การพัฒนาเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบทีแพค-สะเต็ม

Development of STEM teacher's competencies measurement instrument Using TPACK-STEM framework

กรวุฒิ แผนพรหม[1*] ดวงกมล ไตรวิจิตรคุณ[2] และ กนิษฐ์ ศรีเคลือบ[3]
Korawut Phanprom[1*] Duangkamol Traiwichitkhun[2] and Kanit Sriklaub[3]
(Received: April 19, 2020 ; Revised: May 13, 2020 ; Accepted: May 19, 2020)

บทคัดย่อ

สารสนเทศเกี่ยวกับความรู้ความสามารถในการจัดการเรียนการสอนสะเต็มของครูมีความสำคัญต่อการพัฒนาและเตรียมความพร้อมครูสะเต็มให้สามารถจัดการเรียนการสอนสะเต็มได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการได้มาซึ่งสารสนเทศที่ถูกต้องและครอบคลุมสมรรถนะครูสะเต็มที่ครูควรจะมีทั้งหมดต้องอาศัยเครื่องมือวัดสมรรถนะที่สามารถวัดได้ทั้งความรู้ความสามารถในการออกแบบการเรียนการสอนจนถึงการประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน และต้องสามารถวัดความรู้ความสามารถเกี่ยวกับสะเต็มของครูได้อีกด้วย งานวิจัยนี้จึงนำกรอบแนวคิด TPACK-STEM มาใช้ในการพัฒนาเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็ม เพื่อให้ได้เครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มที่สามารถใช้วัดความรู้ความสามารถของครูในการจัดการเรียนการสอนสะเต็มได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการพัฒนาเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบ TPACK-STEM เป็นแบบสอบถามที่มีโครงสร้างเป็นแบบพหุมิติภายในข้อคำถาม (multidimensional within item) แล้วนำไปใช้กับนิสิตนักศึกษาครูชั้นปีที่ 5 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น ผลการวิจัยพบว่า เครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มที่สร้างขึ้นมีคุณภาพทั้งความเที่ยง (Cronbach's alpha, .938 - .953; Omega, .939 - .954) ความตรงเชิงเนื้อหา (IOC, 0.67-1) และความตรงเชิงโครงสร้าง (χ^2 (93, *N*=310) = 97.950, *p* = .343, *CFI* = .999, *TLI* = .998, *SRMR*=.019, *RMSEA* = .013) ตามมาตรฐาน ดังนั้นเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มที่สร้างขึ้นจึงสามารถนำไปใช้วัดสมรรถนะครูสะเต็มได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

[1] นิสิตดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิธีวิทยาการวิจัยการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[2] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[3] อาจารย์ ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[1] Doctoral degree student in Educational Research Methodology Program, Faculty of Education, Chulalongkorn University
[2] Associate Professor, Department of Educational Research and Psychology, Faculty of Education, Chulalongkorn University
[3] Lecturer, Department of Educational Research and Psychology, Faculty of Education, Chulalongkorn University
* Corresponding Author E-mail: korawut.ph@gmail.com

คำสำคัญ การวัดสมรรถนะครูสะเต็ม สะเต็ม ทีแพค การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันพหุมิติ

Abstract

Information about teacher's knowledge and competency of STEM instruction is important to STEM teachers' development and preparation for the teacher's efficient STEM teaching. Accurate and comprehensive information acquisition of STEM teacher's significant competencies needs an effective tool. The tool must be able to measure knowledge and ability in learning and teaching design as well as evaluation of learners' learning, and it must be able to measure the teacher's STEM knowledge and ability also. This research, therefore, applied the TPACK-STEM conceptual framework in development of an instrument to efficiently measure STEM teacher's competencies in organizing for learning and teaching. The instrument developed was a questionnaire based on the TPACK-STEM conceptual framework which was multidimensional within item. The instrument was then used to collect data from 310 fifth-year preservice teachers. The data obtained was analyzed to find the quality of the instrument developed.

The findings showed that the STEM teacher's competency measurement instrument had standard quality, having the reliability of (Cronbach's alpha, .938 - .953; Omega, .939 - .954), the content validity of (IOC, 0.67-1), and the construct validity of (χ^2 (93, N=310) = 97.950, p = .343, CFI = .999, TLI = .998, $SRMR$=.019, $RMSEA$ = .013). Consequently, the STEM teacher's competency measurement instrument can be used to measure STEM teacher's competencies accurately and efficiently.

Keywords: STEM teacher's competency measurement, STEM, TPACK, multidimensional confirmatory factor analysis

บทนำ

สะเต็มศึกษา (STEM education) เป็นแนวทางที่เน้นให้ผู้เรียนเกิดการคิด วิเคราะห์ สังเคราะห์ วางแผน แก้ปัญหา คิดอย่างมีวิจารณญาณ และทำงานเป็นระบบ (Breiner, Harkness, Johnson, & Koehler, 2012; Rinke, Gladstone-Brown, Kinlaw, & Cappiello, 2016) โดยการบูรณาการความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ให้ผู้เรียนสามารถสร้างสรรค์นวัตกรรมใหม่ ๆ ที่ใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริง (Breiner et al., 2012; Shernoff, Sinha, Bressler, & Ginsburg, 2017) การจัดการเรียนการสอนแบบสะเต็มนี้เป็นรูปแบบการจัดการเรียนการสอนที่ส่งเสริมและสอดคล้องกับการพัฒนาทักษะต่าง ๆ ของผู้เรียนในยุคศตวรรษที่ 21 (Valtonen, Sointu, Kukkonen, Kontkanen, Lambert, &Mäkitalo-Siegl, 2017) ดังนั้น ครู

จึงควรนำแนวคิดการสอนแบบสะเต็มไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน และสามารถจัดการเรียนการสอนแบบสะเต็มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ครูที่จะสามารถสอนสะเต็มได้อย่างมีประสิทธิภาพควรมีทักษะการคิด วิเคราะห์ สังเคราะห์ แก้ปัญหา รวมทั้งสามารถบูรณาการความรู้จากศาสตร์ต่าง ๆ มาใช้ในการจัดการเรียนการสอนได้ การที่ครูสะเต็มจะมีทักษะและความสามารถเหล่านี้ต้องได้รับการเตรียมความพร้อมที่ดีจากสถาบันผลิตครู แต่ที่ผ่านมาพบว่า นิสิตนักศึกษาครูบางส่วนอาจจะยังมีความพร้อมและความเข้าใจในการสอนตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่ไม่เพียงพอ ทำให้การจัดการเรียนการสอนแบบสะเต็มยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร (Adams, Miller, Saul, & Pegg, 2014; Eckman, Williams, & Silver-Thorn, 2016; Radloff, & Guzey, 2016; รัฏฏิกา ตั้งพุทธิพงศ์, 2559) เนื่องจากสถาบันผลิตครูส่วนใหญ่ไม่ได้ให้ความสำคัญกับการเตรียมความพร้อมครูสะเต็มมากเท่าที่ควร ดังนั้น สถาบันผลิตครูและผู้ที่เกี่ยวข้องจึงควรพิจารณาให้ความสำคัญกับการเตรียมความพร้อมครูสะเต็มให้มีความพร้อมมากยิ่งขึ้น (ชนิตา รักษ์พลเมือง และคณะ, 2560; รัฏฏิกา ตั้งพุทธิพงศ์, 2559) โดยสถาบันผลิตครูและผู้ที่เกี่ยวข้องควรจัดการเตรียมความพร้อม ส่งเสริมความรู้ความเข้าใจ และพัฒนาสมรรถนะในการจัดการเรียนการสอนสะเต็มแก่นิสิตนักศึกษาครูที่จะประกอบอาชีพครูในอนาคตให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เพื่อให้นิสิตนักศึกษาครูมีความรู้ความเข้าใจ และมีสมรรถนะที่ดี สามารถออกแบบการเรียนการสอนสะเต็มได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะทำให้การจัดการเรียนการสอนสะเต็มประสบความสำเร็จมากยิ่งขึ้น

การพัฒนาให้นิสิตนักศึกษาครูมีสมรรถนะครูสะเต็มที่ดี สถาบันผลิตครูและผู้เกี่ยวข้องควรทราบจุดแข็งและจุดอ่อนเกี่ยวกับสมรรถนะครูสะเต็มของนิสิตนักศึกษาให้ครอบคลุมทุกด้าน เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการพิจารณากำหนดแนวทางการเตรียมความพร้อมและพัฒนาสมรรถนะครูสะเต็มได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ โดยไม่ควรให้ความสำคัญแค่เพียงความรู้สะเต็มศึกษา เนื้อหารายวิชา หรือวิธีการสอนสะเต็มเท่านั้น (Adams et al., 2014) แต่ควรให้ความสำคัญกับความรู้ความสามารถในการบูรณาการเนื้อหาศาสตร์การสอน และเทคโนโลยี มาใช้การจัดการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือที่เรียกว่าสมรรถนะครู TPACK ซึ่งการเตรียมความพร้อมให้นิสิตนักศึกษาครูมีสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบสมรรถนะ TPACK และ STEM อย่างรอบด้านจะทำให้นิสิตนักศึกษาครูมีความรู้ความเข้าใจและมีความสามารถในการจัดการเรียนการสอนสะเต็มได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Chai, 2019; Rahman, Krishnan, & Kapila, 2017; Štuikys, & Burbaité, 2018) แต่ที่ผ่านมายังพบการนำกรอบ TPACK และ STEM มาใช้ในการวัดสมรรถนะครูสะเต็มไม่มากนัก ทำให้การได้มาซึ่งข้อมูลสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบ TPACK ซึ่งจะเป็นข้อมูลสำคัญในการพัฒนาสมรรถนะครูสะเต็มให้มีประสิทธิภาพ ยังมีไม่มากเท่าที่ควร ซึ่งอาจส่งผลให้การพัฒนาสมรรถนะครูสะเต็มยังไม่เหมาะสมเท่าที่ควร ดังนั้นจึงควรมีการนำกรอบสมรรถนะครู TPACK และ STEM มาบูรณาการสร้างเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มร่วมกัน เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับสมรรถนะครูสะเต็มที่ครอบคลุมทุกด้าน อันจะนำไปสู่การกำหนดแนวทางการพัฒนาสมรรถนะครูสะเต็มที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

การได้ข้อมูลสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบ TPACK ที่ดี มีคุณภาพ และสามารถเก็บข้อมูลที่ได้ตรงกับความเป็นจริง ต้องอาศัยเครื่องมือที่มีคุณภาพ แต่จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า เครื่องมือที่ใช้วัดสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบ TPACK ยังต้องได้รับการพัฒนาให้ครอบคลุมและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เนื่องจากธรรมชาติของแนวคิด TPACK และ STEM ต่างมีความซับซ้อนและยากต่อการแยกแต่ละมิติในการวัดให้ขาดจากกันได้ง่าย (Brantley-Dias, & Ertmer, 2013; Valtonen et al., 2017) แบบสอบถาม TPACK และสะเต็ม ส่วนใหญ่จึงมีข้อคำถามจำนวนมาก และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบแล้วข้อคำถามแต่ละข้อจะมีค่าน้ำหนักข้ามองค์ประกอบ (cross-loading) สูง (Archambault & Barnett, 2010; Drummond, & Sweeney, 2017) ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและพัฒนาให้เครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบ TPACK ให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อให้ได้เครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มที่มีประสิทธิภาพนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลและสารสนเทศที่เป็นประโยชน์ในกำหนดแนวทางการเตรียมความพร้อมและพัฒนาสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบ TPACK

จากความสำคัญของการพัฒนาเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบ TPACK ดังกล่าวจึงเป็นเหตุผลสำคัญของการวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบ TPACK ให้ได้เครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มที่มีคุณภาพและมีความยาวที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาและเตรียมความพร้อมให้นิสิตนักศึกษาครูมีสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบ TPACK ที่มีประสิทธิภาพ อันจะนำไปสู่ความสำเร็จและการได้ผลลัพธ์ที่ดีจากการจัดการเรียนการสอนสะเต็มที่มีคุณภาพ

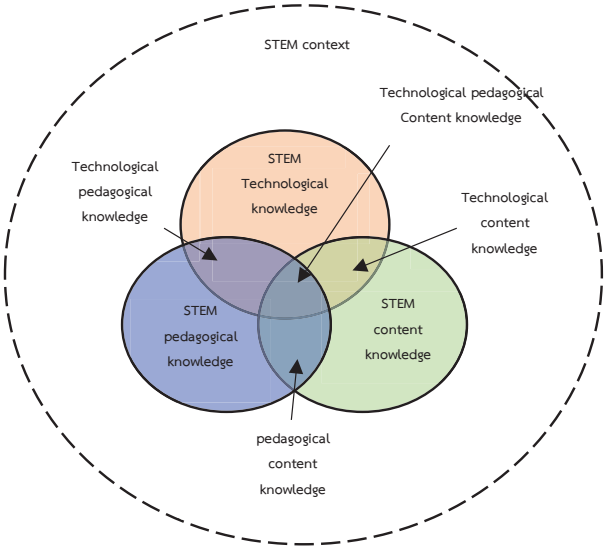
สมรรถนะครู TPACK-STEM

TPACK เป็นกรอบสมรรถนะครูในศตวรรษที่ 21 เน้นแนวคิดในการบูรณาการเทคโนโลยีในการจัดการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพ โดยให้ความสำคัญกับองค์ความรู้ในแต่ละส่วนที่ครูควรมีในการสอน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในบริบทต่าง ๆ ได้หลากหลายบริบท โดยมีนักวิจัยบางส่วนได้นำกรอบสมรรถนะ TPACK มาใช้ศึกษาการพัฒนาสมรรถนะครูหรือเตรียมความพร้อมครูในบริบทสะเต็มศึกษา เช่น การนำ TPACK มาร่วมในการออกแบบพัฒนาหลักสูตรครูสะเต็ม (McPherson, & Anid, 2014) การพัฒนาหุ่นยนต์คอมพิวเตอร์ช่วยสอนสะเต็มตามแนวคิด TPACK (Rahman, Krishnan, & Kapila, 2017; Štuikys, & Burbaité, 2018) ใช้ TPACK เป็นกรอบแนวคิดในการศึกษาความเชื่อของครูในการใช้หุ่นยนต์สอนสะเต็ม (Rahman, Chacko, & Kapila, 2017) ใช้ TPACK เป็นตัวบ่งชี้การประเมินประสิทธิภาพการใช้หุ่นยนต์สอนสะเต็ม (Rahman, Krishnan, & Kapila, 2017)

การใช้ TPACK ในบริบทสะเต็มนั้นมีแนวคิดว่า ถ้าครูมีความรู้ความสามารถตามกรอบ TPACK คือมีความรู้ในศาสตร์การสอน เนื้อหา และเทคโนโลยีที่เหมาะสม ในบริบทสะเต็มจะทำให้ครูสามารถออกแบบการจัดการเรียนการสอนสะเต็มได้ง่ายชัดเจน และมีประสิทธิภาพ ในการบูรณาการองค์ประกอบแต่ละส่วนของสะเต็มศึกษา (Chai, 2019; Štuikys, & Burbaité, 2018) ถ้าครูได้รับการเตรียมความพร้อมให้มีความรู้ความสามารถในการสอนสะเต็มตามกรอบ TPACK จะทำให้ครูมีความรู้ในด้านเนื้อหา วิธีการหรือศาสตร์การสอน รวมทั้งมีความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีที่ดี และเหมาะสมกับการออกแบบการเรียนการสอนตามแนวคิดการบูรณาการสะเต็ม ซึ่งจะทำให้ครูสะเต็มสามารถจัดการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Chai, 2019; Rahman, Krishnan, & Kapila, 2017; Štuikys, & Burbaité, 2018)

แนวคิดสะเต็มศึกษาและ TPACK เป็นสิ่งที่ควรมีคู่กัน ครูที่มีความรู้สะเต็มศึกษาแต่ไม่มีสมรรถนะ TPACK จะไม่สามารถจัดการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และกรอบสมรรถนะ TPACK เป็นกรอบ

มาตรฐานความรู้ที่ครูควรมีซึ่งต้องอิงบริบท การทราบว่าครูมีความรู้ TPACK อย่างเดียวที่ไม่อิงบริบท จะบอกได้แค่ว่าครูมีความรู้ TPACK ในระดับใด แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าครูสามารถปฏิบัติตามกรอบ TPACK ได้หรือไม่ ครูจึงควรมีทั้งความรู้ TPACK และสะเต็มศึกษา เพื่อสามารถออกแบบและจัดการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพให้ผู้เรียนสามารถบูรณาการความรู้ความสามารถ และทักษะในด้านต่าง ๆ ที่ตนเองมีมาออกแบบหรือสร้างนวัตกรรมที่ใช้แก้ปัญหาในโลกแหล่งความเป็นจริงได้ (Chai, 2019; Mishra, Koehler, 2006) ดังนั้นผู้ที่เกี่ยวข้องทางการศึกษาจึงควรให้ความสำคัญกับการพัฒนาครูให้มีความพร้อมที่เพียงพอในทั้ง 2 ด้านตามแนวคิด TPACK-STEM (ภาพ 1) เพื่อให้ครูมีความพร้อม สามารถจัดการเรียนการสอนสะเต็มได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพ 1 กรอบสมรรถนะครู TPACK-STEM (Štuikys, & Burbaité, 2018)

กรอบการวัดสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบ TPACK

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า เครื่องมือที่ใช้วัดสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบ TPACK ยังต้องได้รับการพัฒนาให้ครอบคลุมและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เนื่องจากธรรมชาติของแนวคิดสะเต็มศึกษาและ TPACK ต่างมีความซับซ้อนและยากต่อการแยกแต่ละมิติในการวัดให้ขาดจากกันได้ง่าย (Brantley-Dias, & Ertmer, 2013; Valtonen et al., 2017) แบบสอบถาม TPACK และสะเต็ม ส่วนใหญ่จึงมีข้อคำถามจำนวนมาก และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบแล้วข้อคำถามแต่ละข้อจะมีค่าน้ำหนักข้ามองค์ประกอบ (cross-loading) สูง (Archambault & Barnett, 2010; Drummond, & Sweeney, 2017) ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและพัฒนาให้เครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบ TPACK ให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งการพัฒนาให้เครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบ TPACK ให้มีคุณภาพ ควรใช้องค์ประกอบของพื้นฐาน คือ T P C เป็นองค์ประกอบหลักและใช้แนวคิดสะเต็มเป็นบริบท ที่ไม่ควรสร้างข้อคำถามให้มีจำนวนมากเกินไป และข้อคำถามแต่ละข้อต้องสามารถวัดสมรรถนะครูสะเต็มที่เกี่ยวกับการบูรณาการ TPACK ในบริบทสะเต็มได้ครอบคลุมทุกมิติ ดังนั้นการพัฒนาเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบ TPACK ในการวิจัยนี้

จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 3 องค์ประกอบคือ T-STEM, P-STEM, C-STEM โดยแต่ละองค์ประกอบควรใช้องค์ประกอบย่อยที่มีลักษณะเป็นการบูรณาการ TPACK สองมิติในบริบทสะเต็ม ได้แก่ TC-STEM TP-STEM และ PC-STEM เพื่อไม่ให้องค์ประกอบย่อยมีความซับซ้อนมากเกินไป ในการใช้วัดสมรรถนะครูสะเต็ม

ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็ม

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มโดยใช้แนวคิด TPACK-STEM เพื่อพัฒนาเครื่องมือที่สามารถใช้วัดความรู้ความสามารถในการจัดการเรียนการสอนสะเต็มของนิสิตนักศึกษาครูได้ครอบคลุมการบูรณาการ TPACK-STEM ทุกมิติ มีคุณภาพ สามารถวัดสมรรถนะครูสะเต็มได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือ โดยมีการพัฒนาเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็ม แล้วนำไปใช้กับนิสิตนักศึกษาครูชั้นปีที่ 5 เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาหาคุณภาพของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นทั้งด้านความตรงเชิงเนื้อหา (content validity) ความตรงเชิงโครงสร้าง (construct validity) และความเที่ยงแบบสอดคล้องภายใน (internal consistency reliability) เพื่อให้ได้เครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มที่มีคุณภาพ

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ตัวอย่างวิจัยที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อพัฒนาเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็ม คือ นิสิตนักศึกษาครูระดับปริญญาบัณฑิตชั้นปีที่ 5 ที่กำลังศึกษาในคณะครุศาสตร์/ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยในประเทศไทย ปีการศึกษา 2563 จำนวน 310 คน ที่เป็นผู้ยินยอมให้ข้อมูลในการวิจัย ซึ่งเป็นนิสิตนักศึกษาครูฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูสาขาคณิตศาสตร์ ร้อยละ 38.71 สาขาวิทยาศาสตร์ ร้อยละ 52.90 และสาขาเทคโนโลยี ร้อยละ 8.39 ที่ได้มาจากการสุ่มนิสิตนักศึกษาครูจากมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ทั่วทุกภาคของประเทศไทย โดยใช้การสุ่มแบบหลายขั้นตอน (multi-stage random sampling) ขั้นแรกสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม (cluster random sampling) โดยมีหน่วยการสุ่มคือ มหาวิทยาลัย ได้ทั้งหมด 20 มหาวิทยาลัยจาก 5 ภูมิภาคทั่วประเทศ ขั้นต่อไปสุ่มนิสิตนักศึกษาครู สาขาการศึกษาคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จากมหาวิทยาลัยที่ได้จากการสุ่มในขั้นแรกโดยวิธีสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling) จำนวนมหาวิทยาลัยละ 10-40 คน ตามปริมาณนิสิตนักศึกษาครูในแต่ละมหาวิทยาลัย นิสิตนักศึกษาครูจำนวนดังกล่าวเพียงพอต่อการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ที่คำนวณขนาดตัวอย่างตามแนวคิดของ Preacher, & Coffman (2006) โดยใช้เครื่องคำนวณขนาดตัวอย่างออนไลน์บนเว็บไซต์ http://quantpsy.org/rmsea/rmsea.htm กำหนดค่า alpha เท่ากับ .05 , degree of freedom เท่ากับ 55, desired power เท่ากับ .80, null RMSEA เท่ากับ .05 และ alternative RMSEA เท่ากับ .08 การคำนวณขนาดตัวอย่างตามแนวคิดดังกล่าวเป็นการประมาณค่าขนาดตัวอย่างจากการจำลองข้อมูลค่าสถิติและดัชนีต่าง ๆ ที่คาดหวังจากการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างภายใต้เงื่อนไขที่ยอมรับได้ที่โมเดลทดสอบจะสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ดังนั้นขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้จากแนวคิดดังกล่าวจึงเป็นขนาดที่มีความเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์โมเดลสมการเชิงโครงสร้าง

2. เครื่องมือวิจัยที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือวิจัย คือ แบบสอบถามสมรรถนะครูสะเต็มที่พัฒนาขึ้นตามกรอบ TPACK-STEM มีโครงสร้างข้อคำถามแบบพหุมิติ (multidimension) เป็นแบบมาตรประมาณค่า (summated rating scale) 5 ระดับ ข้อคำถามแต่ละข้อสร้างขึ้นโดยใช้การบูรณาการ TPACK เป็นหลักและใช้ STEM เป็นบริบท ซึ่งมีลักษณะเป็นการบูรณาการ TPACK (TP, TC, PC) และ STEM (ST, SE, SM, TE, TM, EM) อย่างละ 2 มิติในแต่ละข้อคำถาม ทำให้มีการบูรณาการ TPACK-STEM จำนวน 18 แบบ แต่ละแบบจะมีข้อคำถามอย่างละ 2 ข้อ ทำให้แบบสอบถามสมรรถนะครูสะเต็มที่สร้างขึ้นมีจำนวนทั้งหมด 36 ข้อ

ข้อคำถามที่สร้างขึ้นสามารถจัดกลุ่มได้เป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 12 ข้อ คือ 1) กลุ่ม TP-STEM ประกอบด้วย TP-ST, TP-SE, TP-SM, TP-TE, TP-TM และ TP-EM อย่างละ 2 ข้อ ที่เน้นการบูรณาการเทคโนโลยี (T) และศาสตร์การสอน (P) 2) กลุ่ม PC-STEM ประกอบด้วย PC-ST, PC-SE, PC-SM, PC-TE, PC-TM และ PC-EM อย่างละ 2 ข้อ ที่เน้นการบูรณาศาสตร์การสอน (P) และเนื้อหา (C) และ 3) กลุ่ม TC-STEM ประกอบด้วย TC-ST, TC-SE, TC-SM, TC-TE, TC-TM และ TC-EM อย่างละ 2 ข้อ ที่เน้นการบูรณาเทคโนโลยี (T) และเนื้อหา (C) ซึ่งข้อคำถามทุกกลุ่มเป็นคำถามที่ครอบคลุมกระบวนการจัดการเรียนการสอนสะเต็มของครูตั้งแต่การออกแบบการเรียนการสอนจนถึงการประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มที่พัฒนาขึ้น มีการตรวจสอบคุณภาพทั้ง **ความตรงเชิงเนื้อหา (content validity)** โดยใช้การตรวจสอบและวิพากษ์จากคณะกรรมการตรวจสอบและวิพากษ์เครื่องมือวิจัย ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญและทรงคุณวุฒิด้านการวิจัย จำนวน 5 ท่าน และใช้ความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดประเมิน ผู้เชี่ยวชาญด้านสะเต็มศึกษา และผู้เชี่ยวชาญด้าน TPACK จำนวน 3 ท่านมาคำนวณค่าดัชนี IOC (item objective congruence) **ความตรงเชิงโครงสร้าง (construct validity)** โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (CFA) เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของข้อมูลเชิงประจักษ์กับทฤษฎีที่ใช้ในการสร้างเครื่องมือ และ**ความเที่ยงแบบสอดคล้องภายใน (internal consistency reliability)** โดยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) และค่าสัมประสิทธิ์โอเมกา (Omega coefficient) นอกจากนี้มีการตรวจสอบค่าอำนาจจำแนกของเครื่องมือ โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนข้อคำถามรายข้อกับข้อคำถามอื่น ๆ ทั้งฉบับ (corrected item-total correlation)

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยขอความร่วมมือจากมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ทั่วประเทศไทยในการเก็บรวบรวมข้อมูลกับนิสิตนักศึกษาครูที่เป็นตัวอย่างวิจัย โดยให้นิสิตนักศึกษาครูในแต่ละมหาวิทยาลัยตอบแบบสอบถามสมรรถนะครูสะเต็มที่พัฒนาขึ้น ซึ่งผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูล 3 ทาง คือ 1) เก็บข้อมูลด้วยผู้วิจัยเอง 2) ส่งแบบสอบถามทางไปรษณีย์ และ 3) ส่งแบบสอบถามออนไลน์โดยใช้ google form แล้วนำข้อมูลที่ได้มาจัดการเพื่อคัดเลือกชุดข้อมูลที่มีการตอบโดยสมบูรณ์ เพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัยที่พัฒนาขึ้น

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตรวจสอบคุณภาพด้านความตรงเชิงเนื้อหา ความตรงเชิงโครงสร้าง และความเที่ยงแบบสอดคล้องภายใน ซึ่ง**ด้านความตรงเชิงเนื้อหา** คำนวณค่าดัชนี IOC โดยใช้ค่าเฉลี่ยความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน **ด้านความตรงเชิงโครงสร้าง** วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันแบบพหุมิติ (multidimensional confirmatory factor analysis: multidimensional CFA) โดยใช้โปรแกรม Mplus version 8 **ความเที่ยงแบบสอดคล้องภายใน** คำนวณค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 22 และโปรแกรม R package MBESS และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์โอเมกา (Omega coefficient) ด้วยโปรแกรม R package MBESS และวิเคราะห์ค่าอำนาจจำแนกของเครื่องมือ (corrected item-total correlation) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 22

ผลการวิจัย

การพัฒนาเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบ TPACK

การพัฒนาเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มเป็นการนำกรอบการบูรณาการ TPACK ซึ่งเป็นกรอบสมรรถนะพื้นฐานของครูที่ควรมีเพื่อให้สามารถจัดการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ มาประยุกต์ใช้ในบริบท STEM ซึ่งเป็นเรื่องเกี่ยวกับความรู้ความสามารถและทักษะในการบูรณาการความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ไปใช้สร้างนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาในชีวิตจริง ดังนั้นการนำแนวคิดการบูรณาการ TPACK-STEM มาใช้ในการพัฒนาเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มจะทำให้ได้เครื่องมือที่สามารถใช้วัดความรู้ความสามารถและทักษะในการจัดการเรียนการสอนสะเต็มได้ครอบคลุมทุกมิติ แต่อย่างไรก็ตามด้วยองค์ประกอบการบูรณาการที่มีจำนวนมากของทั้ง TPACK และ STEM ถ้านำทุกองค์ประกอบมาสร้างข้อคำถามจะทำให้เครื่องมือมีความยาวหรือจำนวนข้อที่มากเกินไป อันจะส่งผลถึงคุณภาพของการวัดสมรรถนะครูสะเต็มได้ การวิจัยนี้จึงดำเนินการพัฒนาเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบ TPACK ในลักษณะโครงสร้างแบบพหุมิติ (multidimensional structure) เพื่อเป็นการทำให้ความยาวของเครื่องมือน้อยลงแต่ยังทำให้ได้สารสนเทศเกี่ยวกับสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบ TPACK ที่ครบถ้วน

การสร้างเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มตามกรอบ TPACK ที่มีลักษณะโครงสร้างแบบพหุมิติ ในการวิจัยนี้ เป็นการสร้างแบบสอบถามที่มีลักษณะเป็นแบบมาตรประมาณค่า (summated rating scale) 5 ระดับ มีโครงสร้างหลักเป็น T-STEM P-STEM และ C-STEM และสร้างองค์ประกอบโดยนำการบูรณาการ TPACK แบบสองมิติ (TP, TC, PC) มาบูรณาการร่วมกับการบูรณาการ STEM แบบสองมิติ (ST, SE, SM, TE, TM, EM) เพื่อทำให้ข้อคำถามไม่ซับซ้อนจนเกินไป เมื่อนำการบูรณาการ TPACK และ STEM แบบสองมิติมาสร้างองค์ประกอบทำให้โมเดลการวัดสมรรถนะครูสะเต็มที่มีทั้งหมด 18 องค์ประกอบ ที่มีลักษณะเป็นโมเดลแบบ multidimensional within item (ดังภาพ 3) โดยแต่ละองค์ประกอบมีข้อคำถามที่สะท้อนสมรรถนะครูสะเต็มตามองค์ประกอบนั้นองค์ประกอบละ 2 ข้อ ดังนั้นเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มที่พัฒนาขึ้นจึงมีจำนวนข้อคำถามทั้งหมด 36 ข้อ ดังตาราง 1

ผลการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็ม

ผลการตรวจสอบความเที่ยง

การตรวจสอบความเที่ยงของเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มที่พัฒนาขึ้นมีการวิเคราะห์ทั้งค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) และค่าสัมประสิทธิ์โอเมกา (Omega coefficient) เนื่องจากข้อคำถามที่สร้างขึ้นมีลักษณะเป็นพหุมิติ ผลการวิเคราะห์พบว่าแบบสอบถามสมรรถนะครูสะเต็มที่สร้างขึ้นมีความเที่ยงสูง โดยมีค่า Cronbach's alpha และ Omega ในภาพรวม (TPC-STEM) เท่ากับ .975 เมื่อพิจารณารายด้านพบว่า ด้าน TP-STEM มีค่า Cronbach's alpha และ Omega เท่ากับ .943 ด้าน TC-STEM มีค่า Cronbach's alpha เท่ากับ .953 และ Omega เท่ากับ .954 และด้าน PC-STEM มีค่า Cronbach's alpha เท่ากับ .938 และ Omega เท่ากับ .939

นอกจากนี้ผลการตรวจสอบค่าอำนาจจำแนกของเครื่องมือ โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนข้อคำถามรายข้อกับข้อคำถามอื่น ๆ ทั้งฉบับ (corrected item-total correlation) พบว่า แบบสอบถามสมรรถนะครูสะเต็มที่พัฒนาขึ้นมีค่าอำนาจจำแนกรายข้ออยู่ระหว่าง .658-.817 รายละเอียดดังตาราง 1

ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา

การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือด้านความต้องเชิงเนื้อหา เป็นการพิจารณาความถูกต้องสอดคล้องของเครื่องมือกับนิยามและวัตถุประสงค์ของการวัด พิจารณาความถูกต้องเหมาะสม ความชัดเจนของเครื่องมือและภาษาที่ใช้ พบว่า ผู้เชี่ยวชาญและทรงคุณวุฒิด้านการวิจัย 5 ท่าน ได้พิจารณาตรวจสอบและตัดสินคุณภาพของเครื่องมือวิจัยด้านความตรงเชิงเนื้อหา ความถูกต้องเหมาะสมของเครื่องมือและภาษาที่ใช้ ซึ่งคณะกรรมการมีมติว่าให้ใช้ข้อคำถามที่มีการบูรณาการ TPACK และ STEM แบบสองมิติ เพื่อลดความซับซ้อนของข้อคำถาม และให้สร้างข้อคำถามในส่วนการบูรณาการ TPACK ให้ครอบคลุมกระบวนการทำงานในด้านการสอนของครูให้ครบทุกด้าน

นอกจากนี้ผลการประเมินความตรงของเครื่องมือวิจัยจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ที่มีความเชี่ยวชาญด้านการวัดประเมิน ผู้เชี่ยวชาญด้านสะเต็มศึกษา และผู้เชี่ยวชาญด้าน TPACK ซึ่งตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือในด้านความตรงเชิงเนื้อหา ความครอบคลุมของเนื้อหา ความถูกต้องและความชัดเจนของภาษา พบว่า ค่าดัชนี IOC ของข้อคำถามมีค่าอยู่ระหว่าง 0.67-1.00 รายละเอียดดังตาราง 1

ตาราง 1 ข้อคำถามและค่าความเที่ยงของเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็ม

ข้อ	มิติ (TPACK-STEM)		IOC	Corrected Item-Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted	Cronbach's Alpha	Omega
1.	TP-STEM	TP-ST	0.67	.747	.938	.943	.943
2.		TP-ST	1	.700	.940		
3.		TP-SE	1	.753	.938		
4.		TP-SE	1	.698	.940		

ตาราง 1 (ต่อ)

ข้อ	มิติ (TPACK-STEM)		IOC	Corrected Item-Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted	Cronbach's Alpha	Omega
5.		TP-SM	0.67	.788	.937		
6.		TP-SM	1	.695	.940		
7.		TP-TE	1	.744	.938		
8.		TP-TE	1	.731	.939		
9.		TP-TM	1	.700	.940		
10.		TP-TM	1	.757	.938		
11.		TP-EM	1	.793	.937		
12.		TP-EM	1	.773	.937		
13.	TC-STEM	TC-ST	1	.740	.950	.953	.954
14.		TC-ST	1	.726	.951		
15.		TC-SE	0.67	.786	.949		
16.		TC-SE	1	.788	.949		
17.		TC-SM	1	.745	.950		
18.		TC-SM	1	.750	.950		
19.		TC-TE	1	.796	.948		
20.		TC-TE	1	.817	.948		
21.		TC-TM	1	.791	.949		
22.		TC-TM	1	.765	.949		
23.		TC-EM	1	.785	.949		
24.		TC-EM	1	.788	.949		
25.	PC-STEM	PC-ST	1	.702	.934	.938	.939
26.		PC-ST	1	.678	.934		
27.		PC-SE	1	.658	.935		
28.		PC-SE	1	.771	.931		
29.		PC-SM	1	.766	.931		
30.		PC-SM	1	.685	.934		
31.		PC-TE	1	.732	.932		
32.		PC-TE	1	.736	.932		
33.		PC-TM	1	.722	.933		
34.		PC-TM	1	.677	.935		
35.		PC-EM	1	.801	.930		
36.		PC-EM	1	.737	.932		
TPC-STEM						.975	.975

ผลการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของโมเดลการวัดสมรรถนะครูสะเต็ม

การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของโมเดลการวัดสมรรถนะครูสะเต็มที่ใช้พัฒนาเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็ม ซึ่งมีลักษณะองค์ประกอบย่อยหรือข้อคำถามเป็นแบบ multidimensional within item (ดังภาพ 2) มีการตรวจสอบโดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันแบบพหุมิติ (multidimensional

confirmatory factor analysis: multidimensional CFA) เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องกลมกลืนของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์

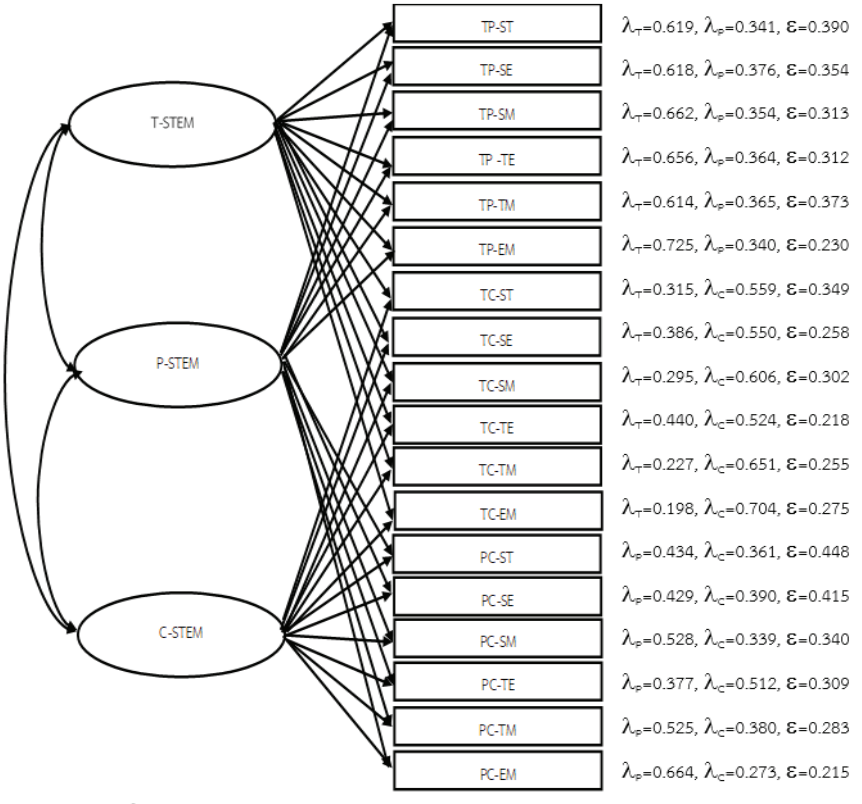
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันพหุมิติของโมเดลการวัดสมรรถนะครูสะเต็ม พบว่า โมเดลการวัดสมรรถนะครูสะเต็มมีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ .05 (χ^2 (93, *N*=310) = 97.950, *p* = .343, *CFI* = .999, *TLI* = .998, *SRMR*=.019, *RMSEA* = .013) มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบในรูปคะแนนมาตรฐานโดยภาพรวมอยู่ระหว่าง 0.198 ถึง 0.704 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทุกองค์ประกอบย่อย มีค่าความแปรปรวนขององค์ประกอบหลักที่อธิบายได้ด้วยองค์ประกอบย่อยแต่ละองค์ประกอบ (R square) โดยภาพรวมอยู่ระหว่าง 0.552 ถึง 0.785 รายละเอียดดังตาราง 2

ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันพหุมิติของโมเดลการวัดสมรรถนะครูสะเต็ม

องค์ประกอบหลัก / องค์ประกอบย่อย	T-STEM			P-STEM			C-STEM			Residual Variance$_{(std.)}$	R square
	B	SE	β	B	SE	β	B	SE	β		
TP-ST	1.000*	<--->	0.619*	0.921*	0.224	0.341*	-	-	-	0.390*	0.610*
TP-SE	0.948*	0.072	0.618*	0.965*	0.228	0.376*	-	-	-	0.354*	0.646*
TP-SM	0.924*	0.072	0.662*	0.828*	0.231	0.354*	-	-	-	0.313*	0.687*
TP-TE	1.000*	0.076	0.656*	0.929*	0.235	0.364*	-	-	-	0.312*	0.688*
TP-TM	0.946*	0.079	0.614*	0.940*	0.236	0.365*	-	-	-	0.373*	0.627*
TP-EM	1.126*	0.073	0.725*	0.883*	0.257	0.340*	-	-	-	0.230*	0.770*
TC-ST	0.426*	0.078	0.315*	-	-	-	1.000*	<--->	0.559*	0.349*	0.651*
TC-SE	0.620*	0.132	0.386*	-	-	-	1.169*	0.152	0.550*	0.258*	0.742*
TC-SM	0.431*	0.117	0.295*	-	-	-	1.168*	0.124	0.606*	0.302*	0.698*
TC-TE	0.687*	0.121	0.440*	-	-	-	1.084*	0.147	0.524*	0.218*	0.782*
TC-TM	0.412*	0.133	0.227*	-	-	-	1.280*	0.135	0.651*	0.255*	0.745*
TC-EM	0.319*	0.152	0.198*	-	-	-	1.502*	0.151	0.704*	0.275*	0.725*
PC-ST	-	-	-	1.000*	<--->	0.434*	0.658*	0.098	0.361*	0.448*	0.552*
PC-SE	-	-	-	0.998*	0.213	0.429*	0.716*	0.179	0.390*	0.415*	0.585*
PC-SM	-	-	-	1.258*	0.226	0.528*	0.638*	0.199	0.339*	0.340*	0.660*
PC-TE	-	-	-	0.902*	0.323	0.377*	0.967*	0.187	0.512*	0.309*	0.691*
PC-TM	-	-	-	1.179*	0.213	0.525*	0.675*	0.187	0.380*	0.283*	0.717*
PC-EM	-	-	-	1.574*	0.249	0.664*	0.511*	0.228	0.273*	0.215*	0.785*
χ^2 = 97.950, *df* = 93 , *p* = .343, CFI = .999, TLI = .998, SRMR=.019, RMSEA = .013, AIC=8200.544, BIC=8559.255											

หมายเหตุ: * *p*<.05, <---> ค่า SE เป็น 0.000 เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์บังคับ (constrained parameter)

เมื่อพิจารณารายองค์ประกอบหลัก พบว่า **องค์ประกอบ T-STEM** ซึ่งมีองค์ประกอบย่อยเป็นกลุ่ม TP-STEM และ TC-STEM มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบระหว่าง 0.198 ถึง 0.725 โดยองค์ประกอบย่อยกลุ่ม TP-STEM (0.614 – 0.725) มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบสูงกว่ากลุ่ม TC-STEM (0.198 – 0.440) **องค์ประกอบ P-STEM** ซึ่งมีองค์ประกอบย่อยเป็นกลุ่ม TP-STEM และ PC-STEM มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบระหว่าง 0.340 ถึง 0.664 โดยองค์ประกอบย่อยกลุ่ม PC-STEM (0.337 – 0.664) ส่วนใหญ่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบสูงกว่ากลุ่ม TP-STEM (0.340 – 0.376) **องค์ประกอบ C-STEM** ซึ่งมีองค์ประกอบย่อยเป็นกลุ่ม TC-STEM และ PC-STEM มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบระหว่าง 0.273 ถึง 0.704 โดยองค์ประกอบย่อยกลุ่ม TC-STEM (0.524 – 0.704) มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบสูงกว่ากลุ่ม PC-STEM (0.273 – 0.512) รายละเอียดดังตาราง 2



ภาพ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันพหุมิติของโมเดลการวัดสมรรถนะครูสะเต็ม

สรุปได้ว่าเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มที่พัฒนาขึ้น ที่สร้างตามโมเดลการวัดสมรรถนะครูสะเต็มแบบพหุมิติที่มี 3 องค์ประกอบหลัก คือ T-STEM, P-STEM และ C-STEM และมี 18 องค์ประกอบย่อย คือ TP-ST, TP-SE, TP-SM, TP-TE, TP-TM, TP-EM, PC-ST, PC-SE, PC-SM, PC-TE, PC-TM, PC-EM TC-ST, TC-SE, TC-SM, TC-TE, TC-TM และ TC-EM มีคุณภาพทั้งความตรงเชิงเนื้อหา ความตรงเชิงโครงสร้าง รวมทั้งมีค่าอำนาจจำแนกผ่านเกณฑ์มาตรฐานและมีค่าความเที่ยงสูง โดยมีค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.67-1 มีค่า Cronbach's alpha และ Omega แต่ละด้านระหว่าง .938 - .953 และ .939 - .954 ตามลำดับ มีค่าอำนาจ

จำแนก (Corrected Item-Total Correlation) อยู่ระหว่าง .658 - .817 และโมเดลการวัดสมรรถนะครูสะเต็มมีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ .05 (χ^2 (93, N=310) = 97.950, p = .343, *CFI* = .999, *TLI* = .998, *SRMR*=.019, *RMSEA* = .013) ดังนั้นเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มที่สร้างขึ้นจึงมีคุณภาพสามารถนำไปใช้วัดสมรรถนะครูสะเต็มได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

อภิปรายผล

การนำกรอบ TPACK-STEM มาใช้ในการพัฒนาเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มทำให้ได้เครื่องมือที่สามารถใช้วัดความรู้ความสามารถในการจัดการเรียนการสอนสะเต็มของครูได้ทั้งเชิงทฤษฎีและปฏิบัติ เนื่องจาก TPACK เป็นกรอบสมรรถนะที่ครูควรมีในการจัดการเรียนการสอน (Chai, 2019; Mishra, Koehler, 2006) ซึ่งเน้นกระบวนการนำเทคโนโลยี ศาสตร์การสอน และเนื้อหามาบูรณาการร่วมกัน เพื่อใช้ในการจัดการเรียนการสอนความรู้เรื่องต่าง ๆ ให้แก่ผู้เรียน ที่ครอบคลุมตั้งแต่การออกแบบการเรียนการสอนจนถึงการประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน ส่วน STEM เป็นแนวคิด องค์ความรู้ หรือบริบทที่มุ่งให้ผู้เรียนสามารถบูรณาการความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ ไปใช้ในการสร้างนวัตกรรมเพื่อใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริง (Breiner, Harkness, Johnson, & Koehler, 2012) ครูที่สอนสะเต็มจึงควรมีความรู้ความเข้าใจเนื้อหาและทักษะในส่วนต่าง ๆ ของการบูรณาการสะเต็มที่ถูกต้องและครอบคลุม เพื่อนำไปใช้ถ่ายทอดให้นักเรียนของตนสามารถบูรณาการสะเต็มได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม เห็นได้ว่า TPACK เป็นเรื่องเกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนของครู ส่วน STEM เป็นบริบทที่มุ่งให้เกิดกับผู้เรียน ดังนั้นในการวัดสมรรถนะครูสะเต็ม ถ้าหากวัด TPACK หรือ STEM แยกกันจะทำให้สารสนเทศที่ได้จากการวัดไม่ครอบคลุมสมรรถนะในการจัดการเรียนการสอนสะเต็มของครูในทุกมิติ ดังนั้นนำแนวคิด TPACK-STEM มาใช้ร่วมกันในการสร้างเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มจึงมีความเหมาะสม ทำให้สามารถวัดสมรรถนะครูสะเต็มได้อย่างครอบคลุมและมีประสิทธิภาพ (Chai, 2019; Rahman, Krishnan, & Kapila, 2017; Štuikys, & Burbaité, 2018)

เครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มที่พัฒนาขึ้นตามแนวคิด TPACK-STEM เป็นเครื่องมือที่มีคุณภาพ มีความตรงและความเที่ยงที่ดีตามมาตรฐาน อีกทั้งยังมีความยาวหรือจำนวนข้อคำถามที่ไม่มากเกินไป สามารถนำไปใช้วัดสมรรถนะครูสะเต็มได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากในการพัฒนาเครื่องมือมีการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญอย่างรอบคอบ มีการนำแนวคิดการสร้างข้อคำถามแบบพหุมิติภายในข้อคำถาม (multidimensional within item) มาใช้ เพื่อลดข้อจำกัดเรื่องความซ้ำซ้อนของการบูรณาการทั้ง TPACK และ STEM ที่แต่ละส่วนมีความสัมพันธ์กันยากต่อการแยกแต่ละมิติออกจากกันได้ง่าย (Brantley-Dias, & Ertmer, 2013; Valtonen et al., 2017) ทำให้ข้อคำถามมีความครอบคลุมและสอดคล้องกับธรรมชาติของการบูรณาการ TPACK-STEM ที่เน้นการบูรณาการไม่แยกองค์ประกอบต่าง ๆ ออกเป็นองค์ประกอบเดี่ยว นอกจากนี้ในการสร้างข้อคำถามยังเป็นการบูรณาการ TPACK และ STEM อย่างละ 2 มิติ ในแต่ละข้อ ซึ่งเป็นการบูรณาการที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไป แต่หากใช้จำนวนมิติในการสร้างข้อคำถามมากกว่านี้ อาจจะมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ข้อดีคือ แบบสอบถามที่สร้างขึ้นอาจมีจำนวนข้อที่น้อยลง แต่ข้อเสียคือ เนื้อความและภาษาที่ใช้ในแต่ละข้อคำถามอาจไม่กระชับ มีใจความที่ซับซ้อนจนอาจส่งผลกระทบต่อการตีความของผู้ตอบได้ ดังนั้นการสร้างข้อคำถามแบบพหุมิติที่ใช้องค์ประกอบ

ของ TPACK และ STEM อย่างละ 2 มิติภายในหนึ่งข้อคำถาม ทำให้ได้เครื่องมือที่มีความยาวที่เหมาะสม มีคุณภาพ สามารถนำไปใช้วัดสมรรถนะครูสะเต็มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้สิ่งที่สะท้อนประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มที่พัฒนาขึ้น คือ องค์ประกอบย่อยพหุมิติของแบบวัดสมรรถนะครูสะเต็มที่สร้างขึ้นสามารถสะท้อนความสัมพันธ์เชิงเส้นกับองค์ประกอบหลักได้ทุกองค์ประกอบ ซึ่งองค์ประกอบย่อยหนึ่งองค์ประกอบ มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบหลักสององค์ประกอบ โดยองค์ประกอบย่อยแต่ละองค์ประกอบจะมีการกระจายของค่าน้ำหนักองค์ประกอบกับสององค์ประกอบหลัก ทำให้ผลรวมของค่าน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานของแต่ละองค์ประกอบย่อยมีค่าไม่เกิน 1 เห็นได้จาก องค์ประกอบย่อย TP-STEM มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบกับองค์ประกอบหลัก T-STEM ระหว่าง .614-.725 และมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบกับ P-STEM ระหว่าง .340-.376 องค์ประกอบย่อย TC-STEM มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบกับองค์ประกอบหลัก T-STEM ระหว่าง .198-.440 และมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบกับ C-STEM ระหว่าง .524-.704 และองค์ประกอบย่อย PC-STEM มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบกับองค์ประกอบหลัก P-STEM ระหว่าง .377-.664 และมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบกับ C-STEM ระหว่าง .339-.512 ถึงแม้ว่าองค์ประกอบย่อยพหุมิติบางองค์ประกอบจะมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบกับองค์ประกอบหลักไม่สูงมากนัก แต่เป็นลักษณะโดยธรรมชาติของการสร้างข้อคำถามและการวิเคราะห์องค์ประกอบพหุมิติ (Abad, Sorrel, Garcia, & Aluja, 2018) ซึ่งสอดคล้องกับบริบทของโมเดลการวัดสมรรถนะครู TPACK-STEM อีกทั้งในภาพรวมทุกองค์ประกอบย่อยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นและสามารถอธิบายความแปรปรวนขององค์ประกอบหลักได้ร้อยละ 55.2-78.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สะท้อนให้เห็นว่าองค์ประกอบย่อยพหุมิติทุกองค์ประกอบสามารถใช้วัดสมรรถนะครู TPACK-STEM ได้ครอบคลุมทุกองค์ประกอบ ดังนั้นเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นจึงสามารถนำไปใช้วัดสมรรถนะครูสะเต็มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

การพัฒนาเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มในการวิจัยนี้ เป็นดำเนินการพัฒนาเครื่องมือแล้วนำไปใช้กับนิสิตนักศึกษาครูชั้นปีที่ 5 แล้วนำข้อมูลที่ได้มาหาคุณภาพของเครื่องมือที่สร้างขึ้น อย่างไรก็ตามการพัฒนาเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มดังกล่าวเป็นการพัฒนาเครื่องมือตามกรอบ TPACK-STEM ซึ่งเป็นกรอบสมรรถนะขั้นพื้นฐานที่ผู้ที่ประกอบวิชาชีพครูควรมี ดังนั้นเครื่องมือนี้จึงสามารถนำไปใช้กับครู นิสิตนักศึกษาครู หรือบุคลากรทางการศึกษาที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดการเรียนการสอนสะเต็มได้ ไม่จำกัดเฉพาะนิสิตนักศึกษาครูชั้นปีที่ 5 เพียงเท่านั้น

นอกจากนี้เครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มที่พัฒนาขึ้น มีเนื้อหาข้อคำถามเป็นพหุมิติที่มีการบูรณาการ TPACK และ STEM อย่างละ 2 มิติในหนึ่งข้อคำถาม ทำให้แต่ละข้อคำถามจะประกอบด้วยการบูรณาการ 4 องค์ประกอบ ทำให้ข้อคำถามแต่ละข้อมีความข้อความที่ยาว ทำให้ผู้ตอบแบบสอบถามต้องใช้เวลาในการทำความเข้าใจ ดังนั้นการนำเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มไปใช้จึงควรให้ระยะเวลาในการตอบแบบสอบถามแก่ผู้ตอบอย่างเพียงพอ

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

การนำกรอบ TPACK-STEM มาใช้ในการสร้างเครื่องมือทำให้ได้เครื่องมือที่สามารถวัดสมรรถนะครูสะเต็มได้อย่างครอบคลุม แต่ในการสร้างข้อคำถามหากนำองค์ประกอบของ TPACK และ STEM มาใช้ร่วมกันหลายมิติมากเกินไป อาจทำให้ข้อคำถามมีข้อความที่ยาว ไม่กระชับ และมีหลายใจความ อาจส่งผลให้ผู้ตอบเกิดความเข้าใจเนื้อหาในแต่ละข้อแตกต่างกัน แต่การนำ TPACK-STEM มาบูรณาการร่วมกันหลายมิติอาจทำให้ได้เครื่องมือที่มีความยาวหรือจำนวนข้อน้อยลง ซึ่งอาจส่งผลที่ดีต่อการนำเครื่องมือไปใช้ ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปอาจมีการพิจารณานำกรอบ TPACK-STEM ไปใช้สร้างเครื่องมือที่มีการบูรณาการลักษณะต่าง ๆ ให้หลากหลายมากขึ้น เพื่อต่อยอดพัฒนาเครื่องมือวัดสมรรถนะครูสะเต็มให้มีประสิทธิภาพทั้งในเชิงทฤษฎีและปฏิบัติสูงยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

ชนิตา รักษ์พลเมือง. (2560). การศึกษาสภาพและปัญหาการผลิต การใช้ และการพัฒนาครูการศึกษาขั้นพื้นฐานที่สอดคล้องกับความต้องการในอนาคต. *วารสารครุศาสตร์, 45*(3), 17-33.

รัฏฏิกา ตั้งพุทธิพงศ์. (2559). *การวิเคราะห์กระบวนการขับเคลื่อนนโยบายสะเต็มศึกษาจากระดับชาติสู่ห้องเรียน*. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Abad, F. J., Sorrel, M. A., Garcia, L. F., & Aluja, A. (2018). Modeling general, specific, and method variance in personality measures: Results for ZKA-PQ and NEO-PIR. *Assessment*, *25*(8), 959-977.

Adams, A. E., Miller, B. G., Saul, M., & Pegg, J. (2014). Supporting elementary pre-service teachers to teach STEM through place-based teaching and learning experiences. *Electronic Journal of Science Education*, *18*(5).

Archambault, L.M., & Barnett, J.H. (2010). Revisiting technological pedagogical content knowledge: Exploring the TPACK framework. *Computers & Education*, *55*, 1656-1662.

Brantley-Dias, L., & Ertmer, P. A. (2013). Goldilocks and TPACK: Is the construct “just right?”. *Journal of Research on Technology in Education*, *46*(2), 103–128.

Breiner, J. M., Harkness, S. S., Johnson, C. C., & Koehler, C. M. (2012). What is STEM A discussion about conceptions of STEM in education and partnerships. *School Science and Mathematics*, *112*(1), 3-11.

Chai, C. S. (2019). Teacher professional development for science, technology, engineering and mathematics (STEM) education: A review from the perspectives of technological pedagogical content (TPACK). *The Asia-Pacific Education Researcher*, *28*(1), 5-13.

Drummond, A., & Sweeney, T. (2017). Can an objective measure of technological pedagogical content knowledge (TPACK) supplement existing TPACK measures. *British Journal of Educational Technology*, *48*(4), 928-939.

Eckman, E. W., Williams, M. A., & Silver-Thorn, M. B. (2016). An integrated model for STEM teacher preparation: the value of a teaching cooperative educational experience. *Journal of STEM Teacher Education*, *51*(1), 71-82.

McPherson, S., & Anid, N. M. (2014, March). Preparing STEM teachers for K-12 classrooms: Graduate certificate evaluation and innovation. In *2014 IEEE Integrated STEM Education Conference* (pp. 1-6). IEEE.

Mishra, P., & Koehler, M.J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, *108*(6), 1017–1054.

Preacher, K. J., & Coffman, D. L. (2006). Computing power and minimum sample size for rmsea [Computer software]. Retrieved from http://quantpsy. org.

Radloff, J., & Guzey, S. (2016). Investigating preservice STEM teacher conceptions of STEM education. *Journal of Science Education and Technology*, *25*(5), 759-774.

Rahman, S. M., Chacko, S. M., & Kapila, V. (2017, June). Building trust in robots in robotics-focused STEM education under TPACK framework in middle schools. In Pro*c. ASEE Annual Conference*.

Rahman, S. M., Krishnan, J. V., & Kapila, V. (2017, June). Exploring the dynamic nature of TPACK framework in teaching STEM using robotics in middle school classrooms. In *Proc. ASEE Annual Conference and Exposition*.

Rinke, C. R., Gladstone-Brown, W., Kinlaw, C. R., & Cappiello, J. (2016). Characterizing STEM teacher education: Affordances and constraints of explicit STEM preparation for elementary teachers. *School Science and Mathematics*, *116*(6), 300-309.

Shernoff, D. J., Sinha, S., Bressler, D. M., & Ginsburg, L. (2017). Assessing teacher education and professional development needs for the implementation of integrated approaches to STEM education. *International Journal of STEM Education*, *4*(13), 1-16.

Štuikys, V., & Burbaitė, R. (2018). *Smart STEM-Driven Computer Science Education: Theory, Methodology and Robot-based Practices*. Springer.

Valtonen, T., Sointu, E., Kukkonen, J., Kontkanen, S., Lambert, M. C., & Mäkitalo-Siegl, K. (2017). TPACK updated to measure pre-service teachers' twenty-first century skills. *Australasian Journal of Educational Technology*, *33*(3).