

การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของโมเดลการวัดสมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบ
ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

Structural Validation of the Measurement Model for Responsible Innovator
Competence of Upper Secondary School Students

มนธนาถ ธนพัชรณัชชา^{1*} เอกรัตน์ ทานาค¹ และ พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ¹

Monthanat Thanapatnatcha^{1*} Akarat Tanak¹ and Pongprapan Pongsophon¹

¹คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
(Faculty of Education, Kasetsart University)

บทคัดย่อ

สมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบเป็นผลลัพธ์การเรียนรู้ที่สำคัญในการเตรียมนักเรียนให้เป็นผู้สร้างสรรค์นวัตกรรมที่คำนึงถึงผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่านักวิจัยหลายคนได้เสนอกรอบแนวคิดของสมรรถนะนวัตกรรมและนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบแยกกัน โดยยังไม่พบงานวิจัยที่บูรณาการทั้งสองกรอบแนวคิดเข้าด้วยกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของโมเดลการวัดสมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบ โดยบูรณาการกรอบสมรรถนะนวัตกรรม 5 ด้าน ได้แก่ ความคิดสร้างสรรค์ การคิดเชิงวิพากษ์ ความคิดริเริ่ม การทำงานเป็นทีม และการสร้างเครือข่าย เข้ากับกรอบนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบ 4 ด้าน ได้แก่ การคาดการณ์ล่วงหน้า การสะท้อนคิด การมีส่วนร่วมเชิงไตร่ตรอง และการตอบสนอง กลุ่มตัวอย่างคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีประสบการณ์การแข่งขันโครงงานวิทยาศาสตร์ระดับภาคขึ้นไป จำนวน 758 คน เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบประเมินตนเองแบบมาตรประมาณค่า 6 ระดับ ครอบคลุม 20 องค์ประกอบ 60 ข้อคำถาม ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ผลการวิจัยพบว่าโมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ในระดับดีเยี่ยม ($\chi^2/df = 2.84$, CFI = 0.995, TLI = 0.994, RMSEA = 0.049, SRMR = 0.045) ค่าน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานของตัวแปรสังเกตได้ทั้ง 60 ตัวมีค่าระหว่าง 0.565–0.916 และมีนัยสำคัญทางสถิติทุกตัว สำหรับความตรงเชิงลู่เข้า พบว่าองค์ประกอบ 18 องค์ประกอบ จากทั้งหมด 20 องค์ประกอบ (ร้อยละ 90) มีค่า AVE ≥ 0.50 และ 19 องค์ประกอบ (ร้อยละ 95) มีค่า CR ≥ 0.70 แสดงว่าองค์ประกอบแต่ละตัวสามารถอธิบายตัวแปรสังเกตได้อย่างชัดเจนและมีความเชื่อมั่นในระดับที่ยอมรับได้ สำหรับความตรงเชิงจำแนก ตรวจสอบด้วยเกณฑ์ HTMT พบว่า 88.4% ของคู่อันดับองค์ประกอบมีค่า HTMT < 0.90 แสดงว่าองค์ประกอบแต่ละตัวมีความแตกต่างจากองค์ประกอบอื่นอย่างชัดเจน ผลการศึกษายืนยันว่าการบูรณาการกรอบสมรรถนะนวัตกรรมและนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบสามารถอธิบายโครงสร้างสมรรถนะของผู้เรียนได้อย่างเป็นองค์รวม และมีศักยภาพในการใช้เป็นเครื่องมือประเมินและพัฒนานวัตกรรมในศตวรรษที่ 21

คำสำคัญ: สมรรถนะนวัตกรรม นวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบ การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

ABSTRACT

Responsible innovator competence is a crucial learning outcome for preparing students to create innovations that consider impacts on society and the environment. Previous research has found that many researchers have proposed frameworks for innovation competence and responsible innovation separately, with no studies integrating both frameworks together. Therefore, this study aimed to develop and validate the structural validity of a measurement model for responsible innovator competence by integrating a 5-dimensional innovation competence framework comprising creativity, critical thinking, initiative, teamwork, and networking with a 4-dimensional responsible innovation framework comprising anticipation, reflexivity, inclusion, and responsiveness. The sample consisted of 758 upper secondary school students with experience in science project competitions at the regional level or above. Data was collected using a 6-point rating scale self-assessment covering 20 components with 60 items. Data was analyzed using confirmatory factor analysis. Results showed that the model had excellent fit with the empirical data ($\chi^2/df = 2.84$, CFI = 0.995, TLI = 0.994, RMSEA = 0.049, SRMR = 0.045). All 60 observed variables had standardized factor loadings ranging from 0.565 to 0.916, with statistical significance. For convergent validity, 18 out of 20 components (90%) had AVE $\geq$ 0.50, and 19 components (95%) had CR $\geq$ 0.70, indicating that each component could clearly explain its observed variables with acceptable reliability. For discriminant validity, the HTMT criterion showed that 88.4% of component pairs had HTMT < 0.90, demonstrating clear differentiation between components. The findings confirm that the integration of innovation competence and responsible innovation frameworks can holistically explain students' competence structure and has potential for use as a tool to assess and develop innovators in the 21st century.

KEYWORDS: Innovator competence, Responsible innovation, Confirmatory factor analysis

**Corresponding author, E-mail: monthanat.t@ku.th Tel. 065-6694949*

Received: 8 November 2025 /Revised: 28 December 2025/Accepted: 8 January 2026 /Published online: 28 April 2026

บทนำ

ในศตวรรษที่ 21 การศึกษามีบทบาทสำคัญในการพัฒนาผู้เรียนให้มีสมรรถนะที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตในโลกที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในยุคที่นวัตกรรมและเทคโนโลยีเป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคม (OECD, 2019) การพัฒนาสมรรถนะนวัตกรรมจึงกลายเป็นหนึ่งในเป้าหมายหลักของระบบการศึกษาทั่วโลก (European Commission, 2018) ซึ่งครอบคลุมความสามารถในการระบุปัญหา คิดอย่างมีวิจารณญาณ สร้างแนวคิดสร้างสรรค์ ทำงานร่วมกับผู้อื่น และนำแนวคิดไปสู่การปฏิบัติได้จริง อย่างไรก็ตาม การพัฒนานวัตกรรมที่มุ่งเน้นเพียงประสิทธิภาพและผลกำไร โดยละเลยผลกระทบทางสังคมและสิ่งแวดล้อมนำไปสู่ปัญหาต่าง ๆ เช่น วิกฤตมลพิษจากการใช้พลาสติกครั้งเดียว (Geyer et al., 2017) ความลำเอียงในระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ส่งผลต่อความเป็นธรรมทางสังคม (Floridi et al., 2018) ซึ่งปัญหาเหล่านี้สะท้อนข้อจำกัดของแนวคิดนวัตกรรมแบบดั้งเดิมที่ขาดความรับผิดชอบต่อผลลัพธ์ทางสังคมและจริยธรรม (Beck, 1992; Jonas, 1984) เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว von Schomberg (2013) จึงได้เสนอแนวคิด “การวิจัยและนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสังคม” (Responsible Research and Innovation: RRI) ซึ่งเป็นกระบวนการที่โปร่งใสและเปิดกว้างต่อการมี

ส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เพื่อให้เกิดการโต้ตอบและปรับตัวร่วมกัน เพื่อให้นวัตกรรมมีความยั่งยืน มีจริยธรรม และเป็น ที่พึงประสงค์ของสังคม

การพัฒนาสมรรถนะด้านนวัตกรรมได้รับการขับเคลื่อนผ่านกรอบ FINCODA ของ Marín-García et al. (2016) ซึ่ง ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในบริบททางการศึกษา โดยประกอบด้วยสมรรถนะหลัก 5 ด้าน ได้แก่ ความคิดสร้างสรรค์ การคิดเชิงวิพากษ์ ความคิดริเริ่ม การทำงานเป็นทีม และการสร้างเครือข่าย จุดเด่นของกรอบนี้คือสามารถสังเกตและประเมิน พฤติกรรมเชิงนวัตกรรมได้อย่างเป็นรูปธรรม และได้รับตรวจสอบความเที่ยงตรงและความเชื่อมั่นในหลายบริบท ทั้งใน สถานศึกษา องค์กรธุรกิจ และสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ดิจิทัล (Andreu-Andres et al., 2018; Butter & van Beest, 2017; Keinänen & Konst, 2024; Marín-García et al., 2023) ในขณะเดียวกัน Stilgoe et al. (2013) ได้เสนอกรอบแนวคิด นวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสังคม (Responsible Innovation: RI) ซึ่งเป็นกรอบเชิงปฏิบัติที่รองรับแนวคิด RRI โดยประกอบด้วย 4 มิติ ได้แก่ การคาดการณ์ล่วงหน้า การสะท้อนคิด การมีส่วนร่วมเชิงไตร่ตรอง และการตอบสนอง เพื่อให้การพัฒนา นวัตกรรมตระหนักถึงผลกระทบทางสังคม เปิดรับมุมมองที่หลากหลาย และปรับตัวตามข้อมูลใหม่อย่างต่อเนื่อง

ในบริบททางการศึกษา กรอบแนวคิด RI ได้รับการต่อยอดและบูรณาการเข้าสู่นโยบายการศึกษาระดับนานาชาติ อย่างต่อเนื่อง โดย European Parliament & Council of the European Union (2013) ได้ระบุให้ “การส่งเสริมความรู้ และการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์” เป็นหนึ่งในเสาหลักของ RRI ซึ่งมีรากฐานจากกรอบ RI ของ Stilgoe et al. (2013) การประยุกต์กรอบดังกล่าวมุ่งพัฒนาสมรรถนะของนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสังคมให้แก่ผู้เรียนผ่านการออกแบบการเรียนการสอน วิทยาศาสตร์ระดับโรงเรียน (Bardone et al., 2023) และมีหลักฐานเชิงประจักษ์เกี่ยวกับการพัฒนาสมรรถนะและวิธี การเรียนการสอนในบริบท STEAM Education ระดับมัธยมศึกษา (Malagrida et al., 2022) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ยังคงศึกษาสมรรถนะนวัตกรรมและนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสังคมแยกกัน โดยงานวิจัยที่ใช้กรอบ FINCODA มักอยู่ใน บริบทการศึกษาวิศวกรรมระดับอุดมศึกษา (Andreu-Andrés et al., 2018; Charosky et al., 2021) ขณะที่งานวิจัยเกี่ยวกับ กรอบ RI มักเน้นในระดับนโยบายหรือองค์กรวิจัย (Burget et al., 2017; Stilgoe et al., 2013) ส่งผลให้เกิดช่องว่างเชิง ความรู้ในการนำกรอบทั้งสองไปประยุกต์ในบริบทการเรียนรู้ระดับโรงเรียน การผสมผสานทั้งสองกรอบจึงช่วยสร้างแนวทางที่ ครอบคลุมทั้งด้านการสร้างสรรค์และด้านจริยธรรมของการสร้างนวัตกรรม ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอของนักวิชาการที่เห็นว่า การพัฒนานวัตกรรมอย่างมีความรับผิดชอบต่อสังคมควรบูรณาการเข้าสู่หลักสูตรการศึกษาอย่างเป็นระบบ เพื่อเตรียมความพร้อมให้ ผู้เรียนสามารถตอบสนองต่อความท้าทายของสังคมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Tassone et al., 2018)

อย่างไรก็ตาม แม้ประเทศไทยจะมีความพยายามยกระดับคุณภาพการศึกษาและส่งเสริมนวัตกรรมการเรียนรู้ (Office of the National Economic and Social Development Council, 2023) แต่ยังคงขาดเครื่องมือวัดสมรรถนะนวัตกรรมที่มี ความตรงเชิงโครงสร้างและคำนึงถึงผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบ ส่งผลให้การประเมินสมรรถนะ นวัตกรรมของผู้เรียนขาดความน่าเชื่อถือ ดังนั้นการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของโมเดลจึงมีความสำคัญในการยืนยัน ว่าเครื่องมือสามารถสะท้อนแนวคิดทางทฤษฎีได้อย่างถูกต้องและเชื่อถือได้ (Hair et al., 2019; Kline, 2023) โดยเฉพาะใน งานวิจัยด้านการศึกษาและจิตวิทยาที่ตัวแปรมีลักษณะซับซ้อนและประกอบด้วยหลายมิติ การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างโครงสร้างเชิงทฤษฎีกับข้อมูลเชิงประจักษ์ นอกจากนี้ การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างยังรวมถึงการประเมินความตรงเชิงลู่เข้าและความตรงเชิงจำแนกเพื่อยืนยันว่ามีมิติแต่ละ ด้านสามารถอธิบายตัวแปรแฝงได้อย่างชัดเจนและมีความแตกต่างจากมิติอื่น ซึ่งเป็นหลักฐานสำคัญที่ทำให้เครื่องมือวัดมี คุณภาพและสามารถนำไปใช้ประเมินและพัฒนาสมรรถนะของผู้เรียนได้อย่างแม่นยำ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของโมเดลการวัดสมรรถนะนวัตกรรม ที่มีความรับผิดชอบต่อสังคม โดยบูรณาการกรอบสมรรถนะนวัตกรรม 5 มิติของ Marín-García et al. (2016) เข้ากับกรอบนวัตกรรม ที่มีความรับผิดชอบต่อสังคม 4 มิติของ Stilgoe et al. (2013) สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้การวิเคราะห์ องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่หนึ่ง เพื่อยืนยันความสอดคล้องของโครงสร้างเชิงทฤษฎีกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ผลการศึกษา

คาดว่าจะเป็นการบูรณาการกรอบแนวคิดที่เชื่อมโยงสมรรถนะนวัตกรรมกับความรับผิดชอบต่ออย่างเป็นระบบ และนำไปสู่การพัฒนาเครื่องมือวัดที่มีความเที่ยงตรงและเชื่อถือได้ ซึ่งสามารถใช้เป็นต้นแบบสำหรับการพัฒนาเครื่องมือวัดในบริบทอื่น ๆ นอกจากนั้น ยังเป็นเครื่องมือที่ครูและผู้บริหารสามารถนำไปใช้ประเมินและพัฒนาผู้เรียนได้จริง เป็นแนวทางสำหรับการออกแบบหลักสูตรและกิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการเป็นนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาและตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของโมเดลการวัดสมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสังคมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

นิยามศัพท์เฉพาะ

สมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสังคม (Responsible Innovator Competence) หมายถึง ความสามารถบูรณาการของบุคคลในการสร้างและพัฒนานวัตกรรมใหม่ที่เป็นประโยชน์ ควบคู่กับการดำเนินกระบวนการที่โปร่งใส เปิดกว้างต่อการมีส่วนร่วม และคำนึงถึงผลกระทบต่อสังคม ซึ่งเป็นโครงสร้างหลายมิติที่หลอมรวมสมรรถนะนวัตกรรม 5 ด้าน ได้แก่ ความคิดสร้างสรรค์ การคิดเชิงวิพากษ์ ความคิดริเริ่ม การทำงานเป็นทีม และการสร้างเครือข่าย (Marín-García et al., 2016) เข้ากับมิติของนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสังคม 4 ด้าน ได้แก่ การคาดการณ์ล่วงหน้า การสะท้อนคิด การมีส่วนร่วมเชิงไตร่ตรอง และการตอบสนอง (Stilgoe et al., 2013) เพื่อให้วัตกรที่เกิดขึ้นมีคุณค่า ยั่งยืน และเป็นที่ยอมรับในเชิงจริยธรรมและสังคม ในงานวิจัยนี้ สมรรถนะดังกล่าวถูกจำแนกออกเป็น 20 องค์ประกอบย่อย ตามโครงสร้างเมทริกซ์ 5 × 4 ดังแสดงใน Table 1 และสามารถประเมินได้จากแบบวัด 60 ข้อคำถามที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

การทบทวนวรรณกรรม

แนวคิดเกี่ยวกับสมรรถนะนวัตกรรมมีการต่อเนื่อง และสะท้อนการเปลี่ยนแปลงของความต้องการในสังคมและตลาดแรงงาน ในระยะแรกแนวคิดนี้เกิดขึ้นในบริบทธุรกิจที่มุ่งสร้างความได้เปรียบเชิงการแข่งขันผ่านความสามารถในการสร้างนวัตกรรม (Darsø, 2012; Hamel, 2006) ต่อมาในช่วงต้นศตวรรษที่ 21 แนวคิดดังกล่าวได้ขยายขอบเขตสู่บริบทการศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระดับอุดมศึกษา ซึ่งมุ่งพัฒนาผู้เรียนให้มีความพร้อมในตลาดแรงงานและสังคมที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (Watts et al., 2013) การเปลี่ยนแปลงนี้สะท้อนให้เห็นว่าสมรรถนะนวัตกรรมไม่ใช่เพียงทักษะเฉพาะสำหรับนักธุรกิจหรือนักออกแบบเท่านั้น แต่เป็นทักษะสำคัญที่ผู้เรียนทุกคนควรได้รับการพัฒนา

การพัฒนาที่สำคัญของแนวคิดสมรรถนะนวัตกรรมเกิดขึ้นในปี 2016 ผ่านโครงการ FINCODA ซึ่งเป็นความร่วมมือระหว่างสถาบันการศึกษาและองค์กรธุรกิจหลายประเทศในยุโรป โครงการนี้สังเคราะห์กรอบแนวคิดจากงานวิจัย 12 โมเดล และพัฒนาเป็นโมเดลสมรรถนะนวัตกรรม 5 ด้านที่มีความครอบคลุมและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง (Marín-García et al., 2016) จุดเด่นของกรอบ FINCODA คือการมุ่งวัดพฤติกรรมที่สังเกตได้จริงผ่านตัวชี้วัดเชิงพฤติกรรม พร้อมมีเครื่องมือวัดที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพทางจิตมิติและมีค่าความเชื่อมั่นภายในอยู่ในระดับดี (Marín-García, 2018) ทำให้กรอบนี้ได้รับการยอมรับและนำไปใช้ในการวิจัยและพัฒนาหลักสูตรในหลายประเทศ ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้นิยามของ Marín-García (2018) ที่ระบุว่า สมรรถนะนวัตกรรม (Innovation Competence) เป็นสมรรถนะข้ามสาขาของนวัตกรรม หมายถึง ความสามารถในการสร้าง แนะนำ ปรับใช้ หรือประยุกต์สิ่งใหม่ที่เป็นประโยชน์ในทุกส่วนขององค์กร โดยเป็นโครงสร้างหลายมิติที่สะท้อนถึงทักษะที่จำเป็นในแต่ละขั้นตอนหลักของกระบวนการนวัตกรรม ตั้งแต่การสร้างแนวคิดไปจนถึงการนำไปปฏิบัติ ผ่านการทำงานเป็นทีมและการสร้างเครือข่าย คำจำกัดความนี้สะท้อนให้เห็นว่าวัตกรมีไม่เพียงการสร้างสิ่งใหม่ แต่คือกระบวนการที่ต้องการชุดทักษะสหวิทยาการที่เชื่อมโยงตั้งแต่การริเริ่มความคิดจนถึงการนำไปใช้จริง โดยสมรรถนะดังกล่าวเป็นลักษณะเชิงซ้อนที่ประกอบด้วยทักษะ ความสามารถ และพฤติกรรมหลายด้านที่ทำงานเชื่อมโยงกันอย่างเป็นระบบ (Watts et al., 2013)

กรอบ FINCODA ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยสมรรถนะหลัก 5 ด้าน ได้แก่ 1) ความคิดสร้างสรรค์ (Creativity) คือ ความสามารถในการสร้างแนวคิดใหม่ที่มีประโยชน์ ใช้จินตนาการและการคิดแบบแตกแขนง รวมถึงการมองและการทำสิ่ง

ต่างๆ ในรูปแบบใหม่ 2) การคิดเชิงวิพากษ์ (Critical Thinking) คือ ความสามารถในการวิเคราะห์แนวคิด เหตุผล หรือปัญหา ประเมินข้อดีและข้อเสีย คาดการณ์อุปสรรคและความเสี่ยง และตัดสินใจอย่างมีเหตุผล 3) ความคิดริเริ่ม (Initiative) คือ ความสามารถในการตัดสินใจและลงมือปฏิบัติเพื่อนำแนวคิดไปใช้จริง ระดมทรัพยากร และยืนหยัดต่ออุปสรรคเพื่อทำให้เกิด การแก้ปัญหาและนวัตกรรม 4) การทำงานเป็นทีม (Teamwork) คือ ความสามารถในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและ ร่วมมือกับผู้อื่นในกลุ่ม โดยมีส่วนร่วมเพื่อบรรลุเป้าหมายร่วมกันและเห็นคุณค่าของมุมมองที่หลากหลาย และ 5) การสร้าง เครือข่าย (Networking) คือ ความสามารถในการสร้างและรักษาความสัมพันธ์กับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียภายนอก แสวงหาและใช้ ความรู้จากภายนอก รวมถึงสร้างโอกาสในการทำงานร่วมกันนอกเหนือจากทีมงาน (Marín-García et al., 2016)

กรอบ FINCODA ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในบริบทการศึกษา โดยเฉพาะในระดับอุดมศึกษา (Andreu- Andres et al., 2018; Keinänen & Kairisto-Mertanen, 2019) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมาชี้ข้อจำกัดหลายประการที่ จำเป็นต้องได้รับการพัฒนาต่อ ประการแรก งานวิจัยส่วนใหญ่เน้นการพัฒนาสมรรถนะด้านนวัตกรรม โดยยังขาดการ บูรณาการมิติด้านจริยธรรมและความรับผิดชอบต่อสังคม ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่ European Commission (2014) ได้เน้นว่า การวิจัยและนวัตกรรมควรสอดคล้องกับค่านิยม ความต้องการ และความคาดหวังของสังคม รวมถึงต้องประเมินความเสี่ยง และผลกระทบต่อสังคมอย่างรับผิดชอบ ประการที่สอง งานวิจัยส่วนใหญ่ดำเนินการในบริบทอุดมศึกษาในยุโรป (Marín- García et al., 2016) จึงยังขาดความเข้าใจในบริบทวัฒนธรรมอื่น โดยเฉพาะในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีลักษณะ การเรียนรู้และค่านิยมแตกต่างออกไป และประการที่สาม การศึกษาสมรรถนะนวัตกรรมในระดับมัธยมศึกษายังมีจำกัด ทั้งที่ ระดับการศึกษานี้เป็นช่วงสำคัญในการวางรากฐานสมรรถนะต่าง ๆ (Keinänen & Kairisto-Mertanen, 2019) ซึ่งอาจทำให้ ได้มุมมองที่ไม่ครบถ้วนของสมรรถนะที่แท้จริงของผู้เรียน ข้อจำกัดเหล่านี้ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการขยายการศึกษา สมรรถนะนวัตกรรมไปยังบริบทที่หลากหลาย ทั้งในด้านระดับการศึกษาและพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ลึกซึ้ง และสามารถพัฒนากลยุทธ์ที่เหมาะสมสำหรับการส่งเสริมสมรรถนะนวัตกรรมในบริบทที่แตกต่างกัน

แนวคิดเกี่ยวกับนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสังคม (Responsible Innovation: RI) เกิดขึ้นจากการตระหนักว่านวัตกรรม ไม่ได้เป็นกลางทางค่านิยม แต่สามารถสร้างผลกระทบทั้งในเชิงบวกและลบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมได้อย่างกว้างขวาง การ พัฒนานวัตกรรมจึงควรคำนึงถึงมิติด้านจริยธรรม ความเสมอภาคทางสังคม และผลกระทบระยะยาวต่อสิ่งแวดล้อมควบคู่กัน (Owen et al., 2012; Stilgoe et al., 2013) แนวคิด RI มีพัฒนาการต่อเนื่องตลอดสองทศวรรษที่ผ่านมา และได้รับการ ยอมรับอย่างเป็นทางการในโครงการ Responsible Research and Innovation (RRI) ของสหภาพยุโรปอย่างต่อเนื่อง (European Commission, 2013; 2025) ซึ่งมุ่งส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ในงานวิจัยและนวัตกรรมควบคู่กับความรับผิดชอบต่อสังคม การเปลี่ยนแปลงนี้สะท้อนการขยายขอบเขตของการพัฒนานวัตกรรมจากการมุ่งเน้นประสิทธิภาพเชิงเศรษฐกิจเพียง ด้านเดียวไปสู่การให้ความสำคัญกับผลกระทบทางสังคมและสิ่งแวดล้อมอย่างจริงจัง ในบริบทนี้ von Schomberg (2013) ให้ คำจำกัดความว่า “นวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสังคม” (Responsible Research and Innovation) คือ กระบวนการที่มีความ โปร่งใสและเปิดโอกาสให้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในสังคมและผู้สร้างนวัตกรรม โดยทั้งสองฝ่ายตอบสนองซึ่งกัน และกันเพื่อให้มั่นใจว่ากระบวนการนวัตกรรมและผลิตภัณฑ์ที่นำออกสู่ตลาดมีความเป็นที่ยอมรับทางจริยธรรม มีความยั่งยืน และเป็นที่ยอมรับของสังคม ในขณะเดียวกัน Stilgoe et al. (2013) ได้เสนอกรอบแนวคิดที่ประกอบด้วย 4 มิติหลัก เพื่อ รับมือกับความไม่แน่นอนและความซับซ้อนของระบบสังคมในอนาคต ทั้งนี้ Owen et al. (2013) และ Stilgoe et al. (2013) ชี้ให้เห็นความท้าทายสำคัญของการประยุกต์ใช้แนวคิดนี้ในทางปฏิบัติ โดยเฉพาะการสร้างสมดุลระหว่างความต้องการที่ หลากหลายของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับเป้าหมายของนวัตกรรม ตลอดจนคำถามสำคัญเกี่ยวกับกลไกและวิธีการที่จะทำให้ระบบ นวัตกรรมดำเนินไปตามหลักการของความรับผิดชอบต่อสังคมอย่างแท้จริง

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำกรอบแนวคิดนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสังคม (Responsible Innovation: RI) ตามแนวคิด ของ Stilgoe et al. (2013) มาใช้เป็นกรอบวิเคราะห์หลัก ซึ่งประกอบด้วย 4 มิติสำคัญที่เชื่อมโยงและเสริมแรงซึ่งกันและกัน ได้แก่ 1) การคาดการณ์ล่วงหน้า (Anticipation) หมายถึง การพิจารณาและคาดการณ์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากนวัตกรรม

ทั้งผลกระทบเชิงบวกและเชิงลบในด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม รวมถึงการระบุความเสี่ยงและโอกาสต่าง ๆ อย่างรอบด้าน 2) การสะท้อนคิด (Reflexivity) หมายถึง การทบทวนและวิพากษ์สมมติฐาน ค่านิยม และแนวปฏิบัติที่ใช้ในกระบวนการสร้างนวัตกรรมอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิดความโปร่งใส ความตระหนักรู้ในบทบาทของตนเอง และการพิจารณาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการตัดสินใจในแต่ละขั้นตอน 3) การมีส่วนร่วมเชิงไตร่ตรอง (Inclusion) หมายถึง การเปิดโอกาสให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่หลากหลายเข้ามามีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็น การตัดสินใจ และการออกแบบทิศทางของนวัตกรรม เพื่อให้เกิดการรับรู้ที่แตกต่างและสะท้อนความต้องการที่แท้จริงของสังคม และ 4) การตอบสนอง (Responsiveness) หมายถึง ความสามารถในการปรับเปลี่ยนทิศทาง กลยุทธ์ หรือวิธีดำเนินการของนวัตกรรม เมื่อมีข้อมูลใหม่ หลักฐานใหม่ หรือข้อกังวลจากสังคม ซึ่งสะท้อนความพร้อมในการรับผิดชอบต่อผลลัพธ์ของนวัตกรรม

ทั้งสี่มิติไม่ได้ดำเนินไปอย่างแยกส่วน แต่เป็นกระบวนการบูรณาการที่ส่งเสริมให้นวัตกรรมมีความโปร่งใส ยืดหยุ่น และสอดคล้องกับความคาดหวังของสังคม งานวิจัยหลายฉบับได้ประยุกต์ใช้กรอบ RI ในหลากหลายสาขา เช่น การพัฒนาเกณฑ์คุณภาพและตัวชี้วัดของ RI ในบริบทสหวิทยาการ (Wickson & Carew, 2014) การออกแบบสถานศึกษาที่ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Deppeler & Aikens, 2020) และการบูรณาการ RI เข้ากับการเรียนรู้แบบ STEAM Education เพื่อส่งเสริมสมรรถนะด้านจริยธรรมและสังคมของผู้เรียนระดับมัธยมศึกษา (Malagrida et al., 2022) จากพัฒนาการดังกล่าว แนวคิด RI จึงเหมาะสมในการใช้เป็นฐานในการเสริมสร้างสมรรถนะของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 โดยเฉพาะในระดับมัธยมศึกษา ซึ่งเป็นช่วงวัยสำคัญของการพัฒนาความคิดเชิงนวัตกรรมควบคู่กับจิตสำนึกทางจริยธรรม การบูรณาการแนวคิด RI ในการจัดการเรียนรู้จึงสามารถส่งเสริมการสร้างนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสังคมซึ่งเป็นกำลังสำคัญของสังคมในอนาคต

แม้ว่ากรอบสมรรถนะนวัตกรรมและกรอบนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสังคมจะได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย แต่การทบทวนวรรณกรรมชี้ให้เห็นว่าทั้งสองกรอบนี้ยังคงถูกนำไปใช้แยกจากกันในทางปฏิบัติ โดยงานวิจัยที่ใช้กรอบสมรรถนะนวัตกรรม เช่น FINCODA ซึ่งพัฒนาโดย Marin-Garcia และคณะ (2016) มุ่งเน้นความสามารถในการสร้างสรรค์นวัตกรรมในระดับบุคคล ซึ่งกรอบดังกล่าวได้รับการพิสูจน์แล้วว่าประกอบด้วยตัวชี้วัดพฤติกรรมที่สามารถสังเกตและประเมินได้ในบริบทการทำงานจริง (Andreu-Andres et al., 2018; Marin-Garcia, 2018) อย่างไรก็ตาม กรอบดังกล่าวยังไม่ได้เชื่อมโยงอย่างชัดเจนกับประเด็นด้านจริยธรรม ผลกระทบทางสังคม และความยั่งยืนของนวัตกรรม จึงอาจนำไปสู่การพัฒนาผู้เรียนที่สร้างสรรค์นวัตกรรมได้ดี แต่ยังไม่ตระหนักถึงความหมายและผลกระทบของสิ่งที่สร้างขึ้นอย่างเพียงพอ ในขณะที่งานวิจัยด้านนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสังคม โดยเฉพาะกรอบแนวคิดของ Stilgoe et al. (2013) เน้นกระบวนการคิดและการกำกับทิศทางของนวัตกรรมให้สอดคล้องกับค่านิยมทางสังคมผ่าน 4 มิติ แม้กรอบแนวคิด RI จะให้คำตอบสำคัญในคำถามว่า “จะสร้างนวัตกรรมอย่างมีความรับผิดชอบต่อสังคมได้อย่างไร” แต่กรอบนี้ไม่ได้ระบุสมรรถนะเชิงพฤติกรรมระดับบุคคลที่ผู้เรียนต้องมีเพื่อปฏิบัติหลักการดังกล่าว จึงทำให้การนำไปใช้ในการออกแบบหลักสูตรหรือประเมินผู้เรียนยังมีข้อจำกัด กล่าวได้ว่า กรอบ FINCODA อธิบาย “สิ่งที่ผู้เรียนควรสามารถทำได้” ขณะที่กรอบ RI อธิบาย “วิธีที่ผู้เรียนควรคิดและปฏิบัติเมื่อสร้างนวัตกรรม” ซึ่งยังไม่มีการเชื่อมโยงทั้งความสามารถและความรับผิดชอบต่อสังคมเข้าด้วยกันในระดับบุคคลอย่างเป็นระบบ

ช่องว่างดังกล่าวจึงเด่นชัดในบริบทการศึกษาขั้นพื้นฐาน เนื่องจากผู้เรียนในช่วงมัธยมศึกษาตอนปลายอยู่ในระยะที่สมรรถนะเชิงปฏิบัติและมิติด้านคุณค่าทางสังคมเริ่มก่อตัวควบคู่กันแต่ยังขาดกรอบการประเมินที่สามารถรองรับความซับซ้อนทั้งสองด้านได้พร้อมกัน (Burget et al., 2017) นอกจากนี้ งานวิจัยส่วนใหญ่ยังคงกระจุกตัวในยุโรปและอเมริกาเหนือ ทำให้ยังไม่มีหลักฐานเชิงประจักษ์ในบริบทเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และประเทศไทย เพื่อตอบสนองช่องว่างดังกล่าว งานวิจัยนี้ได้พัฒนารอบสมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสังคมโดยบูรณาการสมรรถนะนวัตกรรม 5 ด้านของ Marin-Garcia et al. (2016) เข้ากับมิติความรับผิดชอบต่อสังคม 4 ด้านของ Stilgoe et al. (2013) เป็นโครงสร้างเมทริกซ์ 5x4 รวม 20 องค์ประกอบย่อย พร้อมนิยามปฏิบัติการและตัวบ่งชี้เชิงพฤติกรรมที่สามารถนำไปใช้ประเมินในสถานการณ์จริงได้ เช่น บริบทการพัฒนาวัตกรรมทาง

วิทยาศาสตร์ของผู้เรียน ดังแสดงใน Table 1 โครงสร้างนี้มุ่งหวังให้ผู้เรียนไม่เพียงสร้างนวัตกรรมได้ แต่สร้างอย่างมีความรับผิดชอบต่อสังคมและอนาคต

กรอบแนวคิด

Table 1 กรอบแนวคิดสมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบ

สมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบ	การคาดการณ์ล่วงหน้า (A)	การสะท้อนคิด (R)	การมีส่วนร่วมเชิงไตร่ตรอง (Icn)	การตอบสนอง (Res)
ความคิดสร้างสรรค์ (C)	C_A: สร้างแนวทางใหม่ เพื่อรับมือความเป็นไปได้และผลกระทบที่ตั้งใจและไม่ตั้งใจภายใต้สถานการณ์จำลองอนาคต	C_R: ไตร่ตรองค่านิยม สมมติฐาน และอคติของตนที่กำหนดกรอบความคิดสร้างสรรค์	C_Icn: เปิดรับข้อเสนอจากผู้ใช้ ผู้เชี่ยวชาญ และชุมชน โดยใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย	C_Res: ปรับแนวคิดสร้างสรรค์ตามหลักฐานและความคาดหวังใหม่ พร้อมอธิบายเหตุผล การปรับปรุงโปร่งใส
การคิดเชิงวิพากษ์ (CT)	CT_A: วิเคราะห์ความเสี่ยงและผลได้ ผลเสียของทางเลือก ด้วยเกณฑ์ที่ชัด และอ้างอิงข้อมูลที่น่าเชื่อถือ	CT_R: ยอมรับข้อจำกัด ความรู้และตรวจอคติของตน พร้อมแยกแยะข้อเท็จจริงออกจากความคิดเห็น	CT_Icn: พิจารณาเหตุผลที่แตกต่างจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และสรุปทั้งจุดรวมและความเห็นต่างอย่างสร้างสรรค์ เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจ	CT_Res: ปรับข้อสรุปเมื่อปรากฏข้อมูลใหม่ แม้จะขัดกับความคุ้นชินหรือความชอบส่วนบุคคล
ความคิดริเริ่ม (I)	I_A: ตั้งเป้าหมายตามจุดตัดสินใจตามระยะ วางแผนทรัพยากร และออกแบบลำดับการลงมือทำอย่างเป็นขั้นตอน	I_R: ทบทวนแรงจูงใจ ความรับผิดชอบ และผลกระทบต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสียของการลงมือทำ	I_Icn: ริเริ่มความร่วมมือกับผู้เกี่ยวข้อง กำหนดบทบาท และข้อตกลงร่วมที่ชัดเจน	I_Res: ปรับแผนการปฏิบัติเมื่อบริบทเปลี่ยน และสื่อสารการเปลี่ยนแปลงให้ทีมหรือผู้เกี่ยวข้องทราบอย่างทันท่วงที
การทำงานเป็นทีม (T)	T_A: ร่วมกันสำรวจทางเลือกในอนาคต กำหนดบทบาท ความรับผิดชอบ และแผนสำรองของทีม	T_R: สะท้อนบทบาท ปฏิสัมพันธ์ และผลกระทบของสมาชิกต่อเป้าหมายทีม ภายใต้บรรยากาศที่ปลอดภัยทางจิตใจ	T_Icn: ให้ทุกฝ่ายมีโอกาส แสดงความคิดเห็นอย่างเท่าเทียม จัดการความเหลื่อมล้ำของอำนาจและพื้นที่เสี่ยง	T_Res: ทำงานอย่างยืดหยุ่นต่อสถานการณ์ใหม่ ปรับวิธีสื่อสาร กระบวนการ และการประสานงาน
การสร้างเครือข่าย (N)	N_A: ใช้เครือข่ายสำรวจแนวโน้ม ข้อมูล และทรัพยากรจากภายนอกที่หลากหลายและเชื่อถือได้	N_R: แลกเปลี่ยนมุมมองเพื่อยกระดับการไตร่ตรอง ให้เครดิตแหล่งข้อมูล ตรวจสอบความน่าเชื่อถือ	N_Icn: ร่วมพัฒนานวัตกรรมกับผู้ใช้ ผู้เชี่ยวชาญ และชุมชน ผ่านการร่วมออกแบบ ทดลองใช้ ทบทวนและปรับปรุงอย่างเป็นระบบ	N_Res: เรียนรู้และปรับตัวจากความร่วมมือภายนอกอย่างต่อเนื่อง และส่งต่อการเปลี่ยนแปลงกลับสู่ทีมอย่างเป็นระบบ

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากร และกลุ่มตัวอย่างวิจัย

ประชากร คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในโรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.) ทั่วประเทศไทย ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568 ที่มีประสบการณ์ในการเข้าร่วมการแข่งขันโครงงานวิทยาศาสตร์ในระดับภาคขึ้นไป

กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีประสบการณ์ในการเข้าร่วมการแข่งขันโครงงานวิทยาศาสตร์ในระดับภาคขึ้นไป จำนวน 758 คน ซึ่งได้มาจากการกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน โดย

อ้างอิงจากหลักเกณฑ์ของ Hair et al. (2019) ที่ระบุว่า สำหรับโมเดลที่มีจำนวนองค์ประกอบแฝงมากกว่า 7 องค์ประกอบ และบางองค์ประกอบอาจมีความแปรปรวนร่วมต่ำหรือมีตัวแปรสังเกตได้น้อยกว่า 3 ตัว ควรกำหนดขนาดตัวอย่างขั้นต่ำไม่น้อยกว่า 500 ตัวอย่าง การศึกษาครั้งนี้มีโมเดลการวัดประกอบด้วย 20 องค์ประกอบแฝง และตัวแปรสังเกตได้จำนวน 60 ตัว ซึ่งจัดเป็นโมเดลที่มีความซับซ้อนสูง ผู้วิจัยจึงกำหนดเป้าหมายขนาดตัวอย่างไว้ที่ 750-800 คน ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำ เพื่อรองรับความซับซ้อนของโมเดล ป้องกันการสูญหายของข้อมูล และเพิ่มความแม่นยำในการประมาณค่าดัชนีความกลมกลืนที่ไวต่อขนาดตัวอย่าง ผู้วิจัยได้รับแบบสอบถามที่สมบูรณ์จำนวน 758 ฉบับ คิดเป็นร้อยละ 151.6 ของเกณฑ์ขั้นต่ำ ผู้วิจัยตรวจสอบลักษณะการกระจายของข้อมูล (normality) ด้วยค่า skewness และ kurtosis พบว่า ตัวแปรสังเกตเป็นข้อมูลเชิงอันดับ โดยมีค่า skewness อยู่ระหว่าง -1.37 ถึง -0.55 และค่า kurtosis อยู่ระหว่าง -0.53 ถึง 3.12 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Kline, 2023) อัตราส่วนระหว่างจำนวนตัวอย่างต่อจำนวนตัวแปรสังเกตได้เท่ากับ 12.63:1 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่แนะนำคือ 10:1 (Hair et al., 2019) ดังนั้น ขนาดตัวอย่าง 758 คน มีความเหมาะสมต่อการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของโมเดลสมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบ

การวิจัยครั้งนี้ใช้การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบไม่ใช้ความน่าจะเป็น (Non-probability sampling) โดยอาศัยการเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) โดยคัดเลือกโรงเรียนและนักเรียนที่ตรงตามเกณฑ์ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายในโรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.) ที่มีประสบการณ์ในการเข้าร่วมการแข่งขันโครงงานวิทยาศาสตร์ระดับภาคขึ้นไป จากภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศ แล้วดำเนินการสุ่มแบบลูกโซ่ (Snowball sampling) โดยขอความร่วมมือจากครูผู้สอนวิทยาศาสตร์และครูที่ปรึกษาโครงงานในโรงเรียนเป้าหมายให้เผยแพร่แบบสอบถามออนไลน์ผ่าน Google Forms ให้แก่นักเรียนที่มีคุณสมบัติตรงตามเกณฑ์

เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ แบบประเมินตนเองด้านสมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบ ซึ่งผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจากการสังเคราะห์กรอบสมรรถนะนวัตกรรมของ Marín-García et al. (2016) และ กรอบนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบของ Stilgoe et al. (2013) แบบประเมินแบ่งเป็น 2 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของนักเรียน เช่น เพศ เครือข่ายโรงเรียน ประสบการณ์การแข่งขันโครงงาน และระดับการแข่งขันสูงสุดที่เคยเข้าร่วม และตอนที่ 2 ประเด็นการประเมินสมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบ เป็นแบบมาตราประมาณค่า 6 ระดับ (0-5) ให้นักเรียนเลือกตอบเพียง 1 คำตอบที่ตรงกับ “ความถี่หรือความสม่ำเสมอของพฤติกรรม” ที่ตรงกับตนเองมากที่สุด ข้อคำถามจำแนกเป็น 20 องค์ประกอบย่อย มีข้อคำถามทั้งหมด 60 ข้อ ซึ่งแต่ละองค์ประกอบย่อยแสดงรายละเอียดใน Table 1 และมีขั้นตอนในการพัฒนาแบบประเมิน ดังนี้

1. ผู้วิจัยทบทวนวรรณกรรมด้านสมรรถนะนวัตกรรม และนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบจากวารสารวิชาการต่าง ๆ จากผลการสังเคราะห์ผู้วิจัยเลือกใช้กรอบ FINCODA (Marín-García et al., 2016) เนื่องจากมีพฤติกรรมบ่งชี้ที่สังเกตและประเมินได้ชัดเจน ประกอบด้วย 5 สมรรถนะหลัก ได้แก่ (1) ความคิดสร้างสรรค์ (2) การคิดเชิงวิพากษ์ (3) ความคิดริเริ่ม (4) การทำงานเป็นทีม และ (5) การสร้างเครือข่าย และ เลือกใช้กรอบ RI ของ Stilgoe et al. (2013) ซึ่งได้รับการยอมรับในระดับนโยบายสากล (European Commission, 2013) ประกอบด้วย 4 มิติ ได้แก่ (1) การคาดการณ์ล่วงหน้า (2) การสะท้อนคิด (3) การมีส่วนร่วมเชิงไตร่ตรอง และ (4) การตอบสนอง จากนั้นผู้วิจัยบูรณาการทั้งสองกรอบเป็นเมทริกซ์เชิงแนวคิด (5×4) เกิดเป็น 20 องค์ประกอบย่อย โดยแต่ละองค์ประกอบสะท้อนการผสมสมรรถนะนวัตกรรมหนึ่งด้านเข้ากับมิติความรับผิดชอบหนึ่งด้าน รายละเอียดแสดงใน Table 1

2. ผู้วิจัยพัฒนารายการข้อคำถามจำนวน 60 ข้อ (แต่ละองค์ประกอบย่อยมีข้อคำถาม 3 ข้อ) ตามกรอบแนวคิดที่สังเคราะห์ได้ โดยกำหนดพฤติกรรมบ่งชี้ให้ครอบคลุมทั้ง 20 องค์ประกอบย่อย ข้อคำถามออกแบบให้วัดความถี่หรือความสม่ำเสมอของพฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออกตามกรอบแนวคิดของ FINCODA ที่เน้นพฤติกรรมที่สังเกตได้ (observable behaviors) และสามารถประเมินได้จริงในบริบทของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีประสบการณ์ทำโครงงานวิทยาศาสตร์

3. ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบประเมินฉบับร่าง โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ได้แก่ (1) ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผล (2) ผู้เชี่ยวชาญด้านนวัตกรรมการศึกษา และ (3) ครูผู้สอนวิทยาศาสตร์ที่มีประสบการณ์ดูแลโครงการนักเรียนอย่างน้อย 5 ปี ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับองค์ประกอบที่ต้องการวัด ความชัดเจนของภาษา และความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน ผู้วิจัยนำข้อเสนอแนะที่ได้รับมาปรับปรุงถ้อยคำเพื่อเพิ่มความชัดเจน โดยคงจำนวนข้อคำถามไว้

4. ผู้วิจัยนำแบบประเมินที่ปรับปรุงแล้วไปทดลองใช้ (try-out) กับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คนซึ่งไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยจริง เพื่อทดสอบความเข้าใจและความชัดเจนของข้อคำถาม และคำนวณค่าความเชื่อมั่นของจากผลการทดลองใช้ นักเรียนสามารถตอบแบบประเมินได้ครบทุกข้อ อย่างไรก็ตามพบข้อคำถามบางข้อที่ผู้ตอบตีความแตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงสอบถามและปรับถ้อยคำเพิ่มเติมให้เหมาะสม ก่อนนำไปใช้เก็บข้อมูลจริง ผู้วิจัยวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นด้วยสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha: α) และสัมประสิทธิ์โอเมก้า (McDonald's Omega: ω) โดยใช้เกณฑ์ $\alpha \geq 0.70$ และ $\omega \geq 0.70$ ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าความเชื่อมั่นของแบบประเมินทั้งฉบับมีค่า $\alpha = 0.975$ และ $\omega = 0.978$ แสดงว่าแบบประเมินมีความเชื่อมั่นในระดับสูงมาก สามารถนำไปใช้เก็บข้อมูลได้อย่างเชื่อถือได้

5. ผู้วิจัยจัดทำแบบประเมินในรูปแบบออนไลน์ผ่าน Google Forms พร้อมคำชี้แจงและตัวอย่างการตอบที่ชัดเจน ก่อนนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจริง

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามออนไลน์ผ่านระบบ Google Forms ในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ.2568 ซึ่งก่อนเก็บข้อมูลผู้วิจัยได้ขออนุญาตนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างและคุณครูที่ปรึกษาของนักเรียน โดยชี้แจงวัตถุประสงค์และความสำคัญของการวิจัย การรายงานผลวิจัยในภาพรวม การเก็บข้อมูลวิจัยเป็นไปอย่างสมัครใจ ไม่มีการเปิดเผยข้อมูลส่วนบุคคล และนักเรียนกลุ่มตัวอย่างมีสิทธิ์ที่จะปฏิเสธหรือถอนตัวจากการให้ข้อมูลได้ตลอดเวลา ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจะถูกเก็บรักษาเป็นความลับและใช้เพื่อการวิจัยเท่านั้นเพื่อให้เป็นไปตามหลักการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ผู้วิจัยส่งลิงก์แบบสอบถามออนไลน์ให้แก่ครูผู้สอนวิทยาศาสตร์และครูที่ปรึกษาโครงการในโรงเรียนเป้าหมาย พร้อมชี้แจงและเกณฑ์คุณสมบัติของนักเรียนที่เหมาะสมต่อการตอบแบบสอบถาม ครูผู้รับผิดชอบจะเผยแพร่ลิงก์ดังกล่าวให้แก่แก่นักเรียนที่มีคุณสมบัติตรงตามเกณฑ์ผ่านช่องทางออนไลน์ เช่น กลุ่มไลน์ (LINE) หรืออีเมล ผู้วิจัยได้กำหนดให้ทุกข้อคำถามในแบบสอบถามออนไลน์เป็นแบบบังคับตอบ (Required) และมีการตรวจสอบคุณสมบัติของผู้ตอบด้วยคำถามกลั่นกรองในตอนต้นที่ 1 นักเรียนใช้เวลาในการทำแบบสอบถามออนไลน์ประมาณ 20-25 นาที ผู้วิจัยได้รับแบบสอบถามที่สมบูรณ์และผ่านเกณฑ์คุณสมบัติจำนวน 758 ฉบับ

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การเตรียมข้อมูลและการกำหนดโมเดล

ผู้วิจัยนำเข้าข้อมูลจากแบบสอบถามออนไลน์ในรูปแบบไฟล์ CSV และเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์โดยกำหนดให้ตัวแปรทั้ง 60 ข้อคำถาม (Q1-Q60) เป็นตัวแปรเชิงอันดับ ที่มีระดับคะแนน 0-5 เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะของมาตราประมาณค่าแบบลิเคิร์ต จากนั้นตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลก่อนดำเนินการวิเคราะห์ โมเดลการวัดที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 20 องค์ประกอบแฝง (latent variables) และ 60 ตัวแปรสังเกตได้ (observed variables) โดยแต่ละองค์ประกอบแฝงมีตัวแปรสังเกตได้ 3 ข้อคำถาม ตามโครงสร้าง 5 สมรรถนะหลัก $\times$ 4 มิติ = 20 องค์ประกอบแฝง ซึ่งใช้สัญลักษณ์และคำอธิบายตามที่แสดงใน Table 1

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis: CFA)

ผู้วิจัยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเพื่อตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้าง (Construct Validity) ของโมเดลการวัด โดยใช้ตัวประมาณค่า WLSMV (Weighted Least Squares Mean and Variance Adjusted) ซึ่งเหมาะสมกับข้อมูลเชิงอันดับ และคำนวณค่าสหสัมพันธ์แบบ polychoric correlation matrix (Muthén & Muthén, 2017)

2.1 ความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นโมเดล first-order CFA ผู้วิจัยตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลสมรรถนะวัดการที่มีความรับผิดชอบที่สังเคราะห์ตามทฤษฎีกับข้อมูลเชิงประจักษ์จากกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ค่าดัชนีความกลมกลืนหลายค่า ได้แก่ ค่าไคสแควร์ (χ^2) อัตราส่วน χ^2/df ค่าดัชนีวัดระดับความสอดคล้องเปรียบเทียบ (CFI) ค่าดัชนีที่บ่งบอกความกลมกลืนของโมเดล (TLI) ค่าดัชนีรากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของส่วนที่เหลือของการประมาณค่า (RMSEA) และค่ารากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของส่วนที่เหลือมาตรฐาน (SRMR) โดยพิจารณาตามเกณฑ์ของ Hair et al. (2019) และ Byrne (2016) ดังแสดงใน Table 2

2.2 ความตรงเชิงผู้เข้าและความเชื่อมั่นเชิงประจักษ์ ผู้วิจัยตรวจสอบความตรงเชิงผู้เข้าและความเชื่อมั่นเชิงประจักษ์ของแต่ละองค์ประกอบแฝงด้วยตัวชี้วัด 3 ตัว

2.2.1 ค่าน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐาน (Standardized Factor Loadings: λ) ผู้วิจัยตรวจสอบค่า λ ของตัวแปรสังเกตได้แต่ละตัว โดยกำหนดเกณฑ์ที่ $\lambda \geq 0.50$ (Hair et al., 2019)

2.2.2 ค่าความแปรปรวนเฉลี่ยที่สกัดได้ (Average Variance Extracted: AVE) โดยกำหนดเกณฑ์ที่ $AVE \geq 0.50$ (Fornell & Larcker, 1981) แสดงว่าองค์ประกอบแฝงสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรสังเกตได้มากกว่าร้อยละ 50

2.2.3 ความเชื่อมั่นเชิงประจักษ์ (Composite Reliability: CR) โดยกำหนดเกณฑ์ที่ $CR \geq 0.70$ (Hair et al., 2019) แสดงความสอดคล้องภายในขององค์ประกอบ

2.3 ความตรงเชิงจำแนกขององค์ประกอบแฝง ผู้วิจัยตรวจสอบความตรงเชิงจำแนกด้วย 2 วิธีการ

2.3.1 Fornell-Larcker ผู้วิจัยเปรียบเทียบ $\sqrt{AVE}$ ของแต่ละองค์ประกอบกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างองค์ประกอบ โดย $\sqrt{AVE}$ ต้องมากกว่า r ในทุกคู่ (Fornell & Larcker, 1981) จำนวนคู่ที่ทดสอบทั้งหมดมีจำนวน 190 คู่

2.3.2 อัตราส่วน HTMT (Heterotrait-Monotrait Ratio) คำนวณอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่อค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์ภายในองค์ประกอบ โดยกำหนดเกณฑ์เข้มงวดที่ $HTMT < 0.85$ และเกณฑ์ผ่อนปรนที่ $HTMT < 0.90$ (Henseler et al., 2015)

เนื่องจากโมเดลมีโครงสร้างซับซ้อนและบูรณาการแนวคิดที่เกี่ยวข้องกัน ผู้วิจัยจึงตรวจสอบปัญหา multicollinearity โดยพิจารณาองค์ประกอบที่มีค่า $r > 0.85$ (Hair et al., 2019; Kline, 2023) และวิเคราะห์ว่าเป็นองค์ประกอบภายในสมรรถนะเดียวกัน หรือข้ามสมรรถนะแต่เป็นมิติ RI เดียวกัน เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องกับทฤษฎีโครงสร้างแบบลำดับชั้น

ผลการวิจัย

1. ความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์

โมเดลการวัดสมรรถนะวัดการที่มีความรับผิดชอบ ซึ่งประกอบด้วย องค์ประกอบแฝง 20 ตัวแปร และตัวแปรสังเกตได้ 60 ตัวแปร มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ แม้ว่าค่าไคสแควร์จะมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากขนาดตัวอย่างที่ใหญ่และความไวของค่าสถิติไคสแควร์ต่อขนาดตัวอย่าง (Hair et al., 2019; Kline, 2023) แต่ค่าดัชนีความกลมกลืนทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าโมเดลการวัดมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ดังแสดงใน Table 2

Table 2 ค่าดัชนีวัดความสอดคล้องของโมเดลการวัดสมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบ

ดัชนี	ค่าที่ได้	เกณฑ์	ผลการประเมิน	แหล่งอ้างอิง
χ^2/df	2.84	2-3 (ดี) < 3 (ยอมรับได้)	ความพอดีระดับดี	Byrne (2016)
CFI	0.995	≥ 0.92	ผ่านเกณฑ์	Hair et al. (2019) ^a
TLI	0.994	≥ 0.92	ผ่านเกณฑ์	Hair et al. (2019) ^a
RMSEA	0.049	< 0.07	ผ่านเกณฑ์	Hair et al. (2019) ^a
SRMR	0.045	≤ 0.08	ผ่านเกณฑ์	Hair et al. (2019) ^a

หมายเหตุ: ^aเกณฑ์สำหรับโมเดลที่มีขนาดตัวอย่างมากกว่า 250 คน และมีจำนวนตัวแปรสังเกตได้มากกว่าหรือเท่ากับ 30 ตัวแปร

2. ความตรงเชิงผู้เข้าและความเชื่อมั่นเชิงประกอบ

ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐาน (λ) ของแต่ละองค์ประกอบในโมเดลการวัดสมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบ พบว่า ทุกองค์ประกอบมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบอยู่ระหว่าง 0.565 ถึง 0.916 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.50 โดยมีค่า standard error อยู่ระหว่าง 0.010 ถึง 0.028 และค่า z-value อยู่ระหว่าง 20.632 ถึง 84.196 ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ถือว่ายอมรับได้ตามเกณฑ์ของ Hair et al. (2019) โดยองค์ประกอบการคิดเชิงวิพากษ์ด้านการมีส่วนร่วมเชิงไตร่ตรอง (CT_Icn) มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเฉลี่ยสูงที่สุด ($M = 0.857$, $SD = 0.053$) โดยมีข้อคำถาม Q20 ที่มีค่าน้ำหนักสูงที่สุดในโมเดลทั้งหมด ($\lambda = 0.916$) รองลงมาคือ องค์ประกอบความคิดริเริ่มด้านการสะท้อนคิด (I_R) ($M = 0.822$, $SD = 0.042$) และองค์ประกอบการทำงานเป็นทีมด้านการตอบสนอง (T_Res) ($M = 0.820$, $SD = 0.009$) ตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม องค์ประกอบที่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ องค์ประกอบความคิดสร้างสรรค์ด้านการคาดการณ์ล่วงหน้า (C_A) ($M = 0.605$, $SD = 0.026$) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ตัวแปรสังเกตได้ทั้ง 60 ตัวแปร สามารถสะท้อนองค์ประกอบแฝงที่วัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงใน Figure 1 และ Table 3

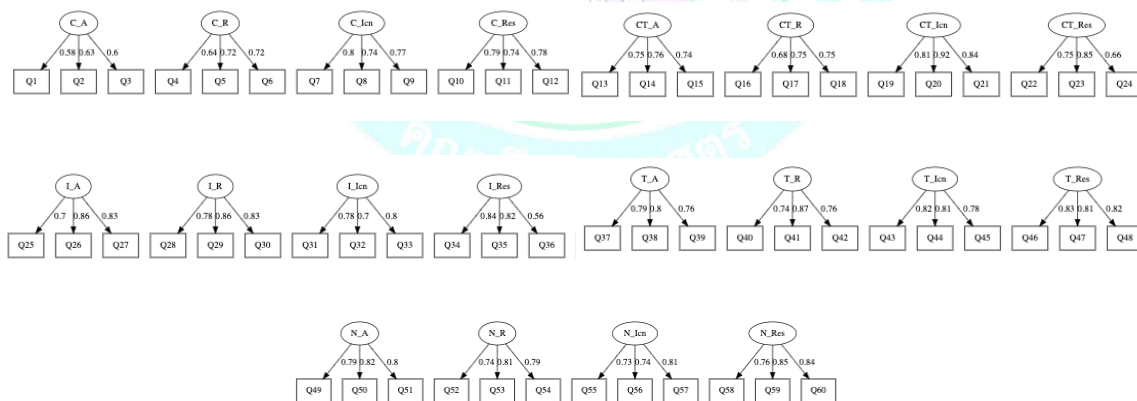


Figure 1 โมเดลการวัดสมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบพร้อมค่าน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐาน

จากการวิเคราะห์ความตรงเชิงผู้เข้า (Convergent Validity) พบว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่มีค่าความแปรปรวนเฉลี่ยที่สกัดได้ (AVE) มากกว่าหรือเท่ากับ 0.50 จำนวน 18 องค์ประกอบจากทั้งหมด 20 องค์ประกอบ (ร้อยละ 90) โดยมีค่า AVE อยู่ระหว่าง 0.367 ถึง 0.736 ($M = 0.599$, $SD = 0.080$) ซึ่งองค์ประกอบที่มีค่า AVE สูงที่สุดคือ องค์ประกอบการคิดเชิงวิพากษ์ด้านการมีส่วนร่วมเชิงไตร่ตรอง (CT_Icn) (AVE = 0.736) รองลงมาคือ องค์ประกอบความคิดริเริ่มด้านการสะท้อนคิด (I_R) (AVE = 0.677) และองค์ประกอบการทำงานเป็นทีมด้านการตอบสนอง (T_Res) (AVE = 0.672) ตามลำดับ สำหรับค่าความเชื่อมั่นเชิงประกอบ (CR) พบว่า มีจำนวน 19 องค์ประกอบที่มีค่า CR มากกว่าหรือเท่ากับ 0.70 (ร้อยละ 95) โดยมีค่า CR อยู่ระหว่าง 0.634 ถึง 0.893 ($M = 0.813$, $SD = 0.054$) ซึ่งองค์ประกอบที่มีค่า CR สูงที่สุดคือ

องค์ประกอบการคิดเชิงวิพากษ์ด้านการมีส่วนร่วมเชิงไตร่ตรอง (CT_Icn) (CR = 0.893) แสดงให้เห็นว่าโมเดลการวัดมีความเชื่อมั่นและความตรงเชิงสูงเข้าในระดับที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์ของ Fornell and Larcker (1981) และ Hair et al. (2019)

Table 3 คำนวณน้ำหนักองค์ประกอบเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนเฉลี่ยที่สกัดได้ และค่าความเชื่อมั่นเชิงประกอบ

องค์ประกอบ	ข้อ	M	SD	AVE	CR	ผลการประเมิน
C_A	Q1-Q3	0.605	0.026	0.367	0.634	ความตรงและความเชื่อมั่นต่ำกว่าเกณฑ์
C_R	Q4-Q6	0.695	0.044	0.484	0.737	มีความเชื่อมั่นดี แต่ความตรงต่ำกว่าเกณฑ์
C_Icn	Q7-Q9	0.770	0.028	0.593	0.814	ผ่านเกณฑ์
C_Res	Q10-Q12	0.770	0.023	0.594	0.814	ผ่านเกณฑ์
CT_A	Q13-Q15	0.750	0.012	0.562	0.794	ผ่านเกณฑ์
CT_R	Q16-Q18	0.726	0.038	0.528	0.770	ผ่านเกณฑ์
CT_Icn	Q19-Q21	0.857	0.053	0.736	0.893	ผ่านเกณฑ์
CT_Res	Q22-Q24	0.755	0.095	0.576	0.801	ผ่านเกณฑ์
I_A	Q25-Q27	0.796	0.083	0.639	0.840	ผ่านเกณฑ์
I_R	Q28-Q30	0.822	0.042	0.677	0.863	ผ่านเกณฑ์
I_Icn	Q31-Q33	0.759	0.048	0.577	0.803	ผ่านเกณฑ์
I_Res	Q34-Q36	0.742	0.138	0.567	0.792	ผ่านเกณฑ์
T_A	Q37-Q39	0.783	0.021	0.614	0.826	ผ่านเกณฑ์
T_R	Q40-Q42	0.791	0.068	0.629	0.835	ผ่านเกณฑ์
T_Icn	Q43-Q45	0.807	0.020	0.651	0.849	ผ่านเกณฑ์
T_Res	Q46-Q48	0.820	0.009	0.672	0.860	ผ่านเกณฑ์
N_A	Q49-Q51	0.806	0.015	0.650	0.848	ผ่านเกณฑ์
N_R	Q52-Q54	0.781	0.039	0.610	0.824	ผ่านเกณฑ์
N_Icn	Q55-Q57	0.759	0.039	0.578	0.804	ผ่านเกณฑ์
N_Res	Q58-Q60	0.818	0.047	0.670	0.859	ผ่านเกณฑ์

3. ความตรงเชิงจำแนกขององค์ประกอบแฝง

3.1 การวิเคราะห์ด้วยเกณฑ์ Fornell-Larcker Criterion

การวิเคราะห์ด้วยเกณฑ์ Fornell-Larcker criterion (Fornell & Larcker, 1981) พบว่า มีเพียง 55 คู่จากทั้งหมด 190 คู่ที่ผ่านเกณฑ์นี้ (ร้อยละ 28.9) โดยค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยระหว่างองค์ประกอบทั้งหมดเท่ากับ 0.803 (SD = 0.067, Min = 0.5, Max = 0.970) แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบต่างๆ มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง คู่องค์ประกอบที่มีค่าสหสัมพันธ์สูงที่สุดซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ Fornell-Larcker ส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบย่อยภายในสมรรถนะหลักเดียวกัน เช่น T_Icn กับ T_Res ($r = 0.891$, $\sqrt{AVE} = 0.807$ และ 0.820), N_Icn กับ N_Res ($r = 0.898$, $\sqrt{AVE} = 0.760$ และ 0.819), CT_Icn กับ T_Res ($r = .846$, $\sqrt{AVE} = 0.858$ และ 0.820), และ I_A กับ I_R ($r = 0.801$, $\sqrt{AVE} = 0.799$ และ 0.823)

3.2 การวิเคราะห์ด้วยเกณฑ์ HTMT

เกณฑ์ HTMT เป็นเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของเกณฑ์ Fornell-Larcker (Henseler et al., 2015) ผลการวิเคราะห์ค่า HTMT พบว่า ค่า HTMT เฉลี่ยของคู่องค์ประกอบทั้งหมดเท่ากับ 0.796 (SD = 0.090, Min = 0.568, Max = 0.973) โดยมี 168 คู่จาก 190 คู่ (ร้อยละ 88.4) ที่มีค่า HTMT น้อยกว่า 0.90 แสดงว่าโมเดลมีความตรงเชิงจำแนกในระดับที่ยอมรับได้ ผ่านเกณฑ์ที่ Henseler et al. (2015) กำหนดไว้ โดยคู่องค์ประกอบที่มีค่า HTMT สูงที่สุด 5 อันดับแรก

ได้แก่ C_Icn กับ C_Res (HTMT = 0.973), T_Icn กับ T_Res (HTMT = 0.966), N_Icn กับ N_Res (HTMT = 0.953), N_A กับ N_Icn (HTMT = 0.949) และ T_A กับ T_Res (HTMT = 0.935) และคู่องค์ประกอบที่มีค่า HTMT สูงกว่าหรือเท่ากับ 0.90 มีจำนวน 22 คู่ (ร้อยละ 11.6) ซึ่งจำเป็นต้องวิเคราะห์เชิงลึกเพื่อทำความเข้าใจสาเหตุของความสัมพันธ์ที่สูง ผู้วิจัยจึงจำแนกคู่องค์ประกอบเหล่านี้ออกเป็น 3 กลุ่ม ดังแสดงใน Table 4

Table 4 ตัวอย่างคู่องค์ประกอบที่มีค่า HTMT ≥ 0.90 จำแนกตามประเภทและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์

คู่ที่	คู่องค์ประกอบ	HTMT	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์
กลุ่มที่ 1: คู่องค์ประกอบภายในสมรรถนะเดียวกัน (Within-Competency Pairs 15 คู่)			
1	C_Icn – C_Res	0.973	ทั้งสององค์ประกอบใช้ทักษะความคิดสร้างสรรค์ร่วมกัน แต่แตกต่างกันในการแสดงออก มิติ Icn เน้นการเปิดรับข้อเสนอและใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย ส่วนมิติ Res เน้นการปรับแนวคิดตามหลักฐานใหม่ ความสัมพันธ์สูงเนื่องจากทั้งคู่ต้องการความยืดหยุ่นทางความคิด
8	T_A – T_Res	0.935	มิติ A เน้นการวางแผนและกำหนดบทบาท ส่วนมิติ Res เน้นการปรับตัวต่อสถานการณ์ใหม่ ความสัมพันธ์สูงเพราะทั้งคู่เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในทีม
11	T_Icn – T_Res	0.966	มิติ Icn เน้นการมีส่วนร่วมเชิงไตร่ตรอง ส่วนมิติ Res เน้นการตอบสนองและปรับตัว ทั้งคู่ต้องการความยืดหยุ่นและการโต้ตอบกับสมาชิกในทีมอย่างต่อเนื่อง
12	N_A – N_Icn	0.949	มิติ A เน้นการใช้เครือข่ายสำรวจแนวโน้มและทรัพยากรจากภายนอก ส่วนมิติ Icn เน้นการร่วมพัฒนากับภายนอก ทั้งคู่ต้องการทักษะการสร้างและรักษาความสัมพันธ์กับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียภายนอก
15	N_Icn – N_Res	0.953	มิติ Icn เน้นการร่วมออกแบบและทดลองกับบุคคลภายนอก ส่วนมิติ Res เน้นการเรียนรู้และปรับตัวจากความร่วมมือภายนอกอย่างต่อเนื่อง ทั้งคู่ต้องการการโต้ตอบกับภายนอกอย่างต่อเนื่องและยืดหยุ่น
กลุ่มที่ 2: องค์ประกอบข้ามสมรรถนะแต่เป็นมิติ RI เดียวกัน (Cross-Competency, Same Dimension 2 คู่)			
16	CT_Res – I_Res	0.922	ทั้งคู่เน้นการปรับเปลี่ยนและตอบสนองต่อข้อมูลหรือสถานการณ์ใหม่ มีความสัมพันธ์สูงเพราะต่างเป็นมิติ Responsiveness ที่ต้องการความยืดหยุ่นและการปรับตัว
17	T_R – N_R	0.907	ทั้งคู่เป็นมิติ Reflexivity ที่เน้นการสะท้อนคิดเกี่ยวกับความสัมพันธ์และการโต้ตอบกับผู้อื่น มีความสัมพันธ์สูงเพราะต่างเป็นทักษะทางสังคม
กลุ่มที่ 3: องค์ประกอบข้ามทั้งสมรรถนะและมิติ RI (Cross-Competency, Different Dimensions 5 คู่)			
18	C_Res – CT_Icn	0.906	ความคิดสร้างสรรค์ด้านการตอบสนองกับการคิดเชิงวิพากษ์ด้านการมีส่วนร่วมต่างใช้ทักษะการรับฟังและการปรับเปลี่ยนความคิดตามข้อมูลใหม่ ทั้งคู่ต้องการความเปิดกว้างทางความคิด
19	CT_A – I_R	0.904	การคิดเชิงวิพากษ์ด้านการคาดการณ์กับความริเริ่มด้านการสะท้อนคิดต่างเป็นกระบวนการคิดเชิงวิเคราะห์ก่อนการตัดสินใจ มีความสัมพันธ์สูงเพราะเป็นกระบวนการที่เกิดก่อนการลงมือทำ
22	I_Res – T_R	0.911	ความริเริ่มด้านการตอบสนองกับการทำงานเป็นทีมด้านการสะท้อนคิดต่างเน้นการปรับเปลี่ยนและการเรียนรู้จากประสบการณ์

อภิปราย และข้อเสนอแนะ

1. ความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์

ผลการวิเคราะห์พบว่า โมเดลการวัดที่บูรณาการสมรรถนะนวัตกรรม 5 ด้านตามกรอบแนวคิด FINCODA (Marín-García et al., 2016) เข้ากับมิติของนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบ (RI) 4 มิติของ Stilgoe et al. (2013) รวมเป็นโครงสร้าง 20 องค์ประกอบ มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ในระดับดีมาก (CFI = 0.995, TLI = 0.994, RMSEA = 0.049, SRMR = 0.045) สะท้อนให้เห็นว่าโมเดลสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้อย่างแม่นยำ และ

มีความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Hair et al., 2019) ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยในบริบทอุดมศึกษาของ Keinänen et al. (2018) ที่ตรวจสอบโมเดลสมรรถนะนวัตกรรมของนักศึกษามหาวิทยาลัยในฟินแลนด์ (CFI = 0.90, SRMR = 0.05, RMSEA = 0.06) และงานของ Ojo and Volkova (2023) ที่แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะนวัตกรรม 5 ด้านสามารถจำแนกนักศึกษาออกเป็นกลุ่มที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (CFI = 0.94, TLI = 0.93, RMSEA = 0.049) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมาเน้นศึกษาสมรรถนะนวัตกรรมหรือนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบแยกกันมากกว่าการบูรณาการเข้าด้วยกัน (Burget et al., 2017) การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นความพยายามสำคัญในการเชื่อมโยงทั้งสองกรอบแนวคิดให้เป็นกรอบแนวคิดเดียวกัน ซึ่งช่วยขยายขอบเขตของการวิจัยด้านสมรรถนะนวัตกรรมในมิติของจริยธรรมและความยั่งยืน

ความสอดคล้องของโมเดลในระดับสูงยังสะท้อนให้เห็นถึงลักษณะการแสดงออกของสมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบในบริบทชีวิตจริงของนักเรียน โดยทั้ง 20 องค์ประกอบมีความสัมพันธ์กันอย่างเป็นระบบ ไม่ได้ดำเนินไปอย่างแยกส่วน เช่น นักเรียนที่พัฒนาโครงการนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาชุมชนจำเป็นต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์ควบคู่กับการคาดการณ์ผลกระทบในอนาคต เพื่อพิจารณาทั้งผลที่ตั้งใจและไม่ตั้งใจ (C_A) รวมถึงต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์ร่วมกับการสะท้อนคิดเพื่อตรวจสอบค่านิยมและสมมติฐานของตนเอง (C_R) ในเวลาเดียวกัน นักเรียนต้องอาศัยการคิดเชิงวิพากษ์ร่วมกับการมีส่วนร่วมเชิงไตร่ตรองเพื่อรับฟังมุมมองที่หลากหลาย (CT_Icn) และมีความยืดหยุ่นในการปรับแนวคิดตามข้อมูลใหม่ที่ได้รับ (CT_Res) ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่านักเรียนไม่ได้แสดงสมรรถนะนวัตกรรมในเชิงเทคนิคเพียงอย่างเดียว แต่ยังผลานมิตินของความรับผิดชอบต่อสังคมและจริยธรรมเข้าไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Wiek et al. (2011) และ Stilgoe et al. (2013) ที่เสนอว่าการพัฒนาสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 ต้องบูรณาการทั้งมิติของ “ความสามารถเชิงปฏิบัติ” และ “ความรับผิดชอบต่อสังคม” เข้าด้วยกัน การที่โมเดลนี้แสดงค่าความสอดคล้องในระดับดีมาก จึงสะท้อนความเป็นไปได้ในการนำไปใช้เป็นกรอบสำหรับการออกแบบหลักสูตร การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ และการประเมินสมรรถนะเชิงนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของการพัฒนานวัตกรรมในศตวรรษที่ 21

2. ความตรงเชิงสู่เข้าและความเชื่อมั่นเชิงประกอบ

ผลการวิเคราะห์ความตรงเชิงสู่เข้าและความเชื่อมั่นเชิงประกอบของโมเดลการวัดสมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบ พบว่าตัวแปรสังเกตได้ทั้ง 60 ตัว มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานระหว่าง 0.565–0.916 ($M = 0.735$, $SD = 0.073$) ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนด (Hair et al., 2019) และทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 สะท้อนว่าตัวแปรแต่ละตัวสามารถสะท้อนองค์ประกอบแฝงที่วัดได้อย่างเหมาะสม ค่าเฉลี่ยของค่าน้ำหนักองค์ประกอบที่อยู่ในระดับสูงและมีความแปรปรวนต่ำ แสดงถึงความสม่ำเสมอของตัวชี้วัดและความเสถียรของโครงสร้างเชิงทฤษฎีโดยรวม องค์ประกอบที่มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยสูงที่สุดคือ “การคิดเชิงวิพากษ์ด้านการมีส่วนร่วมเชิงไตร่ตรอง (CT_Icn)” ซึ่งสะท้อนถึงความสำคัญของทักษะการรับฟัง วิเคราะห์ และสังเคราะห์ความคิดเห็นที่แตกต่างเพื่อการตัดสินใจอย่างมีเหตุผล ตัวอย่างเช่น ในการทำโครงการออกแบบนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม นักเรียนต้องรับฟังมุมมองของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่หลากหลาย ประเมินหลักฐานจากหลายแหล่งและหาข้อสรุปร่วมที่สอดคล้องต่อผลประโยชน์ของทุกฝ่าย ซึ่งเป็นกระบวนการที่สอดคล้องกับแนวคิดประชาธิปไตยแบบปรึกษาหารือ (deliberative democracy) ในบริบทของนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบที่เน้นการมีส่วนร่วมอย่างเท่าเทียม (Stilgoe et al., 2013; Rowe & Frewer, 2005)

สำหรับองค์ประกอบด้าน “ความคิดสร้างสรรค์ด้านการคาดการณ์ล่วงหน้า (C_A)” และ “ความคิดสร้างสรรค์ด้านการสะท้อนคิด (C_R)” พบว่ามีค่า AVE ต่ำกว่าเกณฑ์ 0.50 แต่มีค่า CR สูงกว่า 0.60 ซึ่งยังถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (Fornell & Larcker, 1981) ผลดังกล่าวสะท้อนถึงธรรมชาติของทักษะความคิดสร้างสรรค์ในบริบทของนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบ ซึ่งต้องบูรณาการทั้งจินตนาการเชิงสร้างสรรค์และการตระหนักรู้เชิงจริยธรรมอย่างลึกซึ้ง ในมิติของการคาดการณ์ล่วงหน้า ผู้เรียนจำเป็นต้องสามารถคาดการณ์ผลกระทบของนวัตกรรมทั้งที่ตั้งใจและไม่ตั้งใจ รวมถึงพิจารณาผลกระทบในระยะยาวต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม (Stilgoe et al., 2013) ขณะที่มิติการสะท้อนคิดมุ่งให้ผู้เรียนทบทวนและ

วิพากษ์ค่านิยม สมมติฐาน และอคติของตนเองที่มีอิทธิพลต่อการสร้างสรรค์นวัตกรรม (Stilgoe et al., 2013) ตัวอย่างเช่น เมื่อนักเรียนออกแบบนวัตกรรมเพื่อลดขยะพลาสติก พวกเขาไม่เพียงต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบเทคโนโลยี แต่ยังต้องสะท้อนคิดถึงสมมติฐานของตนเกี่ยวกับความยั่งยืน และใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ในการทบทวนและปรับกรอบความคิดเดิม ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดการสะท้อนคิดเชิงลึกระดับกรอบความคิด (second-order reflexivity) (Schuurbiers, 2011) ที่อ้างอิงบนทฤษฎีการสะท้อนคิดของ Schön (1992) และการเรียนรู้เพื่อการเปลี่ยนแปลงของ Mezirow (1991) ที่เน้นการเรียนรู้ผ่านการไตร่ตรองอย่างลึกซึ้งในระดับกรอบความคิด

สำหรับองค์ประกอบอื่น ๆ พบว่ามีค่า AVE และ CR ผ่านเกณฑ์ทั้งหมด โดยเฉพาะองค์ประกอบด้านการทำงานเป็นทีมและการสร้างเครือข่ายที่มีค่าสูง ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าผู้เรียนมีความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น ประสานงาน และสร้างความสัมพันธ์ที่เอื้อต่อการเรียนรู้ร่วมกัน ซึ่งเป็นทักษะที่พัฒนาได้จากการปฏิบัติจริงในชั้นเรียนและนอกห้องเรียนอย่างต่อเนื่อง ตามแนวคิดของ Katzenbach and Smith (1993) และ Salas et al. (2005) ที่ระบุว่าการทำงานเป็นทีมที่มีประสิทธิภาพเป็นทักษะที่สามารถพัฒนาได้ผ่านการปฏิบัติและการสะท้อนคิดร่วมกัน ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าแม้อิโมเดลจะมีความตรงและความเชื่อมั่นในระดับที่ยอมรับได้โดยรวม แต่ยังมีบางองค์ประกอบที่ต้องพัฒนาเพิ่มเติม โดยเฉพาะทักษะที่มีความซับซ้อนสูง เช่น ความคิดสร้างสรรค์ด้านการคาดการณ์ล่วงหน้าและการสะท้อนคิด การที่ทักษะเหล่านี้มีค่า AVE ต่ำกว่าเกณฑ์ไม่ได้หมายความว่าโมเดลมีปัญหา แต่สะท้อนให้เห็นถึงความท้าทายที่แท้จริงในการพัฒนานวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบ ครูและนักการศึกษาควรให้ความสำคัญและจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เฉพาะเจาะจงเพื่อพัฒนาทักษะเหล่านี้อย่างต่อเนื่อง โดยอาจต้องพิจารณาเพิ่มตัวชี้วัดหรือปรับวิธีการวัดให้เหมาะสมกับความซับซ้อนของทักษะ และควรจัดประสบการณ์การเรียนรู้ให้นักเรียนได้ฝึกฝนการคิดถึงผลกระทบในอนาคตและการสะท้อนคิดเกี่ยวกับค่านิยมและสมมติฐานของตนเองอย่างเป็นระบบ ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของ Kupper et al. (2015) และ Owen et al. (2013) ที่เน้นว่าการพัฒนามิติ RI ต้องการการออกแบบหลักสูตรและกิจกรรมการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นเฉพาะและต่อเนื่อง

3. ความตรงเชิงจำแนกขององค์ประกอบแฝง

การวิจัยครั้งนี้ใช้เกณฑ์ HTMT เป็นเกณฑ์หลักในการประเมินความตรงเชิงจำแนกของโมเดล เนื่องจากเกณฑ์นี้ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของเกณฑ์ Fornell-Larcker ที่ขาดความไวในการตรวจจับปัญหาความตรงเชิงจำแนก โดยเฉพาะในโมเดลที่มีความซับซ้อนและมีองค์ประกอบจำนวนมาก (Henseler et al., 2015) ผลการวิเคราะห์ความตรงเชิงจำแนกด้วยเกณฑ์ HTMT พบว่า 88.4% ขององค์ประกอบทั้งหมด (168 คู่จาก 190 คู่) มีค่า HTMT ต่ำกว่า 0.90 แสดงว่าโมเดลการวัดสมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบมีความตรงเชิงจำแนกในระดับที่ยอมรับได้ (Henseler et al., 2015) และได้รับการสนับสนุนจากข้อเสนอของ Franke and Sarstedt (2019) ที่มองว่าเกณฑ์ HTMT < 0.90 เหมาะสมกับโมเดลที่มีความซับซ้อนสูง เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ Fornell-Larcker พบว่ามีเพียง 28.9% ของคู่ที่ผ่านเกณฑ์ที่นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Marsh et al. (2009) ที่พบว่าโมเดล CFA ที่เข้มงวดเกินไปทำให้เกิดค่าสหสัมพันธ์ที่สูงเกินจริง (inflated correlations) โดยเฉพาะในโมเดลที่มีหลายมิติและมีโครงสร้างซ้อนกันหลายระดับ ดังนั้น การใช้ HTMT ซึ่งมีอำนาจจำแนกสูงกว่า จึงสะท้อนภาพความจำแนกได้ของโมเดลนี้ได้สมคูลและสมจริงมากกว่า

จากผลการวิเคราะห์เพิ่มเติม พบว่า ค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยระหว่างองค์ประกอบแฝงทั้งหมดอยู่ที่ 0.803 (SD = 0.067, Min = 0.580, Max = 0.970) และค่า HTMT เฉลี่ยอยู่ที่ 0.796 (SD = 0.090, Min = 0.568, Max = 0.973) ซึ่งถือว่าสูงตามเกณฑ์ทั่วไป (Hair et al., 2019) ค่าสหสัมพันธ์ในระดับสูงนี้ สะท้อนถึงลักษณะของโมเดลที่มีโครงสร้างแบบลำดับขั้นซึ่งองค์ประกอบย่อยทั้ง 20 องค์ประกอบล้วนเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างใหญ่ที่เชื่อมโยงกัน คือ “สมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบ” ดังนั้น การมีความแปรปรวนร่วม (shared variance) ระหว่างองค์ประกอบจึงเป็นไปตามธรรมชาติของโมเดล (Marsh et al., 2009) นอกจากนี้ ค่าสหสัมพันธ์ที่ค่อนข้างสูงยังแสดงลักษณะการบูรณาการของสมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบในบริบทการเรียนรู้จริง ซึ่งทักษะต่าง ๆ มักถูกใช้ร่วมกันและเสริมซึ่งกันและกัน เช่น ในการพัฒนาโครงงานนวัตกรรม นักเรียนต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์ การคิดเชิงวิพากษ์ การทำงานเป็นทีม และการตอบสนองต่อสถานการณ์อย่าง

บูรณาการ ไม่ได้ใช้เพียงทักษะเดียวอย่างแยกส่วน ลักษณะเช่นนี้สอดคล้องกับแนวคิดสมรรถนะแบบบูรณาการของ Villa Sánchez และ Poblete Ruiz (2008) ที่อธิบายว่าสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 เป็นผลรวมของความรู้ ทักษะ และเจตคติ ที่หลอมรวมกันอย่างต่อเนื่อง ไม่ใช่ความสามารถที่ดำเนินไปอย่างแยกส่วน

อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์พบว่ามีความสอดคล้องกันที่ค่า HTMT ≥ 0.90 จำนวน 22 คู่ (11.6%) ซึ่งผู้วิจัยจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มตามลักษณะความสัมพันธ์ ดังแสดงใน Table 4 ได้แก่ (1) คู่องค์ประกอบภายในสมรรถนะเดียวกันจำนวน 15 คู่ (68.2%) (2) คู่องค์ประกอบข้ามสมรรถนะแต่เป็นมิติ RI เดียวกัน จำนวน 2 คู่ (9.1%) และ (3) คู่องค์ประกอบข้ามทั้งสมรรถนะและมิติ RI จำนวน 5 คู่ (22.7%) การที่พบคู่องค์ประกอบ 22 คู่ที่มีค่า HTMT ≥ 0.90 ไม่ได้บ่งชี้ถึงปัญหาของโมเดล แต่สะท้อนความเป็นจริงในเชิงปฏิบัติว่าในสถานการณ์การเรียนรู้จริง ทักษะต่าง ๆ มักเกิดขึ้นพร้อมกันและเสริมซึ่งกันและกัน อย่างไรก็ตาม การที่คู่องค์ประกอบบางคู่มีค่า HTMT สูงมากกว่า 0.95 โดยเฉพาะคู่ภายในสมรรถนะเดียวกัน อาจสะท้อน latent overlap ระหว่างมิติ เช่น มิติการมีส่วนร่วมเชิงไตร่ตรองและการตอบสนอง ซึ่งควรได้รับการตรวจสอบเพิ่มเติมด้วยโมเดลที่มีโครงสร้างซับซ้อนกว่า เช่น second-order CFA หรือ bifactor model เพื่อแยกความแปรปรวนร่วมระดับสูงออกจากความแปรปรวนเฉพาะของแต่ละมิติได้อย่างแม่นยำ

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์เชิงลึกเพื่อทำความเข้าใจสาเหตุของความสัมพันธ์ที่สูงในแต่ละกลุ่ม ดังแสดงในตัวอย่าง Table 4 เช่น คู่องค์ประกอบที่มีค่า HTMT สูงภายในสมรรถนะเดียวกัน (เช่น C_Icn-C_Res = 0.973 และ T_Icn-T_Res = 0.966) สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีโครงสร้างแบบลำดับขั้น โดย Chen et al. (2006) อธิบายว่าในโมเดลแบบลำดับขั้น ตัวชี้วัดย่อยที่อยู่ภายใต้องค์ประกอบหลักเดียวกันย่อมมีความแปรปรวนร่วมสูง เนื่องจากมีรากฐานทางทฤษฎีร่วมกัน แต่ยังคงมีความแตกต่างเชิงหน้าที่เพียงพอที่จะคงสถานะเป็นองค์ประกอบย่อยที่แยกจากกันได้ กรณี C_Icn-C_Res ที่มีค่า HTMT สูงที่สุด (0.973) สอดคล้องกับแนวคิด Design thinking ที่ Brown (2008) และ Kelley and Kelley (2013) อธิบายว่ากระบวนการสร้างสรรค์นวัตกรรมที่มีประสิทธิภาพมักเป็นกระบวนการแบบวนซ้ำ (iterative process) ของการรับฟัง ทดสอบ และปรับปรุง โดยกระบวนการเหล่านี้จะวนซ้ำหลายรอบจนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ เช่น เมื่อนักเรียนออกแบบผลิตภัณฑ์จากวัสดุรีไซเคิล นักเรียนควรเริ่มจากการรับฟังความคิดเห็นของเพื่อนและผู้ใช้ (C_Icn) เช่น “วัสดุนี้อาจไม่ทนต่อแดดฝน” แล้วนำข้อเสนอแนะนั้นมาปรับปรุงแบบผลิตภัณฑ์ทันที (C_Res) เช่น เปลี่ยนวัสดุให้แข็งแรงขึ้นและทดสอบซ้ำ กระบวนการนี้สะท้อนการวนซ้ำ ที่ “รับฟัง ทดสอบ และปรับปรุง” ไปพร้อมกัน

คู่องค์ประกอบที่ข้ามสมรรถนะแต่เป็นมิติ RI เดียวกัน เช่น CT_Res-I_Res (0.922) สะท้อนบทบาทสำคัญของมิติการตอบสนอง ซึ่งหมายถึงความสามารถในการปรับเปลี่ยนแนวทางให้สอดคล้องกับคุณค่าของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและบริบทที่เปลี่ยนแปลง (Stilgoe et al., 2013) เช่น เมื่อนักเรียนวิเคราะห์ปัญหามลพิษทางน้ำ พวกเขาอาจต้องปรับข้อสรุปหรือแนวทางแก้ไขเมื่อได้รับข้อมูลใหม่ (CT_Res) หรือเมื่อริเริ่มโครงการรณรงค์แล้วพบข้อจำกัดด้านงบประมาณ ต้องปรับแผนดำเนินงานให้เหมาะสม (I_Res) แสดงว่าทักษะการตอบสนองทำหน้าที่เป็น “กลไกเชื่อมโยง” สมรรถนะต่าง ๆ ให้เกิดการปรับตัวเชิงสร้างสรรค์ตามสถานการณ์จริง ในลักษณะเดียวกัน คู่ที่ข้ามทั้งสมรรถนะและมิติ RI เช่น C_Res-CT_Icn (0.906) แสดงให้เห็นว่าความคิดสร้างสรรค์และการคิดเชิงวิพากษ์เป็นทักษะที่เสริมกันในกระบวนการแก้ปัญหาที่ซับซ้อน Cropley (2006) อธิบายว่าความคิดสร้างสรรค์ประกอบด้วยสององค์ประกอบที่ทำงานร่วมกัน คือ การสร้างความแปลกใหม่ผ่านการคิดแบบขยาย (divergent thinking) และการประเมินความแปลกใหม่ผ่านการคิดแบบบรรจบ (convergent thinking) ซึ่งความสามารถในการประเมินอย่างมีวิจารณญาณมีความเกี่ยวข้องกับการคิดเชิงวิพากษ์ ขณะที่งานวิจัยล่าสุด เช่น งานของ Qiang et al. (2018) พบว่า แนวโน้มในการคิดเชิงวิพากษ์ (critical thinking disposition) มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ (scientific creativity) ผ่านบทบาทการไกล่เกลี่ยของความเชื่อมั่นในความสามารถเชิงสร้างสรรค์ (creative self-efficacy) แสดงให้เห็นว่าทั้งสองทักษะสามารถทำงานร่วมกันและเสริมซึ่งกันและกันในการแก้ปัญหา เช่น เมื่อนักเรียนเสนอแนวคิด “ใช้โดรนเก็บข้อมูลคุณภาพอากาศ” พวกเขาได้รับความเห็นจากชุมชนว่า “กลัวโดรน

จะละเมิดความเป็นส่วนตัว” นักเรียนจึงใช้การคิดเชิงวิพากษ์ในการรับฟังและประเมินข้อกังวล (CT_Icn) แล้วใช้ความคิดสร้างสรรค์ในการปรับแนวคิด (C_Res) เช่น ออกแบบเส้นทางบินที่ปลอดภัยขึ้นหรือใช้โดรนเสียงเบา

การที่ยังมี 22 คู่ที่มีค่า HTMT ≥ 0.90 ไม่ได้สะท้อนความบกพร่องของโมเดล แต่สะท้อนธรรมชาติของสมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบซึ่งต้องทำงานแบบบูรณาการและเกิดร่วมกันจริงในชั้นเรียน โดยเฉพาะคู่ที่เกี่ยวกับการมีส่วนร่วมเชิงไตร่ตรองและการตอบสนอง ทั้งในด้านความคิดสร้างสรรค์และการทำงานเป็นทีม ในเชิงปฏิบัติ ครูและนักการศึกษาจึงควรออกแบบกิจกรรมที่ให้ผู้เรียน “เห็น-ใช้-บูรณาการ” ทักษะที่สัมพันธ์กันสูงเหล่านี้ไปพร้อมกัน เช่น กิจกรรมการออกแบบแบบวนซ้ำ (iterative design) ที่เริ่มจากการรับฟังผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (C_Icn, T_Icn) แล้วตามด้วยการปรับปรุงต้นแบบ (C_Res, T_Res) หรือกิจกรรมโครงงานที่ให้นักเรียนต้องปรับคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์หรือแผนการดำเนินการเมื่อได้รับข้อมูลใหม่ (CT_Res, I_Res) เพื่อให้รูปแบบข้อมูลเชิงประจักษ์ที่พบกลายเป็นจุดแข็งของการออกแบบหลักสูตร

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

แบบประเมินสมรรถนะนวัตกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อผู้วิจัยพัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือประเมินสมรรถนะและติดตามพัฒนาการของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยครูและผู้บริหารประเมินสมรรถนะเบื้องต้น ระบุจุดที่ต้องพัฒนาและวัดประสิทธิผลของกิจกรรมการเรียนรู้ได้ กรอบแนวคิด 20 องค์ประกอบสามารถเป็นแนวทางในการออกแบบหลักสูตรและกิจกรรมแบบบูรณาการ สถานศึกษาควรจัดอบรมครูเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือและการออกแบบกิจกรรมที่ส่งเสริมสมรรถนะแต่ละองค์ประกอบ และกรอบแนวคิดนี้ยังสามารถขยายผลไปใช้ในบริบทอื่นได้ เช่น ระดับการศึกษาอื่นหรือสาขาวิชาอื่น โดยปรับตัวอย่างให้เหมาะสมและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือใหม่

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่สองเพื่อตรวจสอบโครงสร้างแบบลำดับขั้น โดยกำหนดให้สมรรถนะหลัก 5 ด้านเป็น second-order factors ที่อธิบายความแปรปรวนร่วมของมิติ RI 4 ด้าน และใช้ Bifactor Model เพื่อแยกความแปรปรวนร่วมออกจากความแปรปรวนเฉพาะของแต่ละมิติ
2. ใช้ Multi-group Confirmatory Factor Analysis เพื่อทดสอบความคงที่ของการวัดข้ามกลุ่มย่อย เช่น ระหว่างเพศ ประเภทโรงเรียน หรือระดับประสบการณ์การแข่งขันโครงงาน เพื่อยืนยันว่าแบบวัดมีความเป็นธรรมและวัดโครงสร้างสมรรถนะเดียวกันในกลุ่มต่าง ๆ

References

- Andreu-Andrés, M.-À., García-Carbonell, A., González-Ladrón-de-Guevara, F. R., & Watts-Hooge, F. (2018). Contrasting Innovation Competence FINCODA Model in Software Engineering: Narrative Review. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 11(4), 715–734.
- Bardone, E., Burget, M., & Pedaste, M. (2023). The RRI map: making sense of responsible research and innovation in science education. *Journal of Responsible Innovation*, 10(1), Article 2198183.
- Beck, U. (1992). *Risk society: Towards a New Modernity* (M. Ritter, Trans.). London: Sage Publications.
- Brown, T. (2008). Design thinking. *Harvard Business Review*, 86(6), 84–92.
- Burget, M., Bardone, E., & Pedaste, M. (2017). Definitions and Conceptual Dimensions of Responsible Research and Innovation: A Literature Review. *Science and Engineering Ethics*, 23(1), 1–19.
- Butter, R., & van Beest, W. (2017). *Psychometric validation of a tool for Innovation Competencies Development and Assessment using a mixed-method design* (Research report). Utrecht: HU University of Applied Sciences Utrecht.

- Byrne, B. M. (2016). *Structural Equation Modeling With AMOS: Basic Concepts, Applications, and Programming* (3rd ed.). New York: Routledge.
- Charosky, G., Hassi, L., Papageorgiou, K. & Bragós, R. (2021). Developing innovation competences in engineering students: a comparison of two approaches. *European Journal of Engineering Education*, 47(2), 353–372.
- Chen, F. F., West, S. G., & Sousa, K. H. (2006). A Comparison of Bifactor and Second-Order Models of Quality of Life. *Multivariate Behavioral Research*, 41(2), 189–225.
- Cropley, A. (2006). In Praise of Convergent Thinking. *Creativity Research Journal*, 18(3), 391–404.
- Darsø, L. (2012). Innovation Competency—An Essential Organizational Asset. In S. Høyrup, M. Bonnafoos-Boucher, C. Hasse, M. Lotz, & K. Møller (Eds.), *Employee-Driven Innovation: A New Approach* (pp. 108–126). London: Palgrave Macmillan.
- Deppeler, J., & Aikens, K. (2020). Responsible innovation in school design – a systematic review. *Journal of Responsible Innovation*, 7(3), 573–597.
- European Commission. (2014). *Rome Declaration on Responsible Research and Innovation in Europe*. Retrieved from <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/rome-declaration-responsible-research-and-innovation-europe>
- European Commission. (2018). *Proposal for a Council recommendation on Key Competences for Lifelong Learning*. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52018DC0024>
- European Commission. (2025). *Horizon Europe*. Retrieved from https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en
- European Parliament & Council of the European Union. (2013). *Regulation (EU) No 1291/2013 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2013 establishing Horizon 2020—the framework programme for research and innovation (2014–2020) and repealing Decision No 1982/2006/EC*. *Official Journal of the European Union*, L347, 104–173.
- Floridi, L., Cows, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., Luetge, C., Madelin, R., Pagallo, U., Rossi, F., Schafer, B., Valcke, P., & Vayena, E. (2018). AI4People—An Ethical Framework for a Good AI Society: Opportunities, Risks, Principles, and Recommendations. *Minds and Machines*, 28(4), 689–707.
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39–50.
- Franke, G., & Sarstedt, M. (2019). Heuristics versus statistics in discriminant validity testing: A comparison of four procedures. *Internet Research*, 29(3), 430–447.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), Article e1700782.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Hampshire: Cengage Learning.
- Hamel, G. (2006). The why, what, and how of management innovation. *Harvard Business Review*, 84(2), 72–84.
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 43, 115–135.

- Jonas, H. (1984). *The Imperative of Responsibility: In Search of an Ethics for the Technological Age*. Chicago: University of Chicago Press.
- Katzenbach, J. R., & Smith, D. K. (1993). *The Wisdom of Teams: Creating the High-Performance Organization*. Massachusetts: Harvard Business School Press.
- Keinänen, M., & Kairisto-Mertanen, L. (2019). Researching learning environments and students' innovation competences. *Education + Training*, 61(1), 17–30.
- Keinänen, M., & Konst, T. (2024). Re-validating an Assessment Tool to Identify, Assess, and Develop Higher Education Students' Innovation Competence in Online Education. In W. W. K. Ma (Ed.), *Engaged learning and innovative teaching in higher education* (pp. 179–190). Cham: Springer.
- Keinänen, M., Ursin, J., & Nissinen, K. (2018). How to measure students' innovation competences in higher education: Evaluation of an assessment tool in authentic learning environments. *Studies in Educational Evaluation*, 58, 30–36.
- Kelley, T., & Kelley, D. (2013). *Creative confidence: Unleashing the creative potential within us all*. New York: Crown Business.
- Kline, R. B. (2023). *Principles and Practice of Structural Equation Modeling* (5th ed.). New York: The Guilford Press.
- Kupper, J. F. H., Klaassen, P., Rijnen, M. C. J. A., Vermeulen, S., & Broerse, J. E. W. (2015). *Report on the quality criteria of Good Practice Standards in RRI* (Research report). Amsterdam: Vrije Universiteit Amsterdam.
- Malagrida, R., Klaassen, P., Ruiz-Mallén, I., & Broerse, J. E. W. (2022). Towards competencies and methods to support Responsible Research and Innovation within STEAM secondary education – the case of Spain. *Research in Science & Technological Education*, 42(3), 678–698.
- Marín-García, J. A. (2018). Development and validation of Spanish version of FINCODA: an instrument for self-assessment of innovation competence of workers or candidates for Jobs. *WPOM–Working Papers on Operations Management*, 9(2), 182–215.
- Marín-García, J. A., Andreu-Andrés, M. Á., Atares-Huerta, L., Aznar-Mas, L. E., Garcia-Carbonell, A., González-Ladrón-de-Guevara, F., Montero-Fleta, B., Perez-Peñalver, M.J., & Watts, F. (2016). Proposal of a Framework for Innovation Competencies Development and Assessment (FINCODA). *WPOM–Working Papers on Operations Management*, 7(2), 119–126.
- Marín-García, J. A., González-Ladrón-de-Guevara, F., Garcia-Ortega, B., Santandreu-Mascarell, C., Atarés, L., Aznar-Mas, L. E., Fernandez Diego, M., Insfran, E., Mara Abrahao, S., & Juarez Tarraga, A. (2023). Protocol paper: Needs analysis for the development of innovation competence in higher education remote learning environments. *WPOM–Working Papers on Operations Management*, 14(2), 76–100.
- Marsh, H. W., Muthén, B., Asparouhov, T., Lüdtke, O., Robitzsch, A., Morin, A. J. S., & Trautwein, U. (2009). Exploratory Structural Equation Modeling, Integrating CFA and EFA: Application to Students' Evaluations of University Teaching. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 16(3), 439–476.
- Mezirow, J. (1991). *Transformative Dimensions of Adult Learning*. San Francisco: Jossey-Bass
- Muthén, L. K., & Muthén, B. O. (2017). *Mplus: Statistical Analysis with Latent Variables: User's Guide* (8th ed.). California: Muthén & Muthén.

- OECD. (2019). *OECD Future of Education and Skills 2030: OECD Learning Compass 2030*. Retrieved from https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/about/projects/edu/education-2040/1-1-learning-compass/OECD_Learning_Compass_2030_Concept_Note_Series.pdf
- Ojo, K. S., & Volkova, N.V. (2023). Modelling Innovation competence profiles: the empowering roles of self-monitoring and resilience. *BMC Psychology*, 11(1), Article 293.
- Office of the National Economic and Social Development Council. (2023). The Thirteenth Plan (2023-2027) The National Economic and Social Development Plan. Bangkok: Office of the Prime Minister. [in Thai]
- Owen, R., Macnaghten, P., & Stilgoe, J. (2012). Responsible research and innovation: From science in society to science for society, with society. *Science and Public Policy*, 39(6), 751–760.
- Owen, R., Stilgoe, J., Macnaghten, P., Gorman, M., Fisher, E., & Guston, D. (2013). A Framework for Responsible Innovation. In R. Owen, J. Bessant, & M. Heintz (Eds.), *Responsible Innovation: Managing the Responsible Emergence of Science and Innovation in society* (pp. 27–50). London: Wiley.
- Qiang, R., Han, Q., Guo, Y., Bai, J., & Karwowski, M. (2018). Critical Thinking Disposition and Scientific Creativity: The Mediating Role of Creative Self-Efficacy. *The Journal of Creative Behavior*, 54(1), 90–99.
- Rowe, G., & Frewer, L. J. (2005). A Typology of Public Engagement Mechanisms. *Science, Technology, & Human Values*, 30(2), 251–290.
- Salas, E., Sims, D. E., & Burke, C. S. (2005). Is there a “big five” in teamwork? *Small Group Research*, 36(5), 555–599.
- Schön, D. A. (1992). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. London: Routledge.
- Schuurbiers, D. (2011). What happens in the Lab: Applying Midstream Modulation to Enhance Critical Reflection in the Laboratory. *Science and Engineering Ethics*, 17(4), 769–788.
- Stilgoe, J., Owen, R., & Macnaghten, P. (2013). Developing a framework for responsible innovation. *Research Policy*, 42(9), 1568–1580.
- Tassone, V. C., O'Mahony, C., McKenna, E., Eppink, H. J., & Wals, A. E. J. (2018). (Re-)designing higher education curricula in times of systemic dysfunction: a responsible research and innovation perspective. *Higher Education*, 76, 337–352.
- Villa Sánchez, A., & Poblete Ruiz, M. (2008). *Competence-based learning: A proposal for the assessment of generic competences*. Bilbao: University of Deusto.
- von Schomberg, R. (2013). A Vision of Responsible Research and Innovation. In R. Owen, J. Bessant, & M. Heintz (Eds.), *Responsible Innovation: Managing the Responsible Emergence of Science and Innovation in Society* (pp. 51–74). London: Wiley.
- Watts, F., García-Carbonell, A., & Andreu-Andrés, M. A. (2013). *Innovation Competencies Development – INCODE Barometer and User Guide*. Turku: Turku University of Applied Sciences.
- Wickson, F., & Carew, A. L. (2014). Quality criteria and indicators for responsible research and innovation: learning from transdisciplinarity. *Journal of Responsible Innovation*, 1(3), 254–273.
- Wiek, A., Withycombe, L., & Redman, C. L. (2011). Key competencies in sustainability: A reference framework for academic program development. *Sustainability Science*, 6, 203–218.