้ว่า โมเดลลิสเรลที่ 3 มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากที่สุด รองลงไปคือโมเดลลิสเรลที่ 2 และโมเดลลิสเรลที่ 1 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว(โมเดลลิสเรลที่ 3)มีประสิทธิภาพ

สูงที่สุด รองลงไปคือ โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว (โมเดลลิสเรลที่ 1) และโมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว (โมเดลลิสเรลที่ 2) มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด

2. เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลลิสเรล ตามเกณฑ์การทดสอบความไม่แปรเปลี่ยนของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรแฝงที่เปลี่ยนแปลง กับตัวแปรแฝงภายนอกที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง พบว่า โมเดลลิสเรลที่ 1 มีค่าไค-สแควร์เท่ากับ 81.45 ; p=.00; df = 7 โมเดลลิสเรลที่ 2 มีค่าไค-สแควร์ เท่ากับ 26.72 ; p=.11 ; df = 19 โมเดลลิสเรลที่ 3 มีค่าไค-สแควร์เท่ากับ 19.81 ; p =.071 ; df = 12 เมื่อพิจารณาประกอบกับค่าไค-สแควร์สัมพัทธ์ของโมเดลลิสเรลทั้งสามพบว่ามีค่าไค-สแควร์สัมพัทธ์เท่ากับ 11.635,1.406 และ 1.650 ตามลำดับ แสดงว่าโมเดลลิสเรลที่ 2 และโมเดลลิสเรลที่ 3 มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ส่วนโมเดลลิสเรลที่ 1 นั้นไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ผลการทดสอบดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงตามสมมุติในโมเดลลิสเรลที่ 2 และ 3 มีคุณสมบัติของความไม่แปรเปลี่ยน ส่วนโมเดลลิสเรลที่ 1 ไม่มีคุณสมบัติของความไม่แปรเปลี่ยน จึงกล่าวได้ว่า โมเดลลิสเรลที่ 2 และ 3 มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าโมเดลลิสเรลที่ 1 เพราะสามารถทดสอบคุณสมบัติความไม่แปรเปลี่ยนของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลลิสเรลด้วยเกณฑ์ทั้งสองเกณฑ์จึงสามารถสรุปได้ว่า โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว (โมเดลลิสเรลที่ 3) มีประสิทธิภาพสูงสุด เพราะนอกเหนือไปจากการมีความคลาดเคลื่อนในโมเดลมีค่าต่ำที่สุดแล้ว ยังสามารถให้ผลการทดสอบที่แสดงว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีความไม่แปรเปลี่ยนได้อีกด้วย รองลงไปคือ โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว (โมเดลลิสเรลที่ 1) ถึงแม้ว่าจะให้ผลการทดสอบที่แสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไม่มีความไม่แปรเปลี่ยน แต่มีความคลาดเคลื่อนในโมเดลต่ำใกล้เคียงกับโมเดลลิสเรลที่ 3 ส่วนโมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลง ในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว (โมเดลลิสเรลที่ 2) ถึงแม้ว่าสามารถให้ผลการทดสอบที่แสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีความไม่แปรเปลี่ยนได้เช่นกัน แต่ความคลาดเคลื่อนในโมเดลมีค่าสูงที่สุด

อภิปรายผลการวิจัย

ข้อสรุปที่ค้นพบจากการวิจัยในครั้งนี้มีความสอดคล้องกับสมมุติฐานการวิจัยที่ผู้วิจัยตั้งไว้ ทั้งสมมุติฐานด้านประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงและสมมุติฐานด้านโมเดลลิสเรล ผลการวิจัยดังกล่าวสามารถนำมาอภิปรายได้ดังนี้

1. ในด้านประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงซึ่งพบว่าโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว (โมเดลการวัดที่ 3) และโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว (โมเดลการวัดที่ 1) มีความคลาดเคลื่อนในโมเดลต่ำ ทั้งนี้เพราะโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงทั้งสองโมเดลวัดองค์ประกอบด้วยตัวบ่งชี้สองตัว ในขณะที่โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้เพียงตัวเดียว (โมเดลการวัดที่ 2) วัดองค์-ประกอบด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียวจึงมีความคลาดเคลื่อนในโมเดลสูงกว่าโมเดลการวัดที่ 1 และโมเดลการวัดที่ 3 ด้วย อย่างไรก็ตามโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลง ในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว (โมเดลการวัดที่ 2) ก็ยังมีคุณค่าในการใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝง ทั้งนี้เพราะโมเดลการวัดที่ 2 สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ที่บ่งชี้อัตราการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝงได้ซึ่งสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝงได้โดยตรง (Meredith & Tisak, 1993) ในขณะที่โมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงที่ 1 สามารถบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝงได้แต่เพียงว่าแบบแผนน้ำหนักองค์ประกอบของตัวแปรแฝงที่วัดต่างช่วงเวลากันมีความแตกต่างกันเท่านั้น ไม่สามารถระบุอัตราการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝงได้ ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝงโมเดลการวัดที่ 2 จึงมีประสิทธิภาพสูงกว่าโมเดลการวัดที่ 1 ถึงแม้ว่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลจะมีค่าสูงก็ตาม

2. ในด้านประสิทธิภาพของโมเดลลิสเรล ที่ใช้ในการศึกษาตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงซึ่งพบว่า โมเดลลิสเรลที่มีการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาวที่วัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว (โมเดลลิสเรลที่ 3) มีความคลาดเคลื่อนในโมเดลต่ำใกล้เคียงกับโมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในรูปโมเดลพื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว (โมเดลลิสเรลที่ 1) เนื่องจากทั้งโมเดลลิสเรลที่ 1และโมเดลลิสเรลที่ 3 เป็นโมเดลที่วัดองค์ประกอบด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว ในขณะที่โมเดลลิสเรลที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลง ในรูปโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบระยะยาว ที่วัดด้วยตัวบ่งชี้ตัวเดียว (โมเดลลิสเรลที่ 2) วัดองค์ประกอบด้วยตัวบ่งชี้เพียงหนึ่งตัวเท่านั้น จึงทำให้ความคลาดเคลื่อนในโมเดลมีค่าสูง จากผลการวิเคราะห์ดัชนีความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์พบว่า โมเดลลิสเรลที่ 2 มีความคลาดเคลื่อนในโมเดลสูงที่สุด ดังนั้นผลการวิจัยดังกล่าวจึงยังคงสนับสนุนแนวคิดในการวัดคุณลักษณะทางจิตวิทยาที่ว่า

การวัดคุณลักษณะทางจิตวิทยาด้วยตัวบ่งชี้หลาย ๆ ตัว จะมีผลให้การวัดคุณลักษณะดังกล่าว มีความเที่ยงในการวัดสูงกว่าการวัดด้วยตัวบ่งชี้เพียงตัวเดียว (Bollen,1989; Joreskog & Sorborn, 1989 ; Tisak & Meredith,1993 ; Raykov,1994 ; นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2538) อย่างไรก็ตามในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยวัดองค์ประกอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ด้วยคะแนนสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ และคะแนนเจตคติต่อพฤติกรรมทางการเรียนคณิตศาสตร์เพียง 2 ตัวบ่งชี้เท่านั้นหากมีการเพิ่มตัวบ่งชี้ในการวัดองค์ประกอบมากขึ้น จะทำให้โมเดลที่ใช้ในการวัดการเปลี่ยนแปลงมีความซับซ้อนมากขึ้น จึงควรมีการศึกษาต่อไปว่าทั้งโมเดลการวัดที่ 3 และโมเดลลิสเรลที่ 3 ยังคงมีประสิทธิภาพสูงสุดหรือไม่ อย่างไร นอกจากนี้ในการวิจัยครั้งนี้ ศึกษาตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง ของตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์เพียงตัวเดียว ซึ่งในสภาพความเป็นจริงนั้น มีตัวแปรที่สัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์อีกหลายตัว จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจว่าถ้ามีการเพิ่มตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นแล้ว ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลลิสเรล ยังคงให้ผลที่ตรงกับการวิจัยนี้หรือไม่ อย่างไร

3. ผลการทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับความคงที่ของแบบแผนน้ำหนักองค์ประกอบของตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ที่วัดด้วยคะแนนสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ซึ่งวัดในช่วงเวลาต่างกันในโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงทั้งสามโมเดล พบว่าโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงทั้งสามโมเดล ให้ผลการทดสอบสมมุติฐาน เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝงที่แสดงว่า ตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น สิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่งก็คือ ผลการทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับความคงที่ของแบบแผนน้ำหนักองค์ประกอบ ของตัวแปรแฝงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ที่วัดด้วยคะแนนสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ซึ่งวัดในช่วงเวลาต่างกันในโมเดลการวัดที่ 2 และโมเดลการวัดที่ 3 มีความสอดคล้องกับผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ ที่บ่งชี้อัตราการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝง ซึ่งเป็นสิ่งที่ยืนยันได้ว่า การประมาณค่าพารามิเตอร์ ที่บ่งชี้อัตราการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝง สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝงได้

4. จากผลการตรวจสอบความตรงข้ามกลุ่ม (cross validation) พบว่าโมเดลลิสเรลทุกโมเดลไม่มีความตรงข้ามกลุ่ม สามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มที่ได้ดำเนินการแบ่งไว้ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย มีลักษณะที่ไม่สามารถเทียบเคียงกันได้ (uncomparable) ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าสถิติเบื้องต้น ของตัวแปรสังเกตได้ทั้งสองกลุ่มจะเห็นได้ว่า ตัวแปรบางตัวมีลักษณะการแจกแจงที่ไม่เหมือนกันเช่น ตัวแปรสังเกตได้ด้านคะแนนเจตคติต่อพฤติกรรมการเรียนคณิตศาสตร์ ตัวแปรสังเกตได้ด้านคะแนนสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์เป็นต้น การที่กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มมีลักษณะที่ไม่สามารถเทียบเคียงกันได้นี้ อาจเกิดจากผลกระทบอันเนื่องจากการแบ่งกลุ่มด้วยวิธีสุ่มอย่างง่าย นั่นเอง เหตุผลอีกประการหนึ่งที่ทำให้โมเดลลิสเรลทั้ง 3

แบบไม่มีความตรงข้ามกลุ่ม อาจเนื่องมาจาก กลุ่มตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้แบ่งไว้มีขนาดเล็ก ในขณะที่ในโมเดลมีค่าพารามิเตอร์ที่ต้องประมาณจำนวนมาก ซึ่ง Cudeck และ Brown (1983 อ้างถึงใน Bollen,1989)ได้ให้ข้อเสนอแนะในการวิเคราะห์ความตรงข้ามกลุ่มว่าในกรณีที่กลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็กโมเดลมีแนวโน้มจะมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ถ้าพารามิเตอร์ที่ต้องประมาณค่าในโมเดลมีจำนวนน้อย แต่ถ้าในโมเดลมีพารามิเตอร์ที่ต้องประมาณค่าจำนวนมาก จำเป็นต้องใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ โมเดลจึงมีแนวโน้มที่จะมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากขึ้น

5. เมื่อพิจารณาดัชนีความสอดคล้องของโมเดล กับข้อมูลเชิงประจักษ์ ทั้งในโมเดลการวัดและโมเดลลิสเรลจะพบว่า โมเดลยังมีความคลาดเคลื่อนสูงโดยพิจารณาได้จากดัชนี RMR ที่ยังมีค่าเกิน 2.00 ในขณะที่ดัชนีตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ตัวอื่นได้แก่ไค-สแควร์, ดัชนี GFI และดัชนี AGFI บ่งชี้ว่าโมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ แสดงว่าความคลาดเคลื่อนของโมเดล ในขณะที่โมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มีค่าสูง โมเดลจึงยังไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์อย่างสมบูรณ์ การที่ผู้วิจัยยอมรับผลการวิเคราะห์ ดังกล่าวเนื่องจากไม่สามารถปรับโมเดลได้อีกต่อไป เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของตัวแปรสังเกตได้ ถูกปรับให้มีความสัมพันธ์กันได้จนอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำแล้ว การปรับโมเดลต่อไปจะต้องปรับที่เมทริกซ์สัมประสิทธิ์การถดถอยของ K บน X (Lamda-X: LX) หรือเมทริกซ์สัมประสิทธิ์การถดถอยของ E บน Y (Lamda-Y: LY) ซึ่งไม่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงตามการวัดตัวแปรสังเกตได้

6. เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R-square) พบว่าตัวแปรสังเกตได้บางตัวมีค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์เท่ากับ 1.00 ซึ่งค่าดังกล่าวมิใช่ค่าที่ได้จากการประมาณค่าที่แท้จริง การที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมลิสเรล คำนวณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของตัวแปรสังเกตได้ ตัวแปรนั้น ๆ ได้ค่าประมาณเกิน 1.00 ซึ่งไม่ตรงกับสภาพที่ควรจะเป็นในการประมาณค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจึงต้องกำหนดให้พารามิเตอร์ดังกล่าว เป็นพารา-มิเตอร์กำหนด (fix parameter) ซึ่งมีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ของตัวแปรดังกล่าวนั้น มีค่าเท่ากับ 1.00

7. เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยครั้งแรกที่ศึกษาโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวและโมเดลลิสเรลที่ใช้ในการศึกษาตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ผลการวิจัยที่สรุปได้แม้ว่าจะเป็นไปตามสมมุติฐานที่กำหนดไว้ แต่ในด้านการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลตามเกณฑ์การเปรียบเทียบความตรงข้ามกลุ่ม ยังไม่เป็นไปตามสมมุติฐาน การที่ได้ผลการวิจัยดังกล่าวอาจเนื่องมาจากลักษณะของโมเดล ตามที่ได้อภิปรายข้างต้นแล้ว ยังอาจเป็นผลเนื่องมาจากลักษณะของข้อมูลที่ใช้การวิจัยครั้งนี้ กล่าวคือ ผู้วิจัยวัดคะแนนเจตคติต่อพฤติกรรมการ

เรียนคณิตศาสตร์แบบทางตรง และรวบรวมข้อมูลโดยการเก็บรวบรวมข้อมูล 3 ครั้ง ในช่วงระยะเวลาห่างกัน 1 เดือน ความจำกัดในช่วงระยะเวลาการเก็บข้อมูล อาจมีผลทำให้นักเรียนไม่มีการเปลี่ยนแปลงในด้านเจตคติต่อการเรียนคณิตศาสตร์เพียงพอที่จะตรวจสอบได้ ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ควรทิ้งระยะเวลาระหว่างการรวบรวมข้อมูลแต่ละครั้งให้นานขึ้นกว่าการวิจัยครั้งนี้

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาแนวคิด ในการวัดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบระยะยาว (longitudinal study) โดยผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลตัวแปรที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลง โดยการวัดซ้ำสามครั้งตามแนวคิดของ Raykov (1994) ที่ได้เสนอไว้ว่าในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงหรือพัฒนาการ (growth) ขององค์ประกอบควรดำเนินการวัดตัวแปรดังกล่าวอย่างน้อยสามครั้ง เพื่อสามารถแสดงให้เห็นถึงพัฒนาการขององค์ประกอบได้ชัดเจนขึ้น แต่ในการศึกษาวิจัยจริง มีข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลาในการเก็บข้อมูล ซึ่งสามารถกำหนดระยะห่างของการวัดตัวแปรที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลง ได้เพียง 1 เดือนเท่านั้นซึ่งกล่าวได้ว่าเป็นระยะเวลาที่สั้นเกินไปที่จะแสดงให้เห็นได้ว่าองค์ประกอบมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาเพื่อพิสูจน์ และตรวจสอบประสิทธิภาพของโมเดล ที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบและโมเดลที่ใช้ในการศึกษาตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบเป็นหลัก ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงในครั้งนี้ จึงเป็นกรณีตัวอย่างของการศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวเพื่อการพิสูจน์โมเดลที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการมุ่งอธิบายการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบ ดังนั้นในการนำผลการวิจัยในส่วนที่เป็นของการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบที่ศึกษา ไปใช้ในการอ้างอิงจึงควรตระหนักว่า การวิจัยนี้มุ่งผลการพิสูจน์โมเดลที่ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการมุ่งอธิบายการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบ

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ปัญหาที่ผู้วิจัยพบในการทำวิจัยด้วยการเก็บข้อมูลในระยะยาว (longitudinal data) ก็คือ การขาดหายไปของกลุ่มตัวอย่างขณะอยู่ในช่วงทำการเก็บข้อมูล ซึ่งมีผลให้ข้อมูลขาดความสมบูรณ์ การวิเคราะห์ข้อมูลโดยไม่คำนึงถึงการขาดหายไปของข้อมูล อาจทำให้มีความคลาดเคลื่อน ปัญหาดังกล่าวนี้ McArdle และ Hamagami ได้เสนอบทความเรื่อง "Modeling incomplete and crosssectional data using Latent Growth Structural Model" (McArdle & Hamagami, 1991) ซึ่งเป็นอีกประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่งในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในระยะยาวที่คำนึงถึงการขาดหายไปของข้อมูลในระหว่างดำเนินการวิจัย

2. ในการวิจัยครั้งนี้มีความจำกัดในเรื่องของระยะเวลาในการเก็บข้อมูลซึ่งกำหนดระยะห่างในการวัดตัวแปรแต่ละครั้งเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ และดำเนินการเก็บข้อมูลเพียงสามครั้งเท่านั้นในขณะที่การศึกษาของRaykov(1994)ดำเนินการเก็บข้อมูลถึงสี่ครั้งและระยะห่างในการเก็บข้อมูลแต่ละครั้งเป็นเวลาหนึ่งปี ดังนั้นผลการวิจัยครั้งนี้จึงอาจทำให้แบบแผนการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรไม่มีความชัดเจนเท่าใดนัก การทำวิจัยในครั้งต่อไป จึงควรเพิ่มระยะห่างในการเก็บข้องมูลแต่ละครั้ง และควรเพิ่มจำนวนครั้งอย่างน้อยสี่ครั้ง เพื่อให้มองเห็นแบบแผนการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนขึ้น

3. ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยศึกษาตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงเพียงตัวเดียวซึ่งในความเป็นจริงแล้วยังมีตัวแปรที่สัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์อีกมาก ดังนั้นจึงควรเพิ่มตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงในโมเดล เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลลิสเรล ว่ายังคงให้ผลสอดคล้องกับการวิจัยครั้งนี้อยู่หรือไม่ นอกจากนี้ Raykov (1994) ได้เสนอว่าการวัดตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงเพียงครั้งเดียวไม่สามารถสะท้อนให้เห็นถึงพัฒนาการ (growth) ของตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นประเด็นที่น่าสนใจที่ควรได้รับการศึกษาในครั้งต่อไปก็คือการศึกษาวิจัยที่ทำการวัดตัวแปรที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงนี้หลาย ๆ ครั้งนั่นเอง

4. การวิจัยครั้งนี้ยังไม่สามารถยืนยันประสิทธิภาพของโมเดลลิสเรล ในด้านการตรวจสอบความตรงข้ามกลุ่ม ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาวิจัยต่อไปโดยนำโมเดลลิสเรลทั้งสามแบบนี้ ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่ต่างกัน เพื่อตรวจสอบความตรงข้ามกลุ่มอีกครั้งหนึ่ง และเมื่อได้โมเดลที่มีความตรงข้ามกลุ่มแล้วควรมีการศึกษาวิจัยต่อไป โดยการประมาณค่าคะแนนการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแฝงจากโมเดล รวมทั้งการตรวจสอบความเที่ยงความตรงและความคลาดเคลื่อนของค่าประมาณคะแนนการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวด้วย

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติพงษ์ ลิขิตบุญญฤทธิ์. (2537). ***การวิเคราะห์องค์ประกอบของแบบทดสอบความถนัดที่สัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ในจังหวัดอุดรธานี.*** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

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

นงลักษณ์ วิรัชชัย. (2538). **วิธีวิทยาขั้นสูงด้านการวิจัยและสถิติ. *วิธีวิทยาการวิจัย.*** 7 (กรกฎาคม-ธันวาคม).

แหวนไพลิน เย็นสุข. (2537). ***การพัฒนาแบบวัดเจตคติต่อพฤติกรรมการเรียนคณิตศาสตร์โดยใช้ทฤษฎีการกระทำด้วยเหตุผล.*** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรุณี อ่อนสวัสดิ์. (2537). ***การวัดการเปลี่ยนแปลงการเรียนรู้.*** วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Alwin, D.F. & Jackson, D.J. (1980). Measurement models for response errors in surveys : Issues and applications. In Karl F. Schuessler(ed.), ***Sociological Methodology*** (pp.68-119). San Francisco: Jossey-Bass.

Bollen, K.A. (1989). ***Structural Equations with Latent Variales.*** New York : Wiley.

Browne, M.W. & DeToit, S.H.C. (1991). Models for learning data. In L.M. Collins & J.L Horn (Eds.). ***Best Methods for the Analysis of Change*** (pp.47-68). Washington DC : American Psychological Association.

Collins, L.M. & Horn, J.L.(Eds.). (1992). ***Best Methods for the Analysis of Change.*** Washington DC : American Psychological Association.

Eye, A.V.(1990). ***Statistical Methods in Longitudinal Research Volume I.*** San Diego, CA: Academic Press, Inc.

Gottman, J.M. & Rushe, R.H. (1993). The analysis of change : Issues, fallacies, and new ideas. ***Journal of Consulting and Clinical Psychology***, 61 : 907-910.

Hoyle. R.H. & Smith, G.T. (1994). Formulating clinical research hypotheses as structural equation model : A conceptual overview. ***Journal of Consulting and Clinical Psychogy***, 67 : 429-440.

Joreskog, K.G. & Sorborn. (1989). ***LISREL 7 User's Reference Guide.*** Mooresville, IN: Scientific Software, Inc.

Magnusson, D. et al.(Eds.) (1991). ***Problems and Methods in Longitudinal Research : Stability and Change.*** Cambridge : University Press.

McArdle, J.J. & Aber, M.S. (1990). Pattern of change within latent varible structural equation models. ***Statistical Methods in Longitudinal Research Volume I*** (pp.151-224). San Diego, CA : Academic Press, Inc.

McArdle,J.J & Epstein, D. (1987). Latent growth curves within development structural equation modles. ***Child Development***, 58 : 110-133.

McArdle, J.J. & Anderson,E (1990). Latent variable growth model for research on aging. In J.E. Birren & K.W. Schaie (Eds.) ***Handbook of the Psychology of Aging*** (3 rd ed.; pp.21-44). New York : Academic Press.

McArdle, J.J. & Hamagami.(1991). Modeling incomplete longitudinal and cross- sectional data using latent growth structural model. In L.M. Collins & J.L.Horn (Eds.) ***Best Methods for the Analysis of Change*** (pp.276-304). Washing DC : American Psychological Association.

Meredith, W. (1991). Latent variable models for studying differences and change. In L.M Collins & J.L. Horn (Eds.) ***Best Methods for the Analysis of Change*** (pp.149-163). Wasington, DC : American Psychological Association.

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

Molenaar, P.C., De Gooijer, J.G. & Schmitz, B.(1992). Dymamic factor analysis of nonstationary multivariate time series. ***Psychomatrika***, 57 : 333-349.

Muthen,B. (1991). Analysis of longitudinal data using latent variable models with varying parameters. In L.M. Collins & J.L.Horn (Eds.). ***Best Methods for the Analysis of Change*** (pp.1-17). Washington DC : American Psychological Association.

Pike, G.R.(1991). Using structural equation models with latent variables to study student growth and development. ***Research in Higher Education***, 32 : 499-523.

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

Raykov, T. (1994). Studying correlates and predictors of longitudinal change using structural equation modeling. ***Applied Psychological Measurement***, 18 : 63-77.

Rogosa, D. & Willett, J.B. (1985). Understanding correlates of change by modeling individual difference in growth. ***Psychometrika***, 50 : 203-228.

Rogosa, D.R., Brandt, D. & Zimowski, M. (1982). A growth curve approach to the measure of change. ***Psychological Bulletin***, 92 : 726-748.

Rovine, M.J. & Eye, A.V. (1991). ***Applied Computational Statistics in Longitudinal Research.*** San Diego, CA: Academic Press, Inc.

Stoolmiller, M., Duncan, T.E., Bank, L. & Patterson, G.R. (1993). Some problems and solutions in the study of change : Significant patterns in client resistance. ***Journal of Clinical and Consulting Psychology***, 61 : 920-928.

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

Tisak, J. & Meredith, W.(1990). Longitudinal factor analysis. In A. von Eye (Ed.), ***Statistical Methods in Longitudinal Research Volume I*** (pp.125-150). San Diego, CA : Academic Press, Inc.

Tisak, J. & Meredith, W.(1990). Descriptive and associative developmental model. In A. von Eye (Ed.) , ***Statistical Methods in Longitudinal Research Volume II*** (pp.387-406). San Diego, CA: Academic Press Inc.

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

Willett, J. B. (1994). Measuring change more effectively by model individual change over time. In T. Husen & T.N. Postlethwaite(Eds.). ***The International Encyclopedia of Education (2ed.)***. Elmsford, NY. Pergamon Press.

Willett, J.B. & Sayer, A.G. (1994). Using covariance structure analysis to detect correlates and predictors of individual change over time. ***Psychological Bulletin***, 116 : 363-381.

Woodruff, D. & Houston, M. (1994). Growth rate reliability in longitudinal measurement. ***Educational and Psychological Measurement***, 54 : 897-902.

Zimmerman, D.W. & Williams, R.H. (1982). The relative error magnitude in three measures of change. ***Psychometrika***, 47 : 141-147.