

การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

Development of Measurement Scale on mathematical systems thinking for upper secondary school students

จันทร์เพ็ญ ปรีชา¹ศิริเดช สุชีวะ²Chanpen Preecha¹Siridej Sujiva²¹นิสิตปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการวัดและประเมินผลการศึกษา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Students at Chulalongkorn University. Master of Education (Educational Measurement and Evaluation)

The Graduate School of Chulalongkorn University

Corresponding author, E – mail: nutnutmaru1990@gmail.com

²รองศาสตราจารย์ คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Ph.D. Associate Professor, Faculty of Education, Chulalongkorn University

Corresponding author, E – mail: ssiridej@chula.ac.th

Received: May 15, 2021; Revised: August 24, 2022; Accepted: September 6, 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย และ 2) เพื่อตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัยออกเป็น 2 ตอน ตอนที่ 1 การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ฯ และ ตอนที่ 2 การตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ฯ ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย (ม.4-6) จากการเลือกแบบหลายขั้น (multi-stage random sampling) จึงทำให้ได้ตัวอย่างจำนวน 600 คน เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ฯ โดยแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ฯ มีรูปแบบข้อคำถามแบบผสม ประกอบด้วยข้อคำถามแบบปรนัยหลายตัวเลือกจำนวน 8 ข้อและอัตนัยตอบสั้นจำนวน 10 ข้อ ประยุกต์ข้อคำถามจากสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน ตรวจสอบคุณภาพของแบบวัด การหาอำนาจจำแนกของแบบวัดรายข้อโดยการพิจารณาการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (t-test independent) การตรวจสอบความตรงตามเกณฑ์สัมพัทธ์ ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation Coefficient) การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้าง ด้วยโปรแกรม LISREL และตรวจสอบค่าความเที่ยง ด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha)

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ 1) การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ผลการประเมินคุณภาพข้อคำถามของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ฯ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ 5 ท่าน ในภาพรวมอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า ข้อคำถามมีความเป็นไปได้เหมาะสมสามารถนำไปสร้างแบบวัด 2) การตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

ข้อคำถามรายข้อของแบบวัดสามารถจำแนกความสามารถการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ได้ ความตรงตามเกณฑ์สัมพันธระหว่างคะแนนจากแบบทดสอบกับผลสัมฤทธิ์วิชาคณิตศาสตร์พื้นฐานมีความสัมพันธ์เชิงบวกขนาดเล็ก ($r_{xy} = .418$) การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างโดยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงพบว่าโมเดลการวัดและแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์มีความสอดคล้องกัน (Chi-square=4.58, df=4, P=0.329, GIF=0.997, AGIF=0.987, RMSEA=0.016) และความเที่ยงอยู่ในระดับสูง ($\alpha = .818$)

คำสำคัญ : การคิดเชิงระบบ, การพัฒนาแบบวัด, คณิตศาสตร์

Abstract

The purposes of this research were 1) to develop the mathematical systems thinking scale for upper secondary school students and 2) to verify the psychometric properties of the mathematical systems thinking scale for upper secondary school students. The sample consisted of 600 upper secondary school students, using a multi-stage random sampling. The research instrument was an evaluation form and mathematical systems thinking test. The test was a mixed format. the questions based on everyday situations. Data were analyzed by using SPSS for the value of corrected item-total, t-test and SPSS for the result of confirmatory factor analysis (CFA).

The research findings were as follows: 1) The evaluation result of the mathematical systems thinking scale for upper secondary school students by 5 experts was at a high level. 2) The test of the mathematical systems thinking scale for upper secondary school students which is mixed-format tests containing both multiple-choice items and open-ended question items, in total 18 questions. The psychometric properties of the tests consisted of t-test independent can discriminate examiner, the relationship between exam scores and mathematics grades was the low-level positive correlation ($r_{xy} = .418$), construct validity (Chi-square=4.58, df=4, P=0.329, GIF=0.997, AGIF=0.987, RMSEA=0.016) and reliability was in the high level ($\alpha = .818$).

Keyword: systems thinking, development of scale, mathematical

บทนำ

ในยุคปัจจุบันที่โลกได้ก้าวเข้าสู่ศตวรรษที่ 21 มนุษย์ได้เผชิญกับความท้าทายของความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว การเข้าถึงข่าวสารข้อมูลหรือการสื่อสารไม่ได้จำกัดอยู่ในวงแคบอีกต่อไป ความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นส่งผลให้พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติพุทธศักราช 2542 มาตรา 24(2) มีการกำหนดให้สถานศึกษาจัดกระบวนการเรียนรู้เพื่อฝึกทักษะกระบวนการคิด การเผชิญสถานการณ์ นอกจากนี้การจัดการเรียนต้องมุ่งเน้นให้มีการพัฒนาผู้เรียนด้านทักษะและกระบวนการคิด ความสามารถในการเรียนรู้ กระบวนการสืบค้นความรู้ การแก้ไขปัญหาต่าง ๆ และการคิดค้นอย่างสร้างสรรค์ องค์ความรู้ใหม่ โดยเน้นการเรียนการสอนที่หลากหลาย เพื่อตอบสนองความต้องการความสนใจที่แตกต่างกันของผู้เรียน เร่งปฏิรูปการจัดกระบวนการเรียนรู้ให้ผู้เรียนได้รับการฝึกการคิดอย่างเป็นระบบและเน้นการปฏิบัติมากกว่าการท่องจำ เพื่อให้ผู้เรียนมีความสามารถในการคิดวิเคราะห์ สังเคราะห์ และสร้างความรู้ ซึ่งจะ เป็นพื้นฐานการเรียนรู้ในโลกแห่งอนาคต

การจัดการเรียนการสอนเพื่อให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการคิดเชิงระบบเป็นที่แพร่หลาย เนื่องจากการคิดเชิงระบบ คือ การคิดภาพรวมใหญ่ ประกอบด้วยระบบย่อยที่มีความหลากหลายของระบบ แล้วพิจารณาแยกย่อยระบบใหญ่ ออกเป็นระบบย่อยที่เชื่อมโยงกัน และมีอิทธิพลต่อกัน (มกราพันธุ์ จูฑะรสก, 2562) และมีเป้าหมายของการคิด การคิดเชิงระบบมีความสำคัญในด้านการวางแผน (Senge, 1993) การวางแผนที่ดีสามารถทำงานได้อย่างสำเร็จรวมทั้งถ้าผู้เรียนได้รับการฝึกฝนการคิดเชิงระบบจะทำให้สามารถรับมือกับปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย และจากงานวิจัยของ Waters Foundation (2017) พบว่า การคิดเชิงระบบสามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางด้านวิชาการของผู้เรียนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้เรียนสามารถประยุกต์ใช้ และได้รับประโยชน์ตลอดชีวิตผ่านแนวคิดของการคิดเชิงระบบ

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย จากการศึกษาการวิจัยทั้งไทยและต่างประเทศพบว่า การวิจัยโดยส่วนใหญ่เน้นที่กระบวนการพัฒนารูปแบบกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการคิดเชิงระบบเป็นหลัก แต่การพัฒนาเครื่องมือวัดและประเมินการคิดเชิงระบบยังไม่มีรูปแบบของการวัดที่ไม่ชัดเจน รวมถึงการพัฒนาเครื่องมือการวัดและประเมินการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ยังไม่มีมาก่อน เนื่องจากแนวคิดการคิดเชิงระบบส่วนใหญ่มีรูปแบบการพัฒนาระบบการคิดเชิงระบบและการวัดความสามารถทางการคิดเชิงระบบมักพบในวิชาวิทยาศาสตร์ นอกจากการคิดเชิงระบบจะเป็นกระบวนการในการคิดแล้ว ยังเป็นการคิดอย่างวิทยาศาสตร์ ดังนั้น การวิจัยโดยส่วนใหญ่จะเน้นการจัดการเรียนรู้เพื่อให้เกิดการคิดเชิงระบบผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ แต่ในความเป็นจริงแล้วการคิดเชิงระบบสามารถใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์มาพัฒนาและสร้างการคิดเชิงระบบได้เช่นกัน ด้วยคณิตศาสตร์สามารถทำให้ผู้เรียนเกิดการคิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบ มีแบบแผน (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) มีการวางแผนในการทำงาน มีความสามารถในการทำงาน มีความสามารถในการตัดสินใจ ซึ่งสอดคล้องกับการคิดเชิงระบบ นอกจากนี้การคิดเชิงระบบยังเป็นองค์ประกอบย่อยของการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ซึ่งเป็นทักษะในศตวรรษที่ 21 จากการศึกษาองค์ประกอบของการคิดเชิงระบบพบว่ายังไม่มี การระบอบองค์ประกอบที่แน่ชัด แต่มีงานวิจัยของ ปารมี ศรีบุญทิพย์ (2560) ที่มีการสร้างองค์ประกอบของการคิดเชิงระบบ องค์ประกอบการคิดเชิงระบบประกอบไปด้วย การคิดแบบองค์รวม การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง และการคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ชัดเจนตรงตามสภาพจริงมากที่สุด

จากแนวคิดและความสำคัญที่ได้จากการศึกษาทฤษฎีรวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคิดเชิงระบบ ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ทำให้ผู้วิจัยเกิดแนวคิดที่จะพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อให้ได้เครื่องมือในการวัดและประเมินการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ที่มีคุณภาพและเป็นประโยชน์ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย
2. เพื่อตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

ขอบเขตการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ

แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบที่ได้จากการสังเคราะห์ 3 องค์ประกอบ ได้แก่ การคิดแบบองค์รวม การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง และการคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์

การตรวจสอบคุณภาพของแบบวัด โดยพิจารณาความตรงเชิงเนื้อหา (content validity) ความตรงเชิงโครงสร้าง (construct validity) ของโมเดลองค์ประกอบการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ความตรงตามเกณฑ์สัมพันธ์ (criterion-related validity) ตรวจสอบความเที่ยง (reliability) ตรวจสอบค่าอำนาจจำแนก (discriminant index)

นิยามศัพท์เฉพาะ

การคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ หมายถึง การคิดที่ทำให้มองเห็นภาพความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่าง ๆ การเข้าใจความสัมพันธ์ การมีเหตุและผล มีกระบวนการคิดเป็นขั้นตอน เพื่อนำไปสู่กระบวนการแก้ปัญหา โดยอาศัยทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา ซึ่งประกอบไปด้วย 3 องค์ประกอบ คือ 1) การคิดแบบองค์รวม 2) การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง และ 3) การคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์

การคิดแบบองค์รวม หมายถึง การคิดโดยการมองภาพรวมของระบบหรือปัญหาทั้งหมด การเข้าใจว่าส่วนย่อย ๆ ในระบบไม่สามารถแยกจากกันได้

การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง หมายถึง การมีปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นในระบบ การเข้าใจว่าหากระบบย่อยมีการเปลี่ยนแปลงก็จะส่งผลกระทบต่อระบบใหญ่ด้วย

การคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ หมายถึง การคิดเพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ การขยายขอบเขตความคิดออกไปจากกรอบความคิดเดิมที่มีอยู่สู่ความคิดใหม่ ๆ เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดกับปัญหาที่เกิดขึ้น เป็นการเสนอความคิดที่แตกต่างจากเดิมแต่ยังคงสอดคล้องกับเงื่อนไขของระบบ

แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ หมายถึง เครื่องมือที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยการประยุกต์เนื้อหาความรู้ ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ภายใต้หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ปรับปรุง 2560)

คุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ หมายถึง คุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ได้แก่ ความตรง (Validity) และความเที่ยง (Reliability)

ทบทวนวรรณกรรม

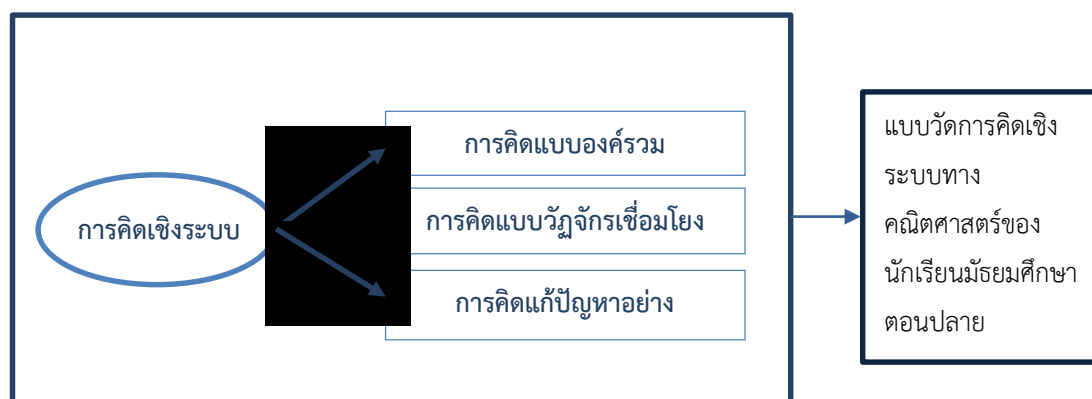
จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า การประเมินการคิดเชิงระบบมีรูปแบบการประเมินที่หลากหลาย ไม่มีรูปแบบชัดเจน มีทั้งการใช้แบบทดสอบอัตนัยเขียนตอบสั้น แบบสอบปรนัย หรือแม้แต่การใช้แบบประเมินความสามารถการคิดเชิงระบบ โดยมีรูปแบบข้อคำถามหรือภาระงานเป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน จากการศึกษาองค์ประกอบการคิดเชิงระบบพบว่าไม่มีองค์ประกอบที่ชัดเจน แต่มีการอธิบายลักษณะบ่งชี้ของการคิดเชิงระบบ Anderson and Johnson (1997) ได้อธิบายลักษณะสำคัญของการคิดเชิงระบบไว้ 5 ด้าน ได้แก่ การคิดแบบองค์รวม คือ การมองย้อนกลับไปจุดเริ่มต้นของปัญหา, การสร้างสมดุลระหว่างมุมมองระยะสั้นกับระยะยาว, มีความเป็นพลวัตของระบบ การที่ระบบมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา มีความซับซ้อน, มีการให้ข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ และหน้าที่ขององค์ประกอบย่อยและหน้าที่ที่ทั้งระบบมีอิทธิพลต่อกันและกัน ในขณะที่ Assaraf and Orion (2005) ได้แบ่งลักษณะบ่งชี้ของการคิดเชิงระบบเป็น 8 ลักษณะ คือความสามารถในการระบุองค์ประกอบและกระบวนการในระบบ, ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในระบบ, ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์เชิงพลวัตในระบบ, ความสามารถในการจัดลำดับองค์ประกอบและกระบวนการของระบบภายในกรอบความสัมพันธ์, ความสามารถในการเข้าใจธรรมชาติของวัฏจักรในระบบ, ความสามารถในการสร้างให้เกิดความเข้าใจโดยทั่วไป, ความเข้าใจในมิติที่มองไม่เห็นระบบ และการคิดสืบทอดและพยากรณ์ ฤทัยรัตน์ ชิตมงคล และสมยศ ชิตมงคล (2560) ได้สรุปว่าระบบเป็นที่รวมขององค์ประกอบหรือส่วนย่อย สามารถสรุปลักษณะสำคัญของการคิดเชิงระบบได้ดังนี้

1) การคิดแบบองค์รวม (holistic) 2) การคิดที่สัมพันธ์กับการมองบริบท (context) 3) คิดเป็นลำดับขั้น (hierarchy) 4) คิดแบบมีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน (interaction) 5) คิดแบบวงจรป้อนกลับ (feedback-loops) นอกจากนี้ ประจักษ์ ปฏิทัศน์ (2562) ได้เสนอคุณลักษณะการคิดเชิงระบบที่สำคัญควรประกอบไปด้วย 1) พิจารณาองค์รวมทั้งหมด 2) องค์รวมทั้งหมดมีคุณค่า 3) องค์รวมทั้งหมดของระบบคือแบบแผนที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว 4) มุ่งทำความเข้าใจวัฏวนของพฤติกรรมของระบบที่เกิดขึ้น 5) ระบบต้องปรับตัวตามการเปลี่ยนแปลง ซึ่งลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับองค์ประกอบการคิดเชิงระบบในงานวิจัยของ ปารมี ศรีบุญทิพย์ (2560)

องค์ประกอบของการคิดเชิงระบบอธิบายได้ 3 องค์ประกอบ คือ (1) การคิดแบบองค์รวม (2) การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง และ (3) การคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ นำไปสู่การสร้างแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

การพัฒนาและสร้างแบบวัด หลักการและขั้นตอนในการพัฒนาและสร้างแบบวัด มีรายละเอียดเป็นกระบวนการซึ่งประกอบด้วย การวางแผน วางโครงสร้าง ประเมินรวมถึงการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแบบวัด การตรวจสอบคุณภาพของแบบวัด โดยทั่วไปการจะนำเครื่องมือไปใช้จำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือก่อน เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องมือที่จะนำไปวัดมีคุณภาพสูง คุณภาพที่สำคัญของเครื่องมือที่ควรตรวจสอบ ได้แก่ ความตรง (Validity) และความเที่ยง (Reliability) นอกจากนี้เครื่องมือในการประเมินที่ดี คือเครื่องมือที่สามารถประเมินทักษะกระบวนการแก้ปัญหาในด้านต่าง ๆ ของผู้สอบได้ (ชยานันท์ โคสุวรรณ์, สุนทร คำนวล และธัญญรัตน์ ทองคำ, 2560)

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้แบ่งวิธีการดำเนินการออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้ 1) กำหนดจุดมุ่งหมายในการสร้างแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย 2) กำหนดองค์ประกอบ ตัวบ่งชี้ และพฤติกรรมการคิดเชิงระบบ โดยการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดนิยาม ตัวบ่งชี้ และพฤติกรรมบ่งชี้ 3) สร้างแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ตามองค์ประกอบของการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ การสร้างแผนผังข้อสอบ (Test Blueprint) ดังตารางที่ 1 โดยแบบวัดมีรูปแบบของการให้คะแนนทั้งแบบปรนัยเลือกตอบให้คะแนนแบบ 0, 1 และแบบอัตนัยเขียนตอบ ตรวจสอบให้คะแนนตามเกณฑ์การให้คะแนน โดยมีตารางลักษณะเฉพาะของข้อสอบ (Test Specification) ดังตารางที่ 2 4) ตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ด้านความตรงตามเนื้อหา ด้วยผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาและการวัดประเมิน 5 ท่าน พิจารณา

จากดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดมุ่งหมาย (item objective congruency index: IOC) ต้องมากกว่าเท่ากับ .5 (โชติกา ภาชีผล, 2559) เพื่อตัดสินข้อคำถามที่สร้างขึ้นว่าเป็นไปตามเนื้อหาและวัตถุประสงค์ด้านเนื้อหาหรือไม่ นอกจากนี้ยังตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสม ความครอบคลุมของข้อคำถาม ความชัดเจนของการใช้ภาษา และให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม 5) นำแบบวัดที่สร้างขึ้นไปทดลองกับกลุ่มนักร้อง โดยพิจารณาจากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (t-test independent) ผู้วิจัยใช้ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบของกลุ่มนักร้องทั้งหมด แบ่งออกเป็นกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS 6) คัดเลือกข้อคำถามเพื่อพัฒนาเป็นแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

ตารางที่ 1 แผนผังข้อสอบ (Test Blueprint) ของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

องค์ประกอบ	วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	รูปแบบข้อคำถาม	
		แบบปรนัย	แบบอัตนัย
การคิดแบบองค์รวม	สามารถวิเคราะห์และอธิบายสาเหตุของปัญหา	3	
	สามารถระบุปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน	3	
การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง	สามารถระบุความสัมพันธ์ของสาเหตุของปัญหา	2	1
	เขียนความสัมพันธ์ของปัญหาโดยใช้รูป สัญลักษณ์ในการสื่อสาร		3
การคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์	สามารถอธิบายรูปแบบและสัญลักษณ์		3
	สามารถนำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาอย่างสร้างสรรค์		3
รวม		8	10

โดยรูปแบบของข้อคำถามของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย สร้างจากสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน ดังตัวอย่าง

การเดินทาง

จินและแม่ของเธออยู่ที่ชายหาด พวกเขาทั้งสองคนต้องการที่จะกลับโรงแรมก่อนเวลา 18.00 น. เพื่อให้ทันเวลาอาหารเย็นของโรงแรม ถ้าความเร็วในการขับของรถคันนี้อยู่ที่ไม่เกิน 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และสัญญาณเตือนว่าน้ำมันรถของจินใกล้จะหมดอีกด้วย เวลาที่จินและแม่ของเธอควรออกจากชายหาดอย่างน้อยที่สุดคือเวลาใด เพื่อที่พวกเขาจะถึงโรงแรมทันเวลา กำหนดให้ระยะทางและเส้นทางจากชายหาดถึงโรงแรมเป็นดังภาพ



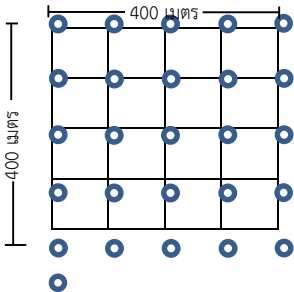
ภาพ 2 ตัวอย่างข้อคำถาม

ที่มาของภาพ : <http://seasunsandresort.com/location.php#hotel>

ตารางที่ 2 ตัวอย่างตารางลักษณะเฉพาะ (Test Specification) ของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย (แบบปรนัย)

ข้อคำถามปรนัยแบบตอบเชิงซ้อน	
ลักษณะคำถาม	กำหนดสถานการณ์ที่เป็นปัญหาในโลกของความเป็นจริง และยกตัวอย่างสาเหตุหรือปัจจัยที่อาจจะส่งผลกระทบต่อระบบหรือสถานการณ์ วิเคราะห์สิ่งเหล่านั้น
ลักษณะคำตอบ	เลือกว่าปัจจัยหรือองค์ประกอบที่กำหนดให้ส่งผลกระทบต่อระบบหรือสถานการณ์ที่กำหนดให้
ตัวถูก	เป็นปัจจัยหรือองค์ประกอบที่ส่งผลกระทบต่อระบบหรือปัญหาของสถานการณ์ที่กำหนด
ตัวหลง	ไม่เป็นปัจจัยหรือองค์ประกอบที่ส่งผลกระทบต่อระบบหรือปัญหาของสถานการณ์ที่กำหนด
ตัวอย่างข้อคำถาม	จากข้อมูลข้างต้น พิจารณปัจจัยที่กำหนดให้ว่าเป็นสิ่งที่เจและน้องสาวต้องคำนึงถึงในการวางแผนการเดินทางหรือไม่ โดยวงกลมล้อมรอบคำว่า “เป็น” หรือ “ไม่เป็น” ในแต่ละข้อความ
เกณฑ์ในการประเมิน	ตอบถูกทั้งหมด ให้ 1 คะแนน ตอบอื่น ๆ ให้ 0 คะแนน

ตารางที่ 3 ตัวอย่างตารางลักษณะเฉพาะ (Test Specification) ของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย (แบบอัตนัย)

ข้อคำถามอัตนัยแบบเขียนตอบ	
ลักษณะคำถาม	กำหนดสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในโลกของความเป็นจริง วิเคราะห์ เชื่อมโยงผลกระทบของความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุหรือปัจจัยกับการแก้ปัญหาในสถานการณ์ที่กำหนด
ลักษณะคำตอบ	เขียนคำตอบที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาที่กำหนดกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง
ตัวอย่างข้อคำถาม	จากข้อมูลกังหันลมระยะทางที่น้อยที่สุดระหว่างเสาสองเสาของกังหันลมผลิตไฟฟ้าคือกี่เท่าของความยาวใบพัด พร้อมแสดงการคำนวณเพื่อสนับสนุนคำตอบ เมื่อกำหนดพื้นที่ในการก่อสร้างเป็นพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส และกำหนดตำแหน่งที่สามารถติดตั้งกังหันลมได้ภาพ
	กังหันลมดังภาพ  <u>ตอบ</u> เท่าของความยาวใบพัด = ตำแหน่งที่สามารถติดตั้งกังหันลมได้
เกณฑ์ในการประเมิน	เขียนคำตอบที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาที่กำหนดกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้ถูกต้อง ให้ 1 คะแนน เขียนคำตอบอื่น ๆ ให้ 0 คะแนน

ตอนที่ 2 การตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้ 1) กำหนดขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูล โดยกำหนดจากจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องการประมาณค่า จำนวนพารามิเตอร์ $\times 20$ (Hair & al., 2017) และเพื่อป้องกันการสูญเสียของข้อมูลผู้วิจัยได้เพิ่มจำนวนตัวอย่างอีก 20% 2) นำแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ไปเก็บรวบรวมข้อมูล และ 3) ตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ด้านความตรง (Validity) และความเที่ยง (Reliability)

ตัวอย่าง

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย (ม.4 - ม. 6) ทั้งแผนการเรียนวิทย์และแผนการเรียนศิลป์ ได้จากการการสุ่มแบบหลายชั้น (multi-stage random sampling) โดยการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) คือ เขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 10 เนื่องจากเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 10 มีทั้งความเป็นเมืองและชนบท จากนั้นทำการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) เพื่อให้ได้ตัวอย่าง จำนวน 600 คน

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

1.1 ข้อมูลคะแนนเบื้องต้นของคะแนนสอบของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายแบบภาพรวม

ตารางที่ 4 คะแนนเบื้องต้นของคะแนนสอบจากตัวอย่าง

ข้อมูลเบื้องต้น	คะแนนสูงสุด	คะแนนต่ำสุด	คะแนนเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความเบ้	ความโด่ง
ค่าคะแนน	22.00	0.00	7.63	4.91	0.464	-0.731

จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์คะแนนเบื้องต้นของคะแนนสอบจากตัวอย่าง พบว่า มีคะแนนเฉลี่ย (mean) เท่ากับ 7.63 คะแนน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 4.91 โดยมีคะแนนสูงสุดเท่ากับ 22.00 คะแนน คะแนนต่ำสุดเท่ากับ 0.00 จากคะแนนเต็ม 24 คะแนน มีความเบ้เท่ากับ 0.464 และค่าความโด่งเท่ากับ -0.73

1.2 ข้อมูลผลการประเมินการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของตัวอย่าง จากเกณฑ์การประเมินการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการประเมินการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของตัวอย่าง แบ่งตามแผนการเรียน

ผลการประเมินการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์	ช่วงคะแนน	แผนการเรียนวิทย์		แผนการเรียนศิลป์		รวม	
		จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
ระดับสูง	18 – 24	11	1.80	0	0.00	11	1.80
ระดับปานกลาง	11 – 17	152	25.30	15	2.50	167	27.80
ระดับต่ำ	0 -10	215	35.80	207	34.50	422	70.30
	รวม	378	63.00	222	37.00	600	100.00

จากตารางที่ 5 เมื่อนำผลคะแนนของนักเรียนมาตัดสินผลประเมินระดับการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ พบว่า นักเรียนมีผลการประเมินการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ระดับสูงจำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 1.80 ระดับปานกลางจำนวน 167 คน คิดเป็นร้อยละ 27.80 และระดับต่ำจำนวน 422 คน คิดเป็นร้อยละ 70.30 หากแบ่งตามแผนการเรียนพบว่า นักเรียนแผนการเรียนวิทย์มีผลการประเมินการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ระดับสูงจำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 1.80 ระดับปานกลางจำนวน 152 คน คิดเป็นร้อยละ 25.30 และระดับต่ำจำนวน 215 คน คิดเป็นร้อยละ 35.80

ในขณะที่นักเรียนแผนการเรียนศิลป์ไม่มีนักเรียนคนใดมีผลการประเมินการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ระดับสูง และมีผลการประเมินระดับปานกลางจำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 2.50 ระดับต่ำจำนวน 207 คน คิดเป็นร้อยละ 34.50 ตามลำดับ

2. ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

2.1 ผลการตรวจสอบคุณภาพรายข้อของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายพิจารณาจากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (t-test independent) ผู้วิจัยใช้ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบของตัวอย่างทั้งหมด แบ่งออกเป็นกลุ่มสูง และกลุ่มต่ำ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS พบว่าข้อคำถามทั้ง 18 ข้อ สามารถจำแนกความสามารถของผู้สอบได้ มีค่าตั้งแต่ 4.30 – 20.48

2.2. ผลการวิเคราะห์ค่าความเที่ยงของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายทั้งฉบับ โดยการพิจารณาค่าความสอดคล้องภายในด้วยสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient: α) ด้วยโปรแกรม SPSS พบว่า มีค่าความเที่ยงของแบบวัดทั้งฉบับเท่ากับ 0.818 แสดงให้เห็นว่าแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์มีค่าความเที่ยงสูง (มีค่าอยู่ระหว่าง 0.70 – 1.00)

2.3 การตรวจสอบความตรงของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยการตรวจสอบความตรงเชิงเกณฑ์สัมพันธ์ (Criterion-related Validity) และการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้าง (Construct Validity)

2.3.1 ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเกณฑ์สัมพันธ์เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของคะแนนที่ได้จากแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายกับผลสัมฤทธิ์วิชาคณิตศาสตร์พื้นฐาน พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนที่ได้จากแบบสอบการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายและผลสัมฤทธิ์วิชาคณิตศาสตร์พื้นฐานมีความสัมพันธ์เชิงบวกขนาดต่ำขนาด .418 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ($r_{xy} = .418$; $p = .000$) คะแนนที่ได้จากแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ กับ ผลสัมฤทธิ์วิชาคณิตศาสตร์พื้นฐานมีระดับความแปรผันร่วมกันคิดเป็นร้อยละ 20.11 Bounchanh Vongthongkham และคนอื่น ๆ (2563) กล่าวว่านักเรียนที่จะมีผลสัมฤทธิ์ที่ดีในวิชาคณิตศาสตร์ต้องมียุทธศาสตร์ทางคณิตศาสตร์ประกอบร่วมกับองค์ประกอบอื่น ๆ ด้วย

2.3.2 ผลการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ดำเนินการวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน โดยใช้โปรแกรม LISREL มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความตรงหรือความสอดคล้องของโมเดลการวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ว่าสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้ จำนวน 6 ตัวแปร โดยใช้สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน มีค่าตั้งแต่ 0.230 – 0.716

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรสังเกตได้ที่ใช้วัดความสามารถ โดยการทดสอบ สมมติฐานว่าเมทริกซ์สหสัมพันธ์เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์ (identity matrix) หรือไม่ พบว่า มีค่า Bartlett's Test of Sphericity พบว่ามีค่าเท่ากับ 1,216.92 ($p < .01$) ซึ่งการทดสอบดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าดัชนี ไกเซอร์-เมเยอร์-ออลคิน (Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy: KMO) มีค่าเท่ากับ .837 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าตัวแปรต่าง ๆ ของข้อมูลมีความสัมพันธ์กันเพียงพอ และเหมาะสมที่จะนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน เนื่องจากตัวแปรที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบควรเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กัน

ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลการวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์กับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยการพิจารณา ค่าไค-สแควร์ (Chi-square: χ^2) เท่ากับ 4.58 ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($df = 4$, $p = .329$) ค่า GFI = .997, ค่า AGFI = .987 และค่า RMSEA = .016 จากเกณฑ์ที่พิจารณา (Depi Oktasari, Ismet and S M Siahaan, 2019 และ Mousa Alavi, Denis Visemtin and others, 2020) พบว่าโมเดลการวัด มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

ซึ่งหมายความว่าโมเดลดังกล่าวสามารถอธิบายโมเดลการวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายได้ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าดัชนีวัดความสอดคล้องของโมเดลและข้อมูลเชิงประจักษ์

ดัชนีทดสอบ	เกณฑ์	ค่าสถิติในโมเดล
Chi-square: χ^2	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ	4.58 (P = .329, df = 4)
ดัชนีวัดระดับความสอดคล้องกลมกลืน (GFI)	> .95 เข้าใกล้ 1	.997
ดัชนีวัดระดับความกลมกลืนที่ปรับแก้ (AGFI)	> .95 เข้าใกล้ 1	.987
ดัชนีรากที่สองของความคลาดเคลื่อนในการประมาณ (RMSEA)	< .05 เข้าใกล้ 0	.016

อภิปรายผล

1) จากการพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์จากองค์ประกอบการคิดเชิงระบบจากงานวิจัยของ ปารมี ศรีบุญทิพย์ (2560) ประกอบด้วย คือ (1) การคิดแบบองค์รวม (2) การคิดแบบวัฏจักรเชื่อมโยง และ (3) การคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ จากนั้นกำหนดลักษณะเฉพาะของแบบวัดที่สร้างขึ้นตามองค์ประกอบ ทำให้ได้แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ที่มีรูปแบบชัดเจนสามารถนำไปพัฒนาต่อได้ โดยแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ประกอบไปด้วยรูปแบบข้อคำถามที่หลากหลาย ได้แก่ ข้อคำถามแบบปรนัย จำนวน 8 ข้อ ข้อคำถามแบบอัตนัย จำนวน 10 ข้อ รวม 18 ข้อ การสร้างข้อคำถามให้สอดคล้องกับสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน

2) การตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ โดยการพิจารณา การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (t-test independent) เพื่อตรวจสอบความสามารถของแบบวัดในการจำแนกผู้สอบด้านการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์โดยทั้ง 18 ข้อสามารถจำแนกผู้สอบได้ การทดสอบค่าความเที่ยงของแบบวัดทั้งฉบับ จากตัวอย่าง แปรผลได้ว่าแบบวัดฉบับนี้มีค่าความเที่ยงสูง (มีค่าอยู่ระหว่าง 0.70 – 1.00) ธีรภัทร สุดโต และอภินันท์ นาคอำไพ (2560) สรุปไว้ว่า ความเที่ยงของเครื่องมือ คือคุณสมบัติของเครื่องมือที่สามารถวัดข้อมูลได้คงที่แน่นอน จึงทำให้แบบวัดที่สร้างขึ้นจะวัดก็ครั้งก็สามารถได้ผลที่คงเดิม

3) การตรวจสอบความตรงตามเกณฑ์สัมพันธ (Criterion-related Validity) ประเภทความตรงตามสภาพ (Concurrent Validity) ด้วยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation Coefficient) เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของคะแนนสอบที่ได้จากแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ กับ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์พื้นฐาน ในการตรวจสอบผลการสรุปงานวิจัยของ Waters Foundation (2017) พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกขนาดต่ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r_{xy} = .418$, $p = .000$) คะแนนที่ได้มีระดับความแปรผันร่วมคิดเป็นร้อยละ 20.11 ทั้งนี้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนอาจมีตัวแปรอื่นเข้ามาลงผลควบคู่ เช่น อัจฉริยะหรือความสนใจทางคณิตศาสตร์มีอิทธิพลทางตรงและทางอ้อมต่อทักษะทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน (Bounchanh Vongthongkham, Poliny Ung และปริญญา เรืองทิพย์, 2563)

4) การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้าง จากการพิจารณาโมเดลการวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ ตามกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์ วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม LISREL ตัวแปรสังเกตได้จากการเก็บข้อมูล มีความสัมพันธ์กัน เหมาะสมที่จะนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบ ค่าสถิติทดสอบสมมติฐานว่าเมทริกซ์สหสัมพันธ์นี้เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์ (identity matrix) (Bartlett's Test of Sphericity = 1,216.92, $p < .01$), ค่า KMO = .837 และเมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์องค์ประกอบเชิง พบว่าโมเดลโมเดลการวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์กัน (Chi-square=4.58, df=4, P=0.329, GFI=0.997, AGFI=0.987, RMSEA=0.016) พิจารณาจากเกณฑ์ของ Depi Oktasari, Ismet and S M Siahaan (2019) และ Mousa Alavi, Denis Visemtin and others

(2020) จากข้อมูลดังกล่าวทำให้แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ฉบับนี้ มีทั้งคุณภาพทั้งด้านความตรงเชิงเนื้อหา ความตรงตามเกณฑ์สัมพัทธ์ ความตรงเชิงโครงสร้าง ความเที่ยง และคุณภาพรายข้อ

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

1. การพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย มีการกำหนดแผนผัง และลักษณะเฉพาะของแบบวัด ซึ่งผู้วิจัยที่มีความสนใจสามารถนำไปพัฒนาแบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ได้ ทั้งนี้ควรศึกษาและทำความเข้าใจในการคิดเชิงระบบให้เข้าใจ รวมถึงการสร้างแบบวัด การสร้างข้อคำถาม รวมถึงรายละเอียดอื่น ๆ

2. การพัฒนาเครื่องมืออื่น ๆ ของการวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ เช่น แบบประเมิน แบบสังเกต แบบสัมภาษณ์ หรือแบบสอบถาม เป็นต้น ผู้ที่มีความสนใจสามารถนำแผนผังของแบบสอบถามไปพัฒนาเครื่องมือของตนเองได้ รวมถึงรูปแบบของข้อคำถาม เพื่อให้ได้เครื่องมือในการวัดการคิดเชิงระบบที่มีคุณภาพ สามารถนำไปใช้ได้จริง

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย เป็นแบบวัดที่เน้นสถานการณ์ที่มีความสอดคล้องกับหลักการคิดทางคณิตศาสตร์ จึงอาจพัฒนาให้สอดคล้องกับวิชาอื่น ๆ

2. แบบวัดการคิดเชิงระบบทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย มุ่งวัดกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายทั้งแผนการเรียนวิทย์และแผนการเรียนศิลป์ หากต้องการวัดในระดับชั้นอื่น ๆ หรือเฉพาะเจาะจง อาจต้องมีการพัฒนาแบบวัดเพิ่มเติม

3. การสร้างข้อคำถามในแต่ละข้อสามารถวัดได้เพียง 1 ตัวบ่งชี้ จึงทำให้ต้องใช้เวลาในการทำแบบวัดนาน ดังนั้น บางข้อคำถามสามารถพัฒนาให้สามารถวัดได้มากกว่า 1 มิติ

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560). สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- ชยานันท์ โคสุวรรณ์, สุนทร คำนวล และธัญญ์ศรี ทอดคำ. (2560). การพัฒนาเครื่องมือประเมินการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน. *วารสารการวัดผลการศึกษา*. 34 (96). 30-44
- โชติกา ภาษีผล. (2559). การวัดและประเมินผลการเรียนรู้. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธีรภัทร สุดโต และอภินันท์ นาคอำไพ. (2560). การวัดเจตคติ. *วารสารการวัดผลการศึกษา*. 34 (96). 1-14
- ประจักษ์ ปฏิทัศน์. (2562). การคิดเชิงระบบและความคิดสร้างสรรค์. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปารมี ศรีบุญทิพย์ และคณะ. (2560). การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของการคิดเชิงระบบของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยของรัฐ สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา. *Veridian E-Journal, Silpakorn University* 10(กันยายน-ธันวาคม 2560). 38-51.
- มกราพันธุ์ จูฑะรสก. (2562). การพัฒนากระบวนการคิดอย่างเป็นระบบเชิงสร้างสรรค์: การสะท้อนคิดด้วยเทคนิคตะกร้า 3 ใบ. *วารสารวิจัยและพัฒนาหลักสูตร*. 9 (2). 203-222

- ฤทัยรัตน์ ชิดมงคล และสมยศ ชิดมงคล. (2560). การคิดเชิงระบบ: ประสบการณ์สอนเพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบ. *วารสารครุศาสตร์*. 45 (2). 209-224.
- Alavi, M., Visemtin, D.C., and others. (2020). Chi-square for model fit in confirmatory factor analysis. *Journal of Advanced Nursing*. 76(9), Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/340864596_Chi-square_for_model_fit_in_confirmatory_factor_analysis
- Anderson, V., & Jonhson, L. (1997). *Systems Thinking Basics: From Concepts to Causal Loops*. Waltham: Pegasus Communications.
- Assaraf, O. B.-Z, Orion, N. (2005). Development of systems thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 518-560 Retrieved from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/tea.20061>
- Bounchanh Vongthongkham, Poliny Ung และปริญญา เรืองทิพย์. (2563). อิทธิพลของอัตมโนทัศน์ต่อทักษะทางคณิตศาสตร์ โดยมีแรงจูงใจแฝงสัมฤทธิ์เป็นตัวแปรคั่นกลาง. *วารสารการวัดผลการศึกษา*. 37 (102). 219-229
- Depi Oktasari, Ismet and S M Siahaan. (2019). Validation construct: Confirmatory Factor Analysis (CFA) instrument scientific communication skill students in learning physics. *Journal of Physics: Conference Series*, 1567, Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1567/3/032095/pdf>
- Hair J.F., Hult G.T.M., Ringle C.M., Sarsted M., (2017) *A primer on partial least squares structural equations modeling (PLS-SEM) (second edition)* , Los Angeles, SAGE.
- Senge, Peter. (1993). *The Fifth Discipline: The Art and Practice of Learning Organization*. London: Century Business.
- Waters Foundation. (2017). *The Impact of the Systems Thinking in School in School Project: 20 years of Research, Development and Dissemination*. Retrieved from: http://watersfoundation.org/wp-content/uploads/2017/07/STIS_Research.pdf