Journal of Research Methodology, Volume 15, Number 1 (January - April 2002)

วารสารวิธีวิทยาการวิจัย ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 (มกราคม - เมษายน 2545)

A Comparision of Efficiency of Latent Growth Curve, Multilevel and Quasi-Simplex Models in Measuring Univariate and Multivariate Longitudinal Change*

Somtawin Wijitwanna

ABSTRACT

This research had two purposes. The first purpose was to compare the efficiency of latent growth curve models, multilevel models and quasi-simplex models in univariate longitudinal change. The second purpose was to compare the efficiency of latent growth curve models, multilevel models and quasi-simplex models in multivariate longitudinal change. The new quasi-simplex with latent growth models developed in this research in order to explain the latent intercept and slope parameters. The model fit indices were Chi-square, GFI, CFI, Root Mean Squared Residual (RMR) and Root Mean Squared Error of Approximation (RMSEA). The longitudinal 5 wave data (3 weeks per wave) collected from the population of 469 Mathayom Suksa 2 students in Samutsongkram Province in the 1998 academic year, The research instruments were the five Paralleled Mathematics Tests, each test consisting 2 traits Calculation and Problem Solving, the main processes of developing tests were constructing item-specification and equating some empirical nonparallel tests. The multilevel models employ HLM software, the latent growth curve models and quasi-simplex models employ covariance structure EQS software.

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

* Doctoral dissertation of Department of Educational Research, Chulalongkorn University under the advice of Assoc. Prof. Sirichai Kanjanawasee, Ph.D. and Assist. Prof. Suchada Bowarnkitiwong, Ph.D.

Journal of Research Methodology, Volume 15, Number 1 (January - April 2002)

วารสารวิธีวิทยาการวิจัย ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 (มกราคม - เมษายน 2545)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงโมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ในการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ*

สมถวิล วิจิตรวรรณา

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์สำคัญ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยวและชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ซึ่งผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น การศึกษาการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรเดี่ยวเพื่ออธิบายพัฒนาการของการเรียนรู้แต่ละคุณลักษณะ การศึกษาการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวตัวแปรพหุเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 พัฒนาการของการเรียนรู้แต่ละคุณลักษณะ ดัชนีที่ใช้ในการเปรียบเทียบ คือ สถิติไค-สแควร์ ดัชนี GFI และ CFI ดัชนีรากกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือ (RMR) และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า (RMSEA) ข้อมูลการวิจัยได้จากกลุ่มตัวอย่างนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 469 คนในจังหวัดสมุทรสงคราม ปีการศึกษา 2542 โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลซ้ำจำนวน 5 ครั้ง ห่างกัน 3 สัปดาห์ เครื่องมือการวิจัยคือ แบบสอบคู่ขนานวิชาคณิตศาสตร์ ที่วัด 2 คุณลักษณะคือการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา กระบวนการพัฒนาเครื่องมือที่สำคัญคือ การสร้างลักษณะเฉพาะของข้อสอบและการปรับเทียบคะแนนระหว่างแบบสอบสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลโมเดลพหุระดับใช้โปรแกรม HLM โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม EQS โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้อธิบายค่าคะแนนเริ่มต้นและอัตราพัฒนาการที่แท้จริง

ผลการวิเคราะห์พบว่า โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง เป็นโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงที่มีประสิทธิภาพสูงสุดทั้งชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ รองลงมาคือโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ และโมเดลพหุระดับ

---

* อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย กาญจนวาสี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา บวรกิติวงศ์ วิทยานิพนธ์ครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาการวัดและประเมินผลการศึกษา ปีการศึกษา 2543

ความหมาย และวิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว

การวัดพัฒนาการหรือการวัดการเปลี่ยนแปลงการเรียนรู้เป็นประเด็นได้รับความสนใจมานานตั้งแต่ประมาณปี ค.ศ.1924 ในช่วงเวลาที่ผ่านมามีการพัฒนาและนำเสนอวิธีการวัดการเปลี่ยนแปลง หลากหลายวิธี The International Encyclopedia of Education (1994) แบ่งประเภทของการวัดการเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณเป็น 2 ประเภท คือ วิธีการวัดแนวเดิม และวิธีการวัดแนวใหม่ การวัดแนวเดิมได้จากข้อมูลการวัด 2 ครั้ง ซึ่งวิธีส่วนใหญ่ไม่มีการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนในการวัด สำหรับวิธีการวัดแนวใหม่ได้จากการวัดหลายครั้ง หรือเรียกว่า การวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว

การวัดพัฒนาการเป็นการวัดคุณลักษณะของนักเรียนคนเดิม ที่มีการวัดตั้งแต่ 2 ครั้งอย่างต่อเนื่องกัน โดยใช้เครื่องมือชุดเดิมหรือเครื่องมือที่เป็นคู่ขนานกัน วิธีการวัดพัฒนาการหรือการวัดการเปลี่ยนแปลงแนวดั้งเดิมวิเคราะห์จากคะแนนจากการวัด 2 ครั้ง คือ ก่อนเรียนและหลังเรียน เรียกว่าคะแนนความแตกต่าง (difference score) วิธีการวัดแบบนี้เป็นวิธีพื้นฐานที่เข้าใจง่าย สะดวกในการคิดคำนวณ แต่ไม่สามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งได้ ต่อมามีการพัฒนาวิธีการใหม่ ๆ ขึ้นมา ได้แก่ วิธีการหาคะแนนการเปลี่ยนแปลงเศษเหลือ วิธีการหาคะแนนการเปลี่ยนแปลงที่เป็นอิสระจากคะแนนจริงก่อนเรียน วิธีการของ Lord ที่ใช้การถดถอยทางสถิติในการประมาณค่า เป็นต้น วิธีการหาคะแนนเพิ่มสัมพัทธ์ รายละเอียดศึกษาได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลง เช่น อรุณี อ่อนสวัสดิ์ (2537) วิธีการวัดแบบเดิมส่วนใหญ่สรุปได้ว่าเป็นการวิเคราะห์คะแนนดิบที่ไม่ได้นำความคลาดเคลื่อนในการวัดเข้ามาร่วมวิเคราะห์ การวัด 2 ครั้งเหมือนการกำหนดวิถีการเปลี่ยนแปลงเป็นรูปแบบเส้นตรงเพียงอย่างเดียว ทั้งที่แบบแผนการเปลี่ยนแปลงอาจเป็นรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ใช่เส้นตรง เช่น แบบเส้นโค้งแบบหลายโค้ง แบบโลจิส เป็นต้น

การวัดพัฒนาการแนวใหม่ หรือการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวที่ได้จากการวัดหลายครั้งมีการพัฒนามากขึ้นในช่วงต้นคริสตศักราช 1990 จากแนวคิดว่าแบบแผนพัฒนาการของพฤติกรรมมนุษย์อาจเป็นรูปแบบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เส้นตรง วิธีการวัดและวิเคราะห์พัฒนาการวิธีใหม่ ๆ จึงได้รับการนำเสนอขึ้นมา โดยนักวิธีวิทยานำความก้าวหน้าของวิธีวิทยาด้านการวัด สถิติ และเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ ในการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว วิธีการวัดแนวใหม่เท่าที่ผู้วิจัยรวบรวมได้มีประมาณ 10 วิธี ผู้วิจัยสามารถจัดกลุ่มวิธีวิทยาการวัดการเปลี่ยนแปลงแนวใหม่เหล่านี้ได้เป็น 4 กลุ่มหลัก ๆ ตามลักษณะวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้ กลุ่มแรกเป็นการประยุกต์ใช้โมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling หรือ SEM) ซึ่งมีจุดมุ่งหมายหลักคือการทดสอบสมมติฐานทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่สังเกตได้กับตัวแปรที่สังเกตไม่ได้

(ตัวแปรแฝง) เช่น โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์หรือการถดถอยแบบออโต เป็นต้น กลุ่มที่สองคือการประยุกต์ใช้โมเดลสัมประสิทธิ์เชิงสุ่ม (Random Coefficient Models) เป็นวิธีการที่มีจุดมุ่งหมายหลักคือวิเคราะห์ข้อมูลที่มีโครงสร้างลดหลั่นหลายระดับ กลุ่มที่สามเป็นกระบวนวิธีการทฤษฎีการวัดเชิงพลวัต (Dynamic Measurement Theory) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่อิงแนวคิดทฤษฎีการวัด กลุ่มที่สี่เป็นการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เช่น การวิเคราะห์อนุกรมเวลา การวิเคราะห์การเหลือรอด เป็นต้น สำหรับผลที่ได้จากวิธีการเปลี่ยนแปลงแนวใหม่ ผู้วิจัยจัดกลุ่มได้เป็น 5 ประเภท คือ คะแนนการเปลี่ยนแปลง สัดส่วนบุคคลที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ปริมาณเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตามเป้าหมาย แบบแผนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสิ่งที่วัด และการจำแนกคุณลักษณะที่เปลี่ยนแปลงออกจากคุณลักษณะที่ไม่เปลี่ยนแปลง เป็นต้น

การวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวในการวิจัยครั้งนี้

ในการวิจัยครั้งนี้มุ่งการวัดปริมาณการเปลี่ยนแปลงการเรียนรู้ ผู้วิจัยจึงศึกษาคะแนนการเปลี่ยนแปลงที่ได้การวัดการเปลี่ยนแปลงแนวใหม่ที่มีการวัดหลายครั้งต่อเนื่องกัน เนื่องจากแบบแผนพัฒนาการของผู้เรียนอาจเป็นได้ทั้งแบบเส้นตรงและมิใช่เส้นตรง การเลือกใช้โมเดลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในการศึกษาครั้งนี้ คำนึงถึงโครงสร้างของระดับข้อมูลและกรอบแนวคิดของโมเดลที่สอดคล้องกับการอธิบายพัฒนาการของการเรียนรู้ได้ ซึ่งเป็นการวัดที่ใช้การวิเคราะห์ระดับคะแนนจริง นำความคลาดเคลื่อนในการวัดมาร่วมวิเคราะห์ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ และโมเดลพหุระดับในการศึกษาคะแนนการเปลี่ยนแปลงทั้งชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ

โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง (Latent Growth Curve Models : LGC) เป็นโมเดลที่ใช้กรอบวิเคราะห์แบบสมการโครงสร้าง (SEM) ที่มีลักษณะเด่นคือ เป็นความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงจากคะแนนการวัดที่เป็นตัวแปรสังเกตได้หรือคะแนนดิบมาสู่คะแนนจริงที่เป็นตัวแปรแฝง เป็นรูปแบบที่ยอมรับกันทั่วไปว่ามีความแกร่งและมีความแม่นยำในเชิงสถิติ มีความยืดหยุ่นสูงในการปรับขยายจากการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวที่มีตัวแปรตาม 1 ตัวหรือโมเดลตัวแปรเดี่ยว (univariate change) มาสู่การวัดตัวแปรตามหลายตัวหรือโมเดลตัวแปรพหุ (multivariate change) โมเดล LGC มีจุดเด่นหลายประการ คือ เป็นโมเดลประหยัด ง่ายต่อการตีความ ไม่มีความลำเอียงในการประมาณค่า สามารถประมาณค่าได้อย่างดีแม้แบบแผนพัฒนาการจะเป็นเส้นตรงหรือไม่เป็นเส้นตรงก็ตาม สามารถประมาณค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงและความคลาดเคลื่อนในการวัดได้ แม้กลุ่มตัวอย่างจะน้อยหรือเมื่อมีการขาดหายของข้อมูล (McArdle and Hamagami,

1995; Willet and Sayer, 1994) และนักวิธีวิทยาหลายท่านสนับสนุนการใช้วิธีโค้งพัฒนาการ ฯ ว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งในการศึกษาการเปลี่ยนแปลง คือ Rogosa, Brandt and Zimowski (1982), Rogosa and Willet (1985) Stoolmiller (1994) และ Duncan และคณะ (1999) โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง มีกรอบแนวคิดว่าคะแนนการวัดแต่ละครั้ง เป็นคะแนนผสม (composite score) ที่ประกอบด้วยคะแนนแฝง 3 ส่วน คือ คะแนนเริ่มต้น อัตราพัฒนาการ และคะแนนความคลาดเคลื่อนในการวัด โดยที่องค์ประกอบร่วมที่แฝงอยู่ในคะแนนการวัดทุกครั้ง คือ คะแนนเริ่มต้นและอัตราพัฒนาการ ส่วนคะแนนความคลาดเคลื่อนในการวัดเป็นองค์ประกอบเฉพาะของการวัดแต่ละครั้ง คะแนนที่เปลี่ยนแปลงไปจะต้องเกี่ยวข้องกับเวลาอย่างเป็นระบบ

งานวิจัยที่ใช้โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงในการวัดการเปลี่ยนแปลงด้านต่าง ๆ ได้แก่ McArdle and Epotein (1987) ใช้โมเดลนี้ศึกษาพัฒนาการของระดับสติปัญญาของเด็กที่ทำการวัด 4 ครั้ง Stoolmiller (1994) ใช้โมเดลนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมที่ต่อต้านสังคมจากวัยเด็กไปถึงวัยรุ่น มีการเก็บข้อมูลติดตามจำนวน 4 ครั้ง เป็นการศึกษาทั้งชนิดตัวแปรเดี่ยวและชนิดตัวแปรพหุ สำหรับชนิดตัวแปรเดี่ยว คือ ศึกษาแบบแผนการเปลี่ยนแปลง และชนิดตัวแปรพหุที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมจากวัยเด็ก มาสู่วัยรุ่นตอนต้น งานวิจัยของ Duncan and Duncan (1996) นำโมเดลนี้ในเพื่อศึกษาการขาดหายของข้อมูล ในการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของการใช้สารเสพติดของวัยรุ่นจากการติดตาม 5 ครั้ง Piccinnin (1994) ใช้วิเคราะห์โมเดลนี้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านความรู้กับกลุ่มผู้สูงอายุ Willett and Sayer (1996) ใช้โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้ามโดเมน คือระหว่างการอ่านและคณิตศาสตร์ที่มีการวัด 3 ครั้ง เมื่อกำหนดลักษณะการแจกแจงความคลาดเคลื่อนและความแปรปรวนความคลาดเคลื่อนในรูปแบบต่าง ๆ

ส่วนโมเดลพหุระดับ (Multilevel Models: MLM) เป็นการประยุกต์ใช้โมเดลสัมประสิทธิ์เชิงสุ่ม (Random Coefficient Models) เป็นโมเดลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของบุคคลอย่างน้อย 2 ระดับ คือ พัฒนาการรายบุคคลจากการวัดหลายครั้ง แสดงถึงความผันแปรภายในของบุคคลนั้น (within-subject) และพัฒนาการของบุคคลเป็นส่วนหนึ่งของพัฒนาการระหว่างบุคคล (between-subjects) ดังนั้นโมเดลการวัดรายบุคคลที่มีเวลาเป็นตัวแปรอิสระจึงเป็นหน่วยระดับย่อยที่ซ้อนใน (nested data) พัฒนาการระหว่างบุคคล ผลการวิเคราะห์ระดับแรกได้ค่าคะแนนพัฒนาการภายในบุคคล และระดับที่สองได้คะแนนพัฒนาการระหว่างบุคคล นอกจากนั้นโมเดลพหุระดับมีกระบวนการวิเคราะห์ที่ให้ความสนใจความแตกต่างระหว่างหน่วยที่วิเคราะห์ เป็นการลดความผิดพลาดในการสรุปผลระหว่างระดับ

งานวิจัยที่ใช้โมเดลพหุระดับในการวัดเปลี่ยนแปลง ได้แก่ Bryk and Raudenbush (1987) ใช้โมเดลพหุระดับที่วิเคราะห์ 2 ระดับในการศึกษาพัฒนาการทางสติปัญญาของนักเรียนที่มีการวัด 4 ครั้ง และการวิเคราะห์ 3 ระดับในการศึกษาพัฒนาการของคุณลักษณะทางวิทยาศาสตร์ที่มีการวัด 4 ครั้ง Burchinal และคณะ (1994) ใช้โปรแกรม HLM เปรียบเทียบพัฒนาการของเด็กปกติกับเด็กพิการเรียนกับเพื่อนวัยเดียวกัน-ต่างวัยกัน มีการเก็บข้อมูลจำนวน 4-8 ครั้ง Yang and Goldstein (1996) ใช้โมเดลพหุระดับที่วิเคราะห์ 2 ระดับ ในการพยากรณ์พัฒนาการของร่างกายของกลุ่มทารกที่จำแนกตามเพศและเมือง จำนวนครั้งของข้อมูลกลุ่มตัวอย่างมีตั้งแต่ 1-17 ครั้ง สำหรับการวิเคราะห์ 3 ระดับ ใช้ข้อมูลการสอบระดับมัธยมศึกษากับนักเรียนจำนวน 3 รุ่นติดต่อกัน จำแนกตามโรงเรียน สังกัด และเขต เพื่อเปรียบเทียบพัฒนาการทางวิชาการของโรงเรียน

สำหรับโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์มีกรอบแนวคิดเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางการเรียนรู้ว่า ผลการเปลี่ยนแปลงทางการเรียนรู้ในครั้งหลังจะได้รับอิทธิพลการส่งถ่ายความรู้จากครั้งก่อนหน้านั้น ซึ่งตรงกับหลักการถดถอยแบบออโต (autoregressive model) Joreskog (1970, 1979) ได้ประยุกต์โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์มาใช้วิธีสมการโครงสร้าง (SEM) จึงมีลักษณะเด่นเช่นเดียวกับโมเดลโค้งพัฒนาการ กล่าวคือ เป็นความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงจากคะแนนการวัดมาสู่คะแนนจริง เป็นรูปแบบที่ยอมรับกันทั่วไปว่ามีความแกร่งและมีความพอเพียงในเชิงสถิติ มีความยืดหยุ่นสูงในการปรับขยายจากการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวโมเดลตัวแปรเดี่ยวมาเป็นโมเดลตัวแปรพหุได้ แต่ต่างกันที่ตัวแปรแฝงของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ คือ คะแนนจริงของการวัดแต่ละครั้ง คะแนนการเปลี่ยนแปลงเป็นการพิจารณาการเพิ่มหรือลดของคะแนนจริงระหว่างครั้งการวัดที่ติดกัน คะแนนการเปลี่ยนแปลงจึงมีหลายค่าและเป็นค่าที่เป็นอิสระจากการวัดแต่ละครั้ง เนื่องจากแนวคิดเรื่องพัฒนาการของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์เป็นกรอบแนวคิดพัฒนาการที่สมเหตุสมผลมาก ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์โมเดลใหม่ที่จะสามารถอธิบายอัตราพัฒนาการต่อการวัดเวลาได้ โดยการประยุกต์แนวคิดโค้งพัฒนาการว่า คะแนนจริงของการวัดแต่ละครั้งได้รับอิทธิพลจากคะแนนแฝงพัฒนาการ 2 ส่วน คือ คะแนนเริ่มต้นที่แท้จริง และอัตราพัฒนาการที่แท้จริง อัตราพัฒนาการที่แท้จริงจะได้จากค่าเฉลี่ยของคะแนนพัฒนาการจริงของทุกครั้งการวัด ส่วนคะแนนเริ่มต้นที่แท้จริงได้จาก คะแนนจริงจากการวัดครั้งแรก ทั้งคะแนนเริ่มต้นที่แท้จริงและพัฒนาการที่แท้จริงเป็นองค์ประกอบร่วมของคะแนนจริงแต่ละครั้ง โมเดลใหม่นี้เรียกว่า โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ (Quasi-simplex models with latent growth) ที่ใช้ในศึกษาเปรียบเทียบการวัดการเปลี่ยนแปลงในการวิจัยครั้งนี้

ดัชนีชี้ประสิทธิภาพของโมเดล

การเปรียบเทียบว่าโมเดลใดที่ใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของการเรียนเหมาะสมที่สุด ได้จากการพิจารณาประสิทธิภาพของโมเดลซึ่งหมายถึง ความตรงของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงว่ามีความสอดคล้องกับข้อมูลในการวิจัยได้ดีเพียงใด เป็นการพิจารณาว่าโมเดลที่พัฒนาขึ้นเป็นตัวแทนของข้อมูลที่สังเกตได้หรือไม่ ถ้าโมเดลได้รับการปฏิเสธ ก็จะมีปัญหาเกี่ยวกับความตรงเชิงโครงสร้างของการวัด โมเดลที่ดีต้องมีความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำและมีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าน้อยที่สุด เกณฑ์ในการใช้พิจารณาประสิทธิภาพของโมเดลในการวิจัยครั้งนี้ แบ่งได้ 3 ประเภท คือ

1. สถิติไค-สแควร์ (Chi-square) ถ้าค่าไค-สแควร์มีค่าที่เข้าใกล้ 0 หรือค่าความน่าจะเป็นสำหรับไค-สแควร์ (p-value) มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าโมเดลสอดคล้องกับข้อมูลที่ระดับนัยสำคัญ .05

2. ดัชนีที่บอกถึงความคลาดเคลื่อนของโมเดล คือ ดัชนีรากกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือ (root mean squared residual: RMR) ดัชนี RMR เข้าใกล้ 0 แสดงว่าโมเดลมีความคลาดเคลื่อนต่ำ และดัชนีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าพารามิเตอร์ (root mean squared of error approximation: RMSEA) ค่า RMSEA ต่ำเข้าใกล้ 0 แสดงว่า โมเดลมีประสิทธิภาพในการประมาณค่า สำหรับ Browne and Cudeck (1993) และ Hu and Bentler (1999) กล่าวว่าค่า RMSEA ต่ำกว่า .05 แสดงว่าโมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลดี (close fit)

3. ดัชนีวัดระดับความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูล คือ ดัชนี GFI (goodness of fit index) ค่า GFI ที่เข้าใกล้ 1 แสดงว่า โมเดลมีประสิทธิภาพสอดคล้องกับข้อมูล สำหรับจุดตัดที่กำหนดว่าโมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูล คือ 0.95 (Shevlin and Miles, 1998 อ้างถึงใน Cribbie and Jamieson, 2000) นอกจากนี้ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยพิจาณาค่าดัชนี CFI (Comparative fit index) เพิ่มอีก 1 ดัชนี เนื่องจากเป็นดัชนีที่เหมาะกับการเปรียบเทียบโมเดลที่ประยุกต์ใช้วิธีการสมการโครงสร้าง มีหลักเกณฑ์พิจารณาเช่นเดียวกับ ดัชนี GFI

แบบแผนและการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงความสัมพันธ์ที่มีวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยวและชนิดตัวแปรพหุระหว่างโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง โมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้คือ คะแนนที่ได้จากการนำเครื่องมือวิจัยที่ผู้วิจัยสร้างและพัฒนาขึ้น คือ แบบสอบคณิตศาสตร์คู่ขนานจำนวน 5 ฉบับ ที่วัด 2 คุณลักษณะ คือ การคิดคำนวณและการ

แก้โจทย์ปัญหา ดำเนินการวัดนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ในโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษา ทุกโรงเรียน สังกัดสำนักงานการประถมศึกษาจังหวัดสมุทรสงคราม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2542 จำนวน 469 คน 5 ครั้งในช่วงเวลาต่างกัน 3 สัปดาห์

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

ตัวแปรตาม คือ ค่าประสิทธิภาพของโมเดล ได้แก่ สถิติไค-สแควร์ ดัชนีวัดระดับความสอดคล้อง คือ ดัชนี GFI และดัชนี CFI ดัชนีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ดัชนีความคลาดเคลื่อนของโมเดล

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

การวิเคราะห์ค่าสถิติเบื้องต้นของข้อมูล ผู้วิจัยใช้โปรแกรม SPSS 9.0 และโปรแกรม EQS 5.7B การวิเคราะห์โมเดลพหุระดับชนิดตัวแปรเดี่ยวการคิดคำนวณ และโมเดลพหุระดับชนิดตัวแปรเดี่ยวการแก้โจทย์ปัญหา ใช้โปรแกรม HLM 4.01 เพื่ออธิบายพัฒนาการของแต่ละคุณลักษณะ ส่วนการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับชนิดตัวแปรพหุใช้โปรแกรม EQS 5.7B เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของคุณลักษณะการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา โดยคงค่าประมาณพารา-มิเตอร์ชนิดตัวแปรเดี่ยวไว้ สำหรับโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EQS 5.7B

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์สถิติเบื้องต้นของความสามารถทางคณิตศาสตร์จากการวัดนักเรียน 469 คน จำนวน 5 ครั้ง พบว่า คุณลักษณะการคิดคำนวณมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามลำดับ คือ 9.403, 10.991, 12.915, 15.193 และ 17.536 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการวัดครั้งที่ 1-5 ก็มีค่าเพิ่มตามลำดับเช่นกัน คือ 3.244, 3.855, 4.583, 5.601 และ 5.714 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายในการวัดทั้ง 5 ครั้งอยู่ระหว่างร้อยละ 32-36 ส่วนคะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะ

การแก้โจทย์ปัญหาจากการวัดครั้งที่ 1-5 เพิ่มขึ้นตามลำดับ คือ 6.886, 7.425, 7.830, 9.637 และ 10.982 ตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานครั้งที่ 1-5 ก็มีค่าเพิ่มตามลำดับเช่นกัน คือ 2.714, 2.709, 2.803, 3.535 และ 3.814 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายในการวัดทั้ง 5 ครั้งอยู่ระหว่างร้อยละ 34-39

เมื่อทดสอบการถดถอยเป็นเส้นตรง ของแต่ละคุณลักษณะทางคณิตศาสตร์ พบว่า แนวโน้มการคิดคำนวณมีแบบแผนพัฒนาการเป็นเส้นตรง (linear pattern) จึงกำหนดกำลังสูงสุดในสมการการวัดการเปลี่ยนแปลงเป็นหนึ่ง สำหรับแนวโน้มการแก้โจทย์ปัญหามีแบบแผนพัฒนาการที่ไม่ใช่เส้นตรง (nonlinear pattern) จึงกำหนดกำลังสูงสุดในสมการการวัดการเปลี่ยนแปลงเป็นกำลังสอง

ผลการเปรียบเทียบการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่มีแบบแผนพัฒนาการเป็นเส้นตรง ระหว่างโมเดลพหุระดับ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการพบว่า โมเดลที่มีประสิทธิภาพสอดคล้องกับข้อมูลสูงสุด 2 โมเดล คือ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง (โมเดล GCL-401) โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ (โมเดล QCL-M3) สองโมเดลนี้ประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัด 5 ครั้งโดยอิสระ สำหรับโมเดลพหุระดับ (โมเดล UNCENTERED) เป็นโมเดลที่มีค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัด 5 ครั้งเท่ากัน เมื่อสร้างโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงที่กำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากันเหมือนโมเดลพหุระดับ (โมเดล GCL-EQ) และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ที่กำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากันเหมือนโมเดลพหุระดับ (โมเดล QCL-EQ) ก็พบว่า ทั้งโมเดลพหุระดับ โมเดล *GCL-EQ และโมเดล QCL-EQ มีประสิทธิภาพของโมเดลต่ำ ไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูล* รายละเอียดผลการเปรียบเทียบโมเดลนำเสนอในตาราง 1

ผลการเปรียบเทียบการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา ที่มีแบบแผนการเปลี่ยนแปลงระยะยาวแบบไม่ใช่เส้นตรงระหว่าง โมเดลพหุระดับ โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ พบว่า โมเดลที่มีประสิทธิภาพสอดคล้องกับข้อมูลสูงสุด 2 โมเดล คือ โมเดลโค้งพัฒนาการฯ (โมเดล SLG-1) โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ ฯ (โมเดล SLQ-M1) สองโมเดลนี้ประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัด 5 ครั้งโดยอิสระ สำหรับโมเดลพหุระดับ (โมเดล UNCENTERED) เป็นโมเดลที่มีค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัด 5 ครั้งเท่ากัน เมื่อสร้างโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ที่กำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากัน

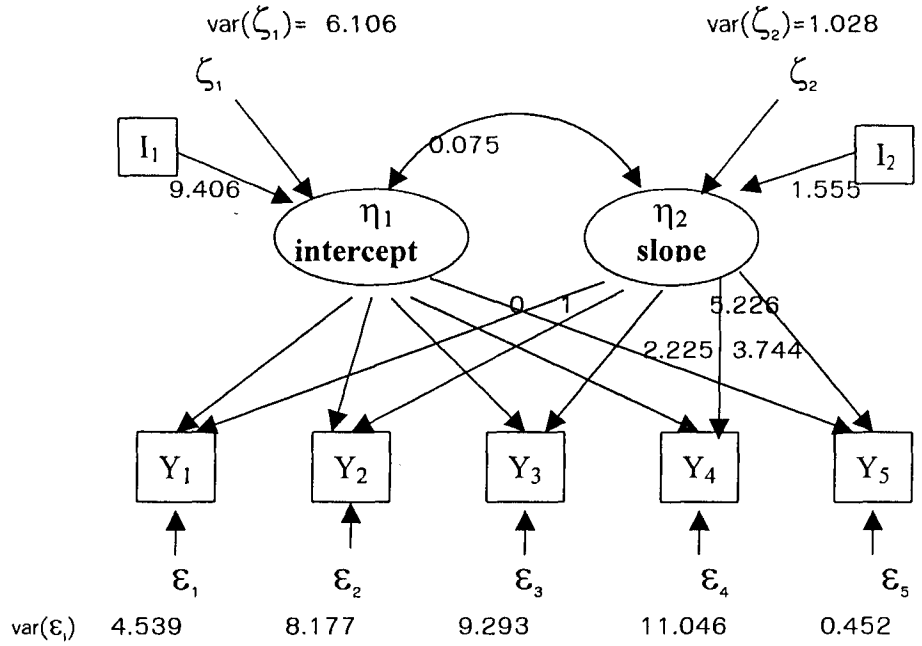
เหมือนโมเดลพหุระดับ (โมเดล GSL-EQ) และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการที่กำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากันเหมือนโมเดลพหุระดับ (โมเดล SLQ-EQ) ก็พบว่า ทั้งโมเดลพหุระดับ โมเดล GSL-EQ และโมเดล SLQ-EQ มีประสิทธิภาพของโมเดลต่ำ ไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูล รายละเอียดผลการเปรียบเทียบโมเดลนำเสนอในตาราง 2

ผลการเปรียบเทียบโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรพหุ ของคุณลักษณะการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา คือ 1. โมเดลพหุระดับ (โมเดล UNCENTERED) 2. โมเดลโค้งพัฒนาการ ฯ CLSL-G41 3. โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรพัฒนาการ CLSL-Q31 โมเดล 2 และ 3 เป็นโมเดลที่ประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัด 5 ครั้งโดยอิสระ 4. โมเดล GCLSL-EQ เป็นโมเดลโค้งพัฒนาการฯที่กำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากัน และ 5. โมเดล QCLSL-EQ เป็นโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ฯ ที่กำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากัน ผลการวิเคราะห์พบว่า โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง CLSL-G41 เป็นโมเดลที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลแทบทุกดัชนีที่ชี้บ่งประสิทธิภาพของโมเดล และความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำสุด จะมีเพียงค่าสถิติไค-สแควร์เพียงค่าเดียวที่ชี้ว่าโมเดลไม่สอดคล้องกับข้อมูล โดยที่ค่าความน่าจะเป็นของสถิตินี้มีค่าน้อยกว่า .05 แต่อย่างไรก็ตามจัดว่าเป็นค่าไค-สแควส์ที่ดีกว่าโมเดลอื่นๆ ส่วนโมเดลที่มีความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำรองจากโมเดล CLSL-G41 คือ โมเดล CLSL-Q31 โดยที่ดัชนีชี้บ่งความสอดคล้องของโมเดลคือ CFI และ GFI ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่า .95 เป็น 2 ดัชนีที่ชี้ว่ามีประสิทธิภาพ ส่วนดัชนีอื่นและสถิติไค-สแควร์ที่ชี้ว่าโมเดลไม่มีประสิทธิภาพ สำหรับผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุระหว่าง 3 โมเดล วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง ในช่วงเวลาต่างกันได้สรุปไว้ในตาราง 3

สรุปผลการวิจัยได้ว่า ในการเปรียบเทียบระหว่าง 3 โมเดล พบว่า โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง เป็นโมเดลมีประสิทธิภาพสอดคล้องกับข้อมูลสูงสุด รองลงมาคือโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ และโมเดลพหุระดับ ทั้งในการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณที่มีแบบแผนพัฒนาการเป็นเส้นตรง คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาที่มีแบบแผนพัฒนาการไม่ใช่เส้นตรง และการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรพหุของคุณลักษณะการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา เนื่องจากโมเดลพหุระดับเป็นโมเดลที่ประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัด 5 ครั้งเท่ากัน จึงสร้างโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงที่กำหนดประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัด 5 ครั้งเท่ากัน

และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการที่กำหนดประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัด 5 ครั้งเท่ากัน ปรากฏว่าทุกโมเดลที่กำหนดประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัด 5 ครั้งเท่ากัน เป็นโมเดลที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลต่ำสุด

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์การวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ



ภาพที่ 1 ผลการประมาณค่าโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงชนิดตัวแปรเดี่ยวคุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ (โมเดล GCL-40) จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน

ตาราง 1 การเปรียบเทียบโมเดลการเปลี่ยนแปลงระยะยาวเชิงเส้นตรง ชนิดตัวแปรเดี่ยวระหว่าง 3 โมเดล คุณลักษณะการคิดคำนวณ วิชาคณิตศาสตร์ มัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้ง ช่วงการวัดต่างกัน

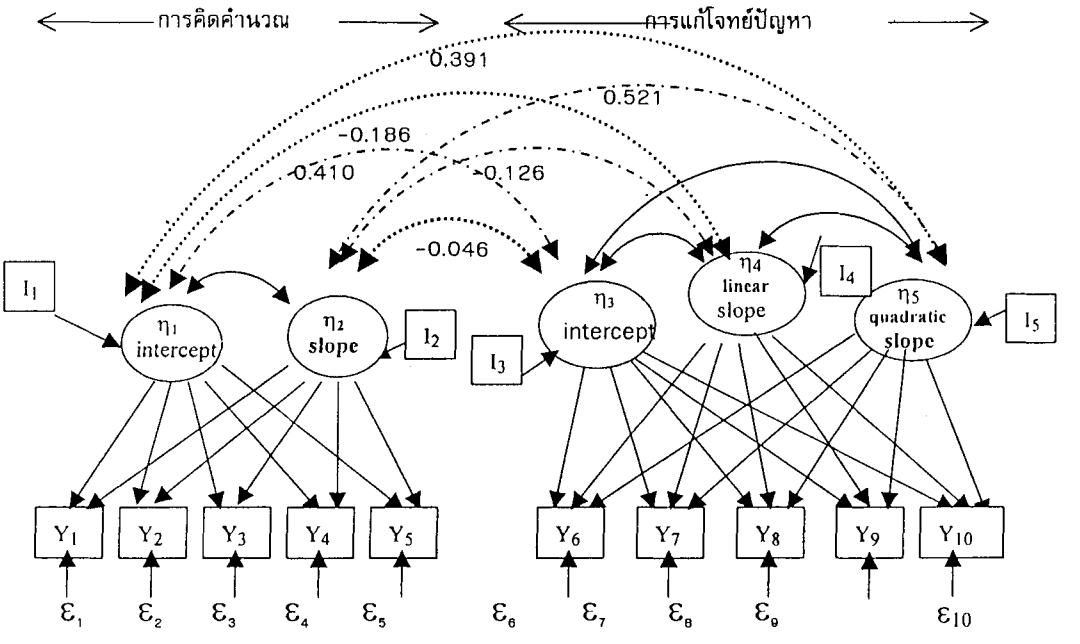
พารามิเตอร์	1. โมเดลพหุระดับ	2. โมเดลโค้งพัฒนาการ ฯ		3. โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ -พัฒนาการ	
	UNCENTERED	GCL-401	GCL-EQ	QCL-M3	QCL-EQ
β_{11}	0	0	0	0	0
β_{12}	1	1	1	1	1
β_{13}	2	2.225 (13.8)	2	3.631 (4.1)	2
β_{14}	3	3.744 (12.3)	3	6.551 (4.8)	3
β_{15}	4	5.226 (11.8)	4	2.459 (4.2)	4
VAR(E1)	7.320 (27.6)	4.539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

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

ตาราง 2 การเปรียบเทียบโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวแบบแผนไม่ใช่เส้นตรงระหว่าง 3 โมเดล ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา วิชาคณิตศาสตร์ มัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงการวัดต่างกัน

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

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



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

ภาพที่ 2 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง ชนิดตัวแปรพหุ ระหว่างการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหา (โมเดล CLSL-G41) วิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงเวลาต่างกัน

ตาราง 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรพหุ (ตัวแปรการคิดคำนวณกับการแก้โจทย์ปัญหา)ระหว่าง 3 โมเดล วิชาคณิตศาสตร์ มัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการวัด 5 ครั้งช่วงการวัดต่างกัน

MODEL FIT INDEX	โมเดลพหุระดับ (UNCENTERED)	โมเดลโค้งพัฒนาการ ฯ		โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์-พัฒนาการ	
		CLSL-G41	GCLSL-EQ	CLSL-Q31	QCLSL-EQ
χ^2 (df)	510.990 (56)	98.035 (42)	306.728 (54)	116.977 (35)	1629.0 (35)
χ^2 /df	9.125	2.334	5.680	3.341	20.253
P	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
CFI	0.7663	0.972	0.873	0.959	0.198
GFI	0.874	0.962	0.888	0.953	0.747
RMR	2.623	0.870	1.688	0.859	47.908
RMSEA	0.135	0.053	0.100	0.071	0.312

การอภิปรายผล

การอภิปรายผลตามสมมติฐานที่ 1 การเปรียบเทียบโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยว ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ พบว่า โมเดลโค้งพัฒนาการฯที่ประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดอย่างเป็นอิสระและให้สัมพันธ์กัน (โมเดล GCL-401) มีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ฯ ที่ประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดอย่างเป็นอิสระ (โมเดล SLG-1) และสุดท้าย คือ โมเดลพหุระดับ ผลการเปรียบเทียบจำแนกการอภิปรายเป็น 3 ประเด็น ดังนี้

1.1 การที่โมเดลที่มีการประมาณค่าน้ำหนักของพัฒนาการในการวัดเป็นอิสระ มีการประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งได้เป็นอิสระ และความคลาดเคลื่อนในการวัดมีความสัมพันธ์กัน (โมเดล GCL-401) เป็นโมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลและมีประสิทธิภาพสูงกว่าโมเดลโค้งพัฒนาการฯ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ฯ และโมเดลพหุระดับที่กำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากันนั้น จะเห็นได้ว่าผลการวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Willett and Sayer (1994) ที่พบว่า โมเดลโค้งพัฒนาการฯที่ประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดอย่างเป็นอิสระและให้สัมพันธ์กัน (heterogeneity & autocorrelated) มีประสิทธิภาพกว่าโมเดลที่ประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดอย่างเป็นอิสระอย่างเดียว (heterogeneity) และโมเดลที่กำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากัน (homogeneity) มีประสิทธิภาพต่ำสุด นอกจาก

นั้นทั้งโมเดล GCL-401 และ SLG-1 เป็นโมเดลที่ประมาณค่าน้ำหนักของอัตราพัฒนาการในการวัดแต่ละครั้งเป็นอิสระ (free factor loading) จึงมีประสิทธิภาพสูงกว่าอีก 3 โมเดล (โมเดล GCL-EQ, โมเดล SLG-EQ และโมเดลพหุระดับ) ที่กำหนดค่าน้ำหนักของพัฒนาการเป็นค่าคงที่ (fixed factor loading) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chou, Bentler and Pentz (1998) ที่พบว่าโมเดลโค้งพัฒนาการฯที่ประมาณค่าน้ำหนักของอัตราพัฒนาการในคะแนนการวัดแต่ละครั้งเป็นอิสระมีความคลาดเคลื่อนของโมเดลต่ำกว่าโมเดลพัฒนาการฯ ที่กำหนดน้ำหนักของพัฒนาการเป็นค่าคงที่ และโมเดลพหุระดับ จะเห็นได้ว่านักวิจัยที่ศึกษาการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว เช่น Willett and Sayer (1996) Rogosa and Willet (1985) และ Stoolmiller (1995) โมเดลที่ศึกษาจะเป็นโมเดลแบบ free factor loading แทบทั้งสิ้น

ดังนั้นโมเดลโค้งพัฒนาการฯที่มีการประมาณค่าน้ำหนักของพัฒนาการในการวัดเป็นอิสระมีการประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งได้เป็นอิสระและความคลาดเคลื่อนในการวัดมีความสัมพันธ์กันได้นี้ เป็นกระบวนการที่ทำให้สามารถปรับโมเดลให้มีความสอดคล้องกับข้อมูลได้มากขึ้น โมเดลนี้ประสิทธิภาพสูงกว่าโมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ฯ แต่ถ้าสำหรับโมเดลโค้งพัฒนาการฯ ที่กำหนดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดทุกครั้งเท่ากัน ในงานวิจัยได้เป็นโมเดล CLG-EQ ก็มีประสิทธิภาพของโมเดลใกล้เคียงกับโมเดลพหุระดับมากที่สุด

1.2 การที่โมเดลโค้งพัฒนาการฯ มีประสิทธิภาพสูงกว่าโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ กรอบแนวคิดของโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ได้จากการประยุกต์ 2 โมเดล คือ โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน และโมเดลโค้งพัฒนาการ ส่วนที่เป็นโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์พื้นฐาน คือ คะแนนจริงในการวัดครั้งหนึ่งๆ จะได้อิทธิพลถดถอยพัฒนาการ (regression slope) จากคะแนนจริงในการวัดครั้งก่อนหน้าที่อยู่ติดกัน (Joreskog,1970; Hanna and Lei,1985; Bast and Reitsma, 1997) สำหรับส่วนที่เป็นโค้งพัฒนาการ คือ ตัวแปรแฝงพัฒนาการ คือ คะแนนเริ่มต้นและอัตราพัฒนาการส่งผลคะแนนจริงในการวัดทุกครั้ง ดังนั้นในโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการ ตัวแปรแฝงพัฒนาการในโมเดลนี้จึงมีน้ำหนักองค์ประกอบทางอ้อมต่อคะแนนการวัด โดยผ่านคะแนนจริง และขณะเดียวกันคะแนนจริงในการสอบครั้งก่อนส่งผลต่อคะแนนจริงในการสอบครั้งถัดมา จึงมีเศษเหลือ (residual) ของตัวแปรแฝงมากกว่าโมเดลโค้งพัฒนาการฯ จึงอาจทำให้โมเดลมีประสิทธิภาพต่ำกว่าโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง

การที่โมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการมีประสิทธิภาพสูงกว่าโมเดลพหุระดับเนื่องจากเสนอการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์สมการโครงสร้างมาวิเคราะห์ที่ผ่อนปรนให้ประมาณค่าน้ำหนักของตัวแปรแฝงอัตราพัฒนาการในคะแนนการวัดแต่ละครั้งได้เป็นอิสระ และสามารถ

ประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดแต่ละครั้งได้เป็นอิสระและให้มีความสัมพันธ์กันได้ เช่นเดียวกับโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง จึงสามารถปรับโมเดลให้มีความสอดคล้องกับข้อมูลได้มากขึ้น ทำให้โมเดลนี้ประสิทธิภาพสูงกว่าโมเดลพหุระดับ แต่การที่โมเดลนี้มีประสิทธิภาพต่ำกว่าโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง เนื่องจากทั้งโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงและโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการได้จากการวิเคราะห์วิธีสมการโครงสร้าง (structural equation model) ด้วยโปรแกรม EQS มีกระบวนการประมาณค่าพารามิเตอร์ทุกค่าพร้อมกัน ส่วนโมเดลพหุระดับที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม HLM จะแยกวิเคราะห์ออกเป็นลำดับขั้น ประสิทธิภาพในภาพรวมทั้งโมเดลของโมเดลพหุระดับที่นำวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EQS จึงมีจุดอ่อนในเรื่องประสิทธิภาพรวมทั้งโมเดล

สำหรับโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา ผลการวิเคราะห์เช่นเดียวกับโมเดลยาวชนิดตัวแปรเดี่ยว คุณลักษณะการคิดคำนวณ เหตุผลจึงเป็นไปเช่นเดียวกัน

การอภิปรายผลตามสมมติฐานที่ 2 การเปรียบเทียบโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวชนิดตัวแปรพหุ ของคุณลักษณะการคิดคำนวณและคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหา ผลการวิเคราะห์พบว่า มีเพียงโมเดลโค้งพัฒนาการฯ ชนิดตัวแปรพหุ (โมเดล CLSL-G41 ที่ประมาณค่าน้ำหนักของอัตราพัฒนาการและความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัด 5 ครั้งไม่เท่ากัน) โมเดลเดียวที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลในบางดัชนีชี้ประสิทธิภาพของโมเดล แต่บางดัชนีไม่สอดคล้องข้อมูล ดัชนีชี้ประสิทธิภาพของโมเดลคือ ดัชนีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า (RMSEA) ที่ใกล้เคียงกับจุดตัด .05 (Cheevatanarak and Schumacker,1999; Shevlin and Miles 1998 อ้างถึงใน Cribbie and Jamieson, 2000) และค่าดัชนีความสอดคล้องของโมเดลคือ ดัชนี CFI และ GFI ที่กำหนด .95 ขึ้นไป (Browne and Cudeck, 1993; Hu and Bentler, 1999) ส่วนดัชนีที่ชี้ว่าโมเดลไม่สอดคล้องกับข้อมูลคือ ค่าความน่าจะเป็นของสถิติไค-สแควร์ และความคลาดเคลื่อนของโมเดล (RMR) ส่วนโมเดลพหุระดับและโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ฯ พบว่า โมเดลไม่สอดคล้องกับข้อมูล

สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรพหุ (Multivariate model) เป็นโมเดลที่มุ่งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของ 2 คุณลักษณะ ขั้นตอนสำคัญคือ ต้องได้โมเดลตัวแปรเดี่ยวที่เป็นโมเดลที่เพียงพอมีประสิทธิภาพเป็นตัวแทนพัฒนาการของแต่ละคุณลักษณะ เพราะโมเดลตัวแปรเดี่ยวเป็นโมเดลซ้อนใน (nested) โมเดลตัวแปรพหุ ซึ่งส่งผลต่อการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ข้ามคุณลักษณะของโมเดลตัวแปรพหุ โมเดล

ตัวแปรพหุจึงมีชื่อเรียกว่า Associative models หรือเรียกอีกชื่อว่า Trait-confluence models (Stoolmiller, 1994) เนื่องจากผลการวิเคราะห์โมเดลโค้งพัฒนาการฯ ชนิดตัวแปรเดี่ยวมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับโมเดลพหุระดับ และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ ฯ ทั้งในคุณลักษณะการคิดคำนวณ คือ โมเดล GCL-401 และคุณลักษณะการแก้โจทย์ปัญหาคือ โมเดล SLG-1 ดังนั้นเมื่อนำผลที่ได้จากโมเดลทั้งสองมาวิเคราะห์ร่วมกันระหว่าง 2 คุณลักษณะในโมเดลชนิดตัวแปรพหุ ผลที่ได้จากโมเดลโค้งพัฒนาการฯ ตัวแปรพหุคือ โมเดล CLSL-G41 จึงยังคงมีประสิทธิภาพสูงกว่าโมเดลอื่นๆ แม้ว่าโมเดลจะมีประสิทธิภาพในบางดัชนี ซึ่งเป็นดัชนีที่มีความไวไม่เพียงพอต่อค่าเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของกลุ่มตัวอย่าง

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. ผลจากการวิจัยครั้งนี้พบว่า โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง มีประสิทธิภาพสูงสุดในการวัดการเปลี่ยนแปลง การวิเคราะห์ด้วยโมเดลนี้ควรทดสอบแบบแผนการเปลี่ยนแปลงก่อน ข้อดีของการวิเคราะห์ด้วยโมดลนี้คือ ประการแรกเนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ด้วยวิธีโมเดลสมการโครงสร้าง (SEM) ทำให้ทราบประสิทธิภาพในภาพรวมทั้งโมเดล สามารถตรวจสอบพัฒนาการหลายคุณลักษณะได้พร้อมกัน ประการที่สองสามารถใช้วิเคราะห์ช่วงการวัดที่มีระยะเวลาแต่ละครั้งห่างไม่เท่ากันได้ ประการที่สามมีความผ่อนคลายในการประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดที่แต่ละครั้ง ไม่จำเป็นต้องเท่ากัน (heterogeneity) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนในการวัดซ้ำ (autocorrelated) ที่ช่วงเวลาต่างกันได้

2. การวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวที่วิเคราะห์ด้วยโมเดลพหุระดับ (โปรแกรม HLM) มีจุดเด่นคือ ขั้นตอนการวิเคราะห์ที่สะดวกให้ค่าประมาณอัตราพัฒนาการเป็นรายบุคคลได้ เหมาะกับการศึกษาพัฒนาการรายบุคคลโดยไม่ต้องคำนวณเพิ่มเติม ก่อนการวิเคราะห์ด้วยโมเดลนี้ต้องมีการทดสอบแบบแผนการเปลี่ยนแปลง ข้อสังเกตเกี่ยวกับการวิเคราะห์โมเดลพหุระดับในการวัดการเปลี่ยนแปลง ขั้นของ simple model ควรวิเคราะห์ด้วยกระบวนการ uncentered เป็นการกำหนดให้ค่าความสามารถเริ่มต้นของทุกคนเริ่มที่ตัวแปรอิสระเวลา (baseline) เป็น 0 มิใช่กำหนดที่ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระ ครั้งที่ 2-5 เป็น 1-4 นอกจากนั้นเราสามารถกำหนด baseline ที่เวลาครั้งการวัดที่มิใช่การวัดครั้งแรกได้

3. การวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวที่วิเคราะห์ด้วยโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ที่มีตัวแปรพัฒนาการ ที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยครั้งนี้ เป็นโมเดลที่มีกรอบแนวคิดคะแนนจริงของการวัดครั้งแรกๆ ส่งผลต่อคะแนนจริงครั้งถัดไปที่อยู่ติดกัน ขณะที่โมเดลพหุระดับและโมเดลโค้งพัฒนาการฯ คะแนน

จริงและคะแนนการวัดไม่การส่งผลต่อกัน และโมเดลกึ่งซิมเพลกซ์ ฯ ที่พัฒนานี้มีข้อดีในแง่ของวิธีวิทยาที่เอื้อต่อการศึกษาพัฒนาการหลายคุณลักษณะได้พร้อมกัน มีความผ่อนคลายในการประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนในการวัดซ้ำ แต่โมเดลนี้มีจุดอ่อนที่สำคัญคือกระบวนการวิเคราะห์ยุ่งยาก เนื่องจากเป็นโมเดลที่ซับซ้อนกว่า 2 โมเดลแรก ค่าที่ต้องประมาณมีจำนวนมากกว่าที่จะสามารถวิเคราะห์ในครั้งเดียวได้หมดทุกค่า จึงต้องใช้วิธีบังคับค่าพารามิเตอร์บางค่า และนำค่าที่ได้มาบังคับค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ครั้งสุดท้าย การบังคับค่าพารามิเตอร์ตัวที่ต่างกัน จะให้ค่าประสิทธิภาพในภาพรวมทั้งโมเดลต่างกัน

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัย

1. การศึกษาเปรียบเทียบการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาว ชนิดตัวแปรเดี่ยวและตัวแปรพหุ สามารถขยายการอธิบายสาเหตุที่ส่งผลพัฒนาการการเรียนรู้ เช่น ศึกษาตัวแปรสาเหตุเพิ่มเติมจากตัวแปรเวลา ตัวแปรสาเหตุอาจเป็นตัวพยากรณ์ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (time-invariant) เช่น สภาพแวดล้อม ภูมิหลังของกลุ่มตัวอย่าง เป็นต้น หรือเพิ่มตัวแปรสาเหตุชนิดต่อเนื่องตามเวลา (time-variant) เช่น ปัญหาทางสุขภาพ เป็นต้น ซึ่งอาจศึกษาแบบความสัมพันธ์ถดถอยหรือประยุกต์ใช้การวิเคราะห์เส้นทาง เพื่อศึกษาปัจจัยทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ส่งผลต่อพัฒนาการ

2. การวิจัยที่ขยายผลจากการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวกลุ่มตัวอย่างเดียว มาศึกษากับกลุ่มตัวอย่างหลายกลุ่ม จะเป็นประโยชน์ในการวิจัยเชิงการทดลอง หรือการวิจัยความสัมพันธ์ที่เป็นการเปรียบเทียบพัฒนาการของหลายกลุ่มตัวอย่าง

3. การพัฒนาโมเดลการวัดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวโมเดลอื่น ๆ เช่น การประยุกต์ของกรอบแนวคิดโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงพัฒนาการเป็นองค์ประกอบร่วมของคะแนนจากการวัดกับการประยุกต์กรอบแนวคิดกึ่งซิมเพลกซ์ ที่คะแนนจากการวัดครั้งแรกส่งผลต่อคะแนนการวัดครั้งต่อ ๆ ไป ตลอดจนการประยุกต์กรอบแนวคิดพหุระดับในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของหน่วยตัวอย่างที่มีลักษณะซ้อนในหน่วยตัวอย่างที่ใหญ่ขึ้น เป็นต้น

4. การวัดการเปลี่ยนแปลงที่ประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติแบบต่าง ๆ ที่จะขยายขอบเขตการอธิบายพัฒนาการด้านต่าง ๆ ของผู้เรียน ได้แก่ คะแนนที่มีระดับการวัดที่นอกเหนือจากแบบ interval เช่น ข้อมูลด้านเจตคติด้านปฏิบัติ แม้กระทั่งด้านความรู้ที่มีระดับการวัดเป็น nominal หรือ ordinal เป็นต้น การศึกษาการวัดการเปลี่ยนแปลงในระบบการให้คะแนนแบบทวิภาค เช่น partial credit model เป็นต้น ตลอดจนการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีการทดสอบอื่น ๆ เช่น ทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ การวัดการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต (Dynamic Measurement Theory) เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

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

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

วินิจ เทือกทอง. (2537). **การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการคำนวณคะแนนเพิ่มวิธีต่างๆ ด้วยระเบียบวิทการมอนติคาร์โล.** ปริญญานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาวิจัยและพัฒนาหลักสูตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

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

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

สำเริง บุญเรืองรัตน์. (2535). การวัดการเปลี่ยนแปลง. **สารานุกรมศึกษาศาสตร์ ฉบับเฉลิมพระเกียรติศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ** บริษัทสิทธิ์พัฒนา.

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

อิทธิพงษ์ ตั้งสกุลเรืองไล. (2541). **การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝง 4 รูปแบบ ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระยะยาวผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์และพัฒนาการทางด้านร่างกาย ของนักเรียนประถมศึกษา.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิจัยการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัย.

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

Bast, J. and Reitsma, P.(1997). Mathow effect in reading: A comparison of latent growth curve models and simplex models with structured means. **Multivariate**

Behavioral, Research, 32, 135-167.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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