

การสังเคราะห์รายวิชาคณิตศาสตร์จากโรงเรียน Magnet 8 แห่งในสหรัฐอเมริกา
เพื่อพัฒนาแนวคิดหลักสูตรเฉพาะทางคณิตศาสตร์ประยุกต์ของประเทศไทย
Synthesis of Mathematics Courses from Eight U.S. Magnet Schools for
Developing a Conceptual Framework of a Thai Applied Mathematics

เฉลิมศักดิ์ มาอยู่^{1,*}, สิรินาถ จงกลกลาง² และนัตยา ปิณฑานันท์³

Chalerm Sak Mayoo^{1,*}, Sirinat Jongkonklang² and Nataya Pilanthananond³

(Received: January 10, 2026; Revised: March 12, 2026; Accepted: March 12, 2026)

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงเอกสารนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์โครงสร้างรายวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ของโรงเรียน Magnet ที่เปิดสอน Program ด้านคณิตศาสตร์ในประเทศสหรัฐอเมริกา จำนวน 8 แห่งเพื่อนำไปพัฒนาเป็นกรอบแนวคิดสำหรับการออกแบบหลักสูตรคณิตศาสตร์ประยุกต์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายในบริบทของประเทศไทย ข้อมูลวิจัยได้จากการวิเคราะห์เอกสารเชิงลึก ได้แก่ Course catalog, Curriculum framework และคำอธิบายรายวิชาของโรงเรียนเป้าหมาย โดยใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหาและการจัดหมวดหมู่เชิงระบบ ร่วมกับการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลการสังเคราะห์โดยผู้ทรงคุณวุฒิด้านหลักสูตรและการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์

ผลการวิจัยพบว่า โครงสร้างรายวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ของโรงเรียน Magnet สามารถจัดกลุ่มได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ 1) กลุ่มคณิตศาสตร์บริสุทธิ์และขั้นสูง (Pure Mathematics Cluster) 2) กลุ่มคณิตศาสตร์บูรณาการ STEM/STEAM (Mathematics-STEM Integration Cluster) และ 3) กลุ่มคณิตศาสตร์ประยุกต์เชิงอาชีพและสหวิทยาการ (Applied and Interdisciplinary Mathematics Cluster) ซึ่งนำไปสู่การพัฒนา “Applied Mathematics Tri-Cluster Model” เป็นกรอบแนวคิดเชิงระบบสำหรับการออกแบบหลักสูตร นอกจากนี้ยังพบว่าการจัดลำดับรายวิชาในลักษณะ Spiral Curriculum ช่วยสะท้อนแนวโน้มที่เอื้อต่อการพัฒนาสมรรถนะการคิดเชิงวิเคราะห์

¹ นักศึกษาคณะศึกษาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา, นครราชสีมา 30000

Ph.D. Student in Curriculum and Instruction, Faculty of Education, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

* Corresponding author, e-mail: sab_chula@hotmail.com

² สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา, นครราชสีมา 30000

Curriculum and Instruction Program, Faculty of Education, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

³ สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร 10900

Curriculum and Instruction Program, Faculty of Education, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

การแก้ปัญหา และการเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับบริบทโลกจริง ผลการวิจัยสามารถใช้เป็นแนวทาง
เชิงนโยบายและเชิงปฏิบัติสำหรับการพัฒนาหลักสูตรคณิตศาสตร์ประยุกต์ในโรงเรียนเฉพาะทาง
และโรงเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายของประเทศไทย

คำสำคัญ: โรงเรียน Magnet, คณิตศาสตร์ประยุกต์, การสังเคราะห์หลักสูตร, STEM/STEAM,
รูปแบบ Tri-cluster

ABSTRACT

This documentary research aimed to analyze and synthesize the structures of applied mathematics courses offered in eight mathematics-focused Magnet Schools in the United States in order to develop a conceptual framework for designing an applied mathematics curriculum for upper secondary education in Thailand. The research data were collected through an in-depth document analysis of course catalogs, curriculum frameworks, and course descriptions from the selected schools. Content analysis and systematic categorization were employed, while the trustworthiness of the synthesized findings was verified by experts in curriculum studies and mathematics education.

The findings revealed that applied mathematics courses in Magnet Schools could be systematically categorized into three major clusters: 1) the Pure Mathematics Cluster, 2) the Mathematics–STEM/STEAM Integration Cluster, and 3) the Applied and Interdisciplinary Mathematics Cluster. These findings led to the development of the “Applied Mathematics Tri-Cluster Model” as a comprehensive conceptual framework for curriculum design. In addition, the spiral organization of courses across grade levels reflected an educational trend that may promote students’ analytical thinking, problem-solving abilities, and the application of mathematics in real-world contexts. The findings also provide both policy-level and practical implications for the development of applied mathematics curricula in specialized and general upper secondary schools in Thailand.

Keywords: Magnet school, Applied mathematics, Curriculum synthesis,
STEM/STEAM, Tri-cluster model

บทนำ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา การศึกษาสำหรับผู้มีความสนใจและความถนัดเฉพาะทาง (Specialized education) มีแนวโน้มเติบโตอย่างก้าวกระโดดทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งได้บ่มเพาะนวัตกรรมการศึกษาในรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า Magnet School สถาบันการศึกษาที่ออกแบบเพื่อ “ดึงดูด” นักเรียนที่มีศักยภาพเฉพาะด้าน เข้าสู่เส้นทางแห่งความเชี่ยวชาญตั้งแต่วัยมัธยมศึกษา (U.S. Department of Education, 2022, p. 14) โรงเรียนเหล่านี้มิได้เป็นเพียงศูนย์การเรียนรู้ที่มุ่งเน้นความรู้ลึกในสาขาวิชา หากแต่ทำหน้าที่เป็น “พื้นที่ทดลองนโยบายการศึกษา” (Policy laboratory) ที่รวมพลังของความคิดสร้างสรรค์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการเรียนรู้เชิงบูรณาการ เพื่อออกแบบระบบการเรียนรู้ใหม่ที่ตอบโจทย์โลกยุคข้อมูลและนวัตกรรม (National Center for Education Statistics (NCES), 2021, p. 7; National Council of Teachers of Mathematics (NCTM), 2020, p. 22)

ในบรรดาสาขาเฉพาะทางทั้งหลาย “คณิตศาสตร์” คือหัวใจของการคิดเชิงระบบ (Systems thinking) และเป็นภาษาสากลของการเข้าใจโลก Magnet Schools ระดับแนวหน้า เช่น Thomas Jefferson High School for Science and Technology (TJHSST), Montgomery Blair High School, และ Nikola Tesla STEM High School ล้วนยกระดับคณิตศาสตร์จาก “วิชาเรียน” สู่ “เครื่องมือแห่งการสร้างสรรค์” ที่เชื่อมโยงฟิสิกส์ วิศวกรรม ชีววิทยา เศรษฐศาสตร์ และศิลปะเข้าไว้ด้วยกันอย่างมีชีวิต (Fairfax County Public Schools, 2023, p. 31; Montgomery County Public Schools, 2023, p. 18; Lake Washington School District, 2023, p. 25) หลักสูตรของโรงเรียนเหล่านี้ครอบคลุมรายวิชาระดับสูง เช่น สมการเชิงอนุพันธ์ (Differential equations), คณิตศาสตร์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Mathematics), วิทยาการข้อมูล (Data science), ตัวแบบคณนา (Computational modeling), และ คณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบและสื่อ (Mathematics for design and media) ซึ่งสะท้อนแนวคิด “ทฤษฎี-เทคโนโลยี-สังคม” ที่บูรณาการเข้าด้วยกันอย่างเป็นพลวัต (NCTM, 2020, p. 45; U.S. Department of Education, 2022, p. 29)

ตรงกันข้ามกับบริบทของประเทศไทย แม้จะมีความพยายามพัฒนาหลักสูตรคณิตศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายมาอย่างต่อเนื่อง แต่ยังคงขาด “ต้นแบบหลักสูตรเฉพาะทางคณิตศาสตร์ประยุกต์” ที่สามารถเชื่อมโยงองค์ความรู้เชิงทฤษฎีกับการประยุกต์ใช้จริงในบริบทยุคข้อมูล (Data-driven era) และเศรษฐกิจนวัตกรรม (Innovation economy) ได้อย่างแท้จริง (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560, น. 42; สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2565, น. 55) ปัจจุบัน การเรียนการสอนคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่ยังคงแยกขาดจาก STEM และชีวิตจริง นักเรียน “รู้คณิตศาสตร์” แต่ยังไม่ “ใช้คณิตศาสตร์” เป็นเครื่องมือในการคิดเชิงระบบและสร้างสรรค์นวัตกรรม ด้วยประสบการณ์กว่า 20 ปีในฐานะครู

และนักพัฒนาหลักสูตร ผู้เขียนเห็นอย่างชัดเจนว่า “ช่องว่างสำคัญของการเรียนคณิตศาสตร์ไทย” คือ การขาดสะพานเชื่อมระหว่าง “การคิดเชิงทฤษฎี” และ “การประยุกต์ใช้ในโลกจริง” การเรียนคณิตศาสตร์จึงมักจำกัดอยู่ในกรอบของตำรา มากกว่าจะเชื่อมโยงกับโจทย์จริงของชีวิตและอุตสาหกรรม ทั้งที่คณิตศาสตร์คือเครื่องมือสำคัญของการคิดเชิงระบบ (Systemic reasoning) และการออกแบบนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st Century Learning, 2019, p. 11; NCTM, 2020, p. 52)

ดังนั้น บทความนี้จึงมุ่ง “เปิดโลกใหม่ของคณิตศาสตร์ไทย” ด้วยการศึกษาสังเคราะห์ข้อมูลจาก 8 Magnet Schools ในสหรัฐอเมริกา เพื่อวางรากฐานแนวคิดการพัฒนา หลักสูตรเฉพาะทางคณิตศาสตร์ประยุกต์ (Applied Mathematics magnet program) สำหรับประเทศไทย จุดมุ่งหมายคือการสร้างผู้เรียนให้เป็นนักคิดเชิงตรรกะ (Logical thinker) ผู้เข้าใจกลไกของคณิตศาสตร์อย่างลึกซึ้ง นักออกแบบเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical designer) ผู้ใช้คณิตศาสตร์สร้างสรรค์นวัตกรรม และนักนวัตกรรมข้อมูล (Data innovator) ผู้ใช้ข้อมูลเชิงวิเคราะห์พัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งอนาคต (Partnership for 21st Century Learning, 2019, p. 16; U.S. Department of Education, 2022, p. 33)

กล่าวโดยสรุป บทความนี้คือความพยายาม “คิดนอกกรอบของคณิตศาสตร์แบบดั้งเดิม” เพื่อพัฒนาแนวทางสู่ “คณิตศาสตร์ที่มีชีวิต” (Living Mathematics) คณิตศาสตร์ที่ไม่เพียงสอนให้ “คิดอย่างถูกต้อง” แต่สอนให้ “คิดอย่างนักสร้างสรรค์” และ “คิดเพื่อเปลี่ยนโลกจริง” (Bruner, 1977, p. 89; Tyler, 2013, p. 102) การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งสร้างภาพใหม่ของการศึกษาคณิตศาสตร์ไทย ที่หลอมรวมศาสตร์แห่งเหตุผลเข้ากับศาสตร์แห่งการออกแบบ ผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียน “เลือก เสาหา และสร้างสรรค์” ความรู้ด้วยตนเอง บนฐานของทฤษฎีหลักสูตรและสมรรถนะศตวรรษที่ 21 การสังเคราะห์แนวคิดจาก Magnet School ทั้ง 8 แห่งในสหรัฐอเมริกา จะทำหน้าที่เป็น “กระจกสะท้อน” และ “เข็มทิศ” ให้ประเทศไทยออกแบบหลักสูตรเฉพาะทางคณิตศาสตร์ประยุกต์ที่เชื่อมโยงระหว่างทฤษฎี–เทคโนโลยี–สังคมได้อย่างแท้จริง ด้วยเหตุนี้ บทความชิ้นนี้จึงมิได้เพียงนำเสนอกรอบแนวคิดเชิงหลักสูตร หากแต่เป็น “จุดเริ่มต้นของการปฏิรูปคณิตศาสตร์ไทย” สู่การเป็นพลังขับเคลื่อนนวัตกรรมแห่งอนาคต นวัตกรรมที่เริ่มต้นจากการคิดอย่างเป็นระบบ คิดอย่างมีข้อมูล และคิดอย่างมนุษย์ผู้สร้างสรรค์โลกใหม่ด้วยคณิตศาสตร์

วัตถุประสงค์การวิจัย

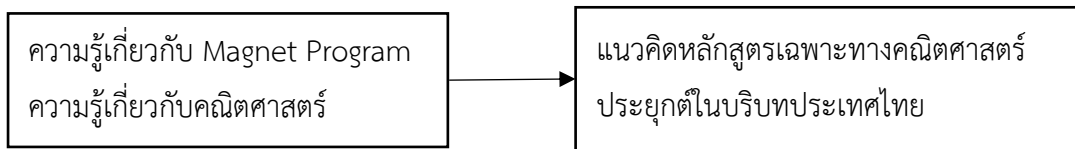
เพื่อสังเคราะห์รายวิชาคณิตศาสตร์จากโรงเรียน Magnet 8 แห่ง ในสหรัฐอเมริกา ในการพัฒนาแนวคิดหลักสูตรเฉพาะทางคณิตศาสตร์ประยุกต์ในบริบทประเทศไทย

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งสร้าง “กรอบแนวคิดหลักสูตรเฉพาะทางคณิตศาสตร์ประยุกต์ (Applied Mathematics magnet curriculum framework)” เพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาหลักสูตรสำหรับบริบทการศึกษาของประเทศไทยในศตวรรษที่ 21 โดยอาศัยการสังเคราะห์องค์ความรู้จากต้นแบบการจัดการศึกษาของ Magnet School ในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นระบบการศึกษาที่เน้นความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านและการเรียนรู้เชิงลึกทางคณิตศาสตร์

ผู้วิจัยได้ศึกษาทบทวนวรรณกรรมและข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ ทั้งเอกสาร ตำรา และเว็บไซต์ของโรงเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายในสหรัฐอเมริกาที่จัดการเรียนการสอน Magnet Program ด้านคณิตศาสตร์ประยุกต์ เพื่อศึกษารูปแบบการออกแบบหลักสูตรในด้านต่าง ๆ ได้แก่ คลังรายวิชา (Course repository): การจัดหมวดหมู่รายวิชา ชื่อรายวิชา และลำดับการเรียนรู้ (Prerequisite) ที่สะท้อนความต่อเนื่องเชิงโครงสร้างของความรู้, ลักษณะของ Magnet program: แนวคิดหลักสูตร (Curriculum philosophy) โครงสร้างรายวิชา (Curriculum structure) และแนวทางการจัดการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ที่บูรณาการกับศาสตร์อื่น เช่น วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม ศิลปะ และสังคมศาสตร์, รูปแบบการเขียนคำอธิบายรายวิชา (Course description design): การใช้ภาษาเชิงวิชาการ การระบุทักษะกระบวนการทางคณิตศาสตร์ (Process standards) และการเชื่อมโยงกับเทคโนโลยีและการประเมินผล, การบูรณาการความรู้ระหว่างศาสตร์ (Interdisciplinary integration): ศึกษาความสัมพันธ์ของคณิตศาสตร์กับคณิตศาสตร์ประยุกต์ สถิติ สถิติประยุกต์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ เศรษฐศาสตร์ และศาสตร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำความเข้าใจแนวทางการใช้คณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือเชื่อมโยงกับโลกจริง จากการศึกษาวิเคราะห์และทบทวนดังกล่าว ผู้วิจัยได้นำผลการสังเคราะห์ทั้งหมดมาพัฒนาเป็น กรอบแนวคิดหลักสูตรเฉพาะทางคณิตศาสตร์ประยุกต์ของประเทศไทย ที่เน้นการเชื่อมโยง “ทฤษฎี-เทคโนโลยี-สังคม” อย่างสมดุล โดยมีแนวคิดสำคัญว่า

“คณิตศาสตร์มิใช่เพียงศาสตร์แห่งการคำนวณ หากแต่เป็นระบบความคิดที่มีชีวิต (Mathematics as a living system of thinking) ซึ่งสามารถสร้างผู้เรียนให้เป็นนักคิดเชิงตรรกะ นักสร้างแบบจำลอง และนักนวัตกรรมข้อมูล” กรอบแนวคิดนี้จึงเป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนา “หลักสูตรเฉพาะทางคณิตศาสตร์ประยุกต์ตามบริบทของประเทศไทย” ที่สะท้อนทั้งความลึกทางทฤษฎีและความเชื่อมโยงกับชีวิตจริง พร้อมตอบโจทย์การพัฒนาผู้เรียนในยุคข้อมูลและนวัตกรรมอย่างแท้จริง



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นเป็นการวิจัยเชิงเอกสาร (Documentary research) โดยใช้ระเบียบวิธีการศึกษาวิเคราะห์เอกสาร เพื่อศึกษาลักษณะ แนวคิด และรูปแบบการจัดการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ในหลักสูตรเฉพาะทางของ Magnet school ในสหรัฐอเมริกา อันเป็นแนวทางในการพัฒนาแนวคิดหลักสูตรเฉพาะทางคณิตศาสตร์ประยุกต์สำหรับบริบทประเทศไทย

1. แหล่งข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

1.1 ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) ได้แก่ เว็บไซต์ทางการของ Magnet School ในสหรัฐอเมริกา จำนวน 8 แห่ง ซึ่งเปิดเผยข้อมูลหลักสูตร รายวิชา และแนวทางการจัดการเรียนรู้ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (High school) ที่เกี่ยวข้องกับการคณิตศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ หรือการบูรณาการศาสตร์อื่น ๆ

1.2 ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) ได้แก่ หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ปรับปรุง พ.ศ. 2560) เอกสาร งานวิจัย และบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนการสอนใน Magnet School และหลักสูตรคณิตศาสตร์ประยุกต์ รวมถึงกรอบแนวคิดทางหลักสูตรจากนักทฤษฎี เช่น Tyler (2013), Taba (1962), และ Oliva (2009)

2. เกณฑ์การคัดเลือกโรงเรียน

การคัดเลือกโรงเรียน Magnet program ด้านคณิตศาสตร์ที่ใช้เป็นกรณีศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ ใช้วิธีการคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกเชิงระบบเพื่อให้ได้กรณีศึกษาที่สะท้อนโครงสร้างรายวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์อย่างแท้จริง จำนวนทั้งสิ้น 8 แห่ง จากประเทศสหรัฐอเมริกา เกณฑ์การคัดเลือกประกอบด้วย 1) โรงเรียนต้องเป็นโรงเรียน Magnet หรือโรงเรียนเฉพาะทางที่มีความโดดเด่นด้านคณิตศาสตร์หรือ STEM อย่างเห็นทาง การ 2) มีการจัดโครงสร้างรายวิชาคณิตศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่แยกชัดเจนทั้งรายวิชาพื้นฐาน รายวิชาชั้นสูง และรายวิชาประยุกต์หรือบูรณาการสหวิทยาการ 3) มีเอกสารหลักสูตรและคำอธิบายรายวิชา (Course catalog หรือ Curriculum framework) ที่เผยแพร่ต่อสาธารณะ

อย่างครบถ้วนและต่อเนื่อง และ 4) มีรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเตรียมผู้เรียนสู่การศึกษาต่อหรือเส้นทางอาชีพด้านคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

โรงเรียน Magnet ที่ผ่านเกณฑ์ดังกล่าวได้รับการคัดเลือกให้เป็นกรณีศึกษาเชิงลึกเนื่องจากมีความหลากหลายทั้งในด้านบริบทการจัดการศึกษา รูปแบบการจัดกลุ่มรายวิชา และแนวทางการบูรณาการคณิตศาสตร์กับศาสตร์อื่น ซึ่งเอื้อต่อการสังเคราะห์โครงสร้างรายวิชาในเชิงระบบ ขณะเดียวกัน โรงเรียนที่มีลักษณะใกล้เคียงกันบางแห่งถูกตัดออกจากการศึกษาเนื่องจากมีข้อมูลเอกสารหลักสูตรไม่ครบถ้วน หรือมีการจัดรายวิชาที่เน้นเฉพาะคณิตศาสตร์เชิงทฤษฎีโดยไม่ปรากฏมิติของคณิตศาสตร์ประยุกต์อย่างชัดเจน การคัดเลือกกรณีศึกษาในลักษณะดังกล่าวช่วยให้ผลการสังเคราะห์มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย และสามารถนำไปใช้เป็นกรอบแนวคิดสำหรับการพัฒนาหลักสูตรคณิตศาสตร์ประยุกต์ในบริบทของประเทศไทยได้อย่างเหมาะสม

ตามเกณฑ์ดังกล่าว ผู้วิจัยคัดเลือกโรงเรียนจำนวน 8 แห่ง ได้แก่ Thomas Jefferson High School for Science and Technology, Montgomery Blair High School, Wheeler High School–Center for Advanced Studies, Nikola Tesla STEM High School, Van Nuys High School, William R. Boone High School, Mathematics, Science Research & Technology Magnet High School และ Wekiva High School ซึ่งล้วนเป็นต้นแบบสำคัญของการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ประยุกต์ในสหรัฐอเมริกา อันเป็นฐานข้อมูลสำหรับการสังเคราะห์แนวคิดหลักสูตรเฉพาะทางในบริบทประเทศไทย

3. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บข้อมูลดำเนินการโดยการค้นหาจากเว็บไซต์ทางการของ Magnet School โดยใช้คำสำคัญ (Keywords) ได้แก่ “Magnet Program,” “Applied Mathematics,” “STEM,” “STEAM,” “Interdisciplinary Mathematics,” และ “Mathematics Curriculum” เป็นต้น จากนั้นบันทึกข้อมูลภูมิหลังของโรงเรียน ชื่อ Magnet Program โครงสร้างหลักสูตร และตัวอย่างคำอธิบายรายวิชา (Course descriptions)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหา (Content analysis) 5 ขั้นตอน คือ 1) การเข้ารหัสแบบเปิด (Open coding) อ่านเอกสารทั้งหมดอย่างละเอียดเพื่อระบุหน่วยความหมายที่เกี่ยวข้องกับลักษณะรายวิชาและการจัดโครงสร้างหลักสูตร 2) การเข้ารหัสเชิงแกน (Axial coding) จัดกลุ่มรหัสที่มีความสัมพันธ์กัน เช่น รายวิชาที่เน้นทฤษฎีขั้นสูง รายวิชาที่บูรณาการ STEM และรายวิชาที่เน้นการประยุกต์เชิงอาชีพ 3) การสร้างหมวดหมู่ (Categorization) สังเคราะห์รหัสและกลุ่มย่อยเป็นหมวดหมู่หลักของรายวิชาคณิตศาสตร์ 4) การเปรียบเทียบข้ามกรณี (Cross-case

Comparison) เปรียบเทียบรูปแบบการจัดกลุ่มรายวิชาระหว่างโรงเรียนทั้ง 8 แห่ง เพื่อค้นหาประเด็นร่วมและแนวโน้ม และ 5) การสังเคราะห์เชิงแนวคิด (Conceptual synthesis) ยกระดับหมวดหมู่ที่ได้ถูกรวบแนวคิดเชิงระบบ ถูกสังเคราะห์เป็นกรอบแนวคิดหลักสูตรเฉพาะทางคณิตศาสตร์ประยุกต์ (Applied Mathematics magnet curriculum framework) ที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้ในบริบทประเทศไทย

5. การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

การวิจัยเอกสารครั้งนี้ให้ความสำคัญกับการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลการวิจัย (Trustworthiness) เพื่อเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของกระบวนการสังเคราะห์ข้อมูล โดยอาศัยกรอบแนวคิดด้านความน่าเชื่อถือของงานวิจัย ได้แก่ ความน่าเชื่อถือของข้อมูล (Credibility) ความคงเส้นคงวาของกระบวนการวิจัย (Dependability) และความสามารถในการตรวจสอบย้อนกลับ (Confirmability)

ในขั้นตอนการสังเคราะห์โครงสร้างรายวิชา ผู้วิจัยใช้วิธีการตรวจสอบข้อมูลแบบพหุวิธี (Methodological triangulation) โดยเปรียบเทียบข้อมูลจากเอกสารหลักสูตรหลายประเภท ได้แก่ Course catalog, Curriculum framework และคำอธิบายรายวิชา จากโรงเรียน Magnet แต่ละแห่ง เพื่อยืนยันความสอดคล้องของรูปแบบรายวิชาและแนวคิดการจัดหลักสูตร นอกจากนี้ยังใช้การตรวจสอบโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Expert validation) จำนวน 36 คน ซึ่งมีความเชี่ยวชาญด้านหลักสูตรและการสอน จำนวน 3 คน ด้านคณิตศาสตร์ศึกษา จำนวน 3 คน ด้านการจัดการเรียนรู้แบบ STEM/STEAM จำนวน 3 คน และด้านศาสตร์อื่นที่นำคณิตศาสตร์ไปใช้ จำนวน 27 คน เช่น กลุ่มสถาปัตยกรรมและการออกแบบและวิศวกรรมศาสตร์ จำนวน 3 คน กลุ่มวิทยาศาสตร์การกีฬา วิทยาการคอมพิวเตอร์ วิทยาการคณนา วิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์การแพทย์ และวิทยาศาสตร์ศึกษา จำนวน 6 คน กลุ่มคณิตศาสตร์บริสุทธิ์ คณิตศาสตร์ประยุกต์ สถิติ สถิติประยุกต์ บริหารธุรกิจ เศรษฐศาสตร์ การวิจัยดำเนินงาน และวิทยาการประกันภัย และการบริหารความเสี่ยง จำนวน 12 คน กลุ่ม สังคมศาสตร์ดนตรีและนาฏศิลป์ การสอนสังคมศึกษา นิเทศศาสตร์ นิเทศศิลป์ และการจัดการครัวและอุตสาหกรรมบริการ จำนวน 6 คน โดยผู้ทรงคุณวุฒิได้ร่วมพิจารณาความเหมาะสมของกรอบการจัดกลุ่มรายวิชา กระบวนการสังเคราะห์ และความสมเหตุสมผลของรูปแบบ Applied Mathematics Tri-Cluster Model โดยใช้แบบสอบถามแบบ Check list ในการแบ่งกลุ่ม ที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 คน

ผลการตรวจสอบจากผู้ทรงคุณวุฒิถูกนำมาปรับปรุงการจัดหมวดหมู่รายวิชา การกำหนดขอบเขตของแต่ละกลุ่ม และการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มรายวิชาในเชิงโครงสร้างอย่างเป็นระบบ เพื่อให้ผลการสังเคราะห์มีความชัดเจน สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และสามารถนำไปใช้เป็นกรอบแนวคิดในการพัฒนาหลักสูตรคณิตศาสตร์ประยุกต์ได้อย่างมีความน่าเชื่อถือ

ผลการวิจัย

ผลการสังเคราะห์ข้อมูลจากเอกสารหลักสูตรและคำอธิบายรายวิชาของโรงเรียน Magnet Program ด้านคณิตศาสตร์ จำนวน 8 แห่ง ในประเทศสหรัฐอเมริกา แสดงให้เห็นรูปแบบร่วมของการจัดโครงสร้างรายวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ที่มีความชัดเจนและเป็นระบบ แม้โรงเรียนแต่ละแห่งจะมีบริบทและแนวทางการจัดการศึกษาที่แตกต่างกัน แต่สามารถจำแนกรูปแบบรายวิชาออกเป็นกลุ่มหลักที่มีลักษณะร่วมกันได้ โดยแบ่งผลการวิจัยออกเป็น 2 ส่วน คือ ผลจากการสังเคราะห์เอกสาร (ข้อ 1-3) และผลการพัฒนาโมเดลเชิงแนวคิด (ข้อ 4)

1. โครงสร้างการจัดกลุ่มรายวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ ผลการวิเคราะห์เชิงเนื้อหาพบว่า รายวิชาคณิตศาสตร์ของโรงเรียน Magnet สามารถจัดกลุ่มได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ 1) กลุ่ม A คณิตศาสตร์บริสุทธิ์และขั้นสูง (Pure and Advanced Mathematics Cluster) ซึ่งมุ่งพัฒนาพื้นฐานทางคณิตศาสตร์เชิงลึกและความคิดเชิงนามธรรม เช่น แคลคูลัส พีชคณิตเชิงเส้น คณิตศาสตร์ไม่ต่อเนื่อง และการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ 2) กลุ่ม B คณิตศาสตร์บูรณาการ STEM/STEAM (Mathematics–STEM/STEAM Integration Cluster) ซึ่งเน้นการเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรม ผ่านกิจกรรมการสร้างแบบจำลอง การคำนวณเชิงคอมพิวเตอร์ และการวิเคราะห์ข้อมูล และ 3) กลุ่ม C คณิตศาสตร์ประยุกต์เชิงอาชีพและสหวิทยาการ (Applied and Interdisciplinary Mathematics Cluster) ซึ่งมุ่งการประยุกต์ใช้คณิตศาสตร์กับบริบทโลกจริงและเส้นทางอาชีพเฉพาะด้าน เช่น คณิตศาสตร์การเงิน การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงกีฬา คณิตศาสตร์สถาปัตยกรรม และปัญหาประดิษฐ์เบื้องต้น โดยหลักฐานเชิงประจักษ์แสดงการกระจายของประเภทรายวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์และจำนวนรายวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ตามคลัสเตอร์จากโรงเรียน Magnet ทั้ง 8 แห่ง ดังแสดงในตารางที่ 1-2 และ Applied Mathematics Tri-Cluster Model ดังแสดงภาพที่ 2

ตารางที่ 1 การกระจายของประเภทรายวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ตามคลัสเตอร์ในโรงเรียน Magnet จำนวน 8 แห่ง

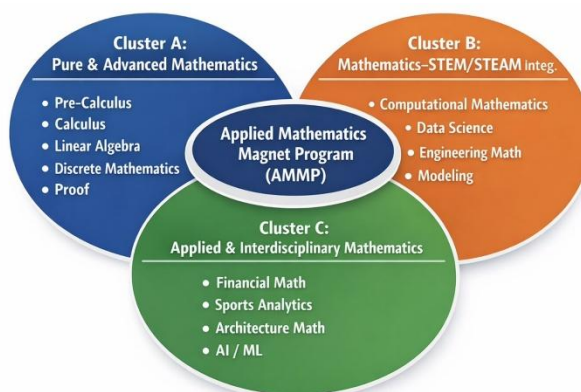
คลัสเตอร์รายวิชา	จำนวนโรงเรียน	ร้อยละ	ตัวอย่างรายวิชา
Pure & Advanced Mathematics Cluster	8	100.00	AP Calculus, Linear Algebra, Multivariable Calculus
Mathematics–STEM/STEAM Integration Cluster	7	87.50	Engineering Mathematics, Computational Mathematics, Robotics Mathematics
Applied and Interdisciplinary Mathematics Cluster	6	75.00	Financial Mathematics, Applied Statistics, Mathematical Modeling

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่ารายวิชาคณิตศาสตร์บริสุทธิ์และขั้นสูง เช่น AP Calculus, Linear Algebra และ Multivariable Calculus ปรากฏในโรงเรียนทั้ง 8 แห่ง สะท้อนบทบาทสำคัญของพื้นฐานเชิงทฤษฎีในโปรแกรม Magnet ขณะเดียวกัน รายวิชากลุ่มบูรณาการ STEM/STEAM พบใน 7 แห่ง และกลุ่มคณิตศาสตร์ประยุกต์เชิงอาชีพและสหวิทยาการพบใน 6 แห่ง แสดงแนวโน้มการเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับศาสตร์อื่นและบริบทโลกจริงอย่างเป็นระบบ ข้อค้นพบดังกล่าวสนับสนุนความเหมาะสมของการจัดรายวิชาเป็นสามคลัสเตอร์ และเป็นฐานสำคัญในการพัฒนา Applied Mathematics Tri-Cluster Model สำหรับการออกแบบหลักสูตรในบริบทประเทศไทย

ตารางที่ 2 จำนวนรายวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์รวม จำแนกตามคลัสเตอร์จากโรงเรียน Magnet จำนวน 8 แห่ง

คลัสเตอร์รายวิชา	จำนวนรายวิชา	ร้อยละของรายวิชา
Pure & Advanced Mathematics Cluster	92	43.00
Mathematics–STEM/STEAM Integration Cluster	71	33.18
Applied and Interdisciplinary Mathematics Cluster	51	23.82
รวม	214	100.00

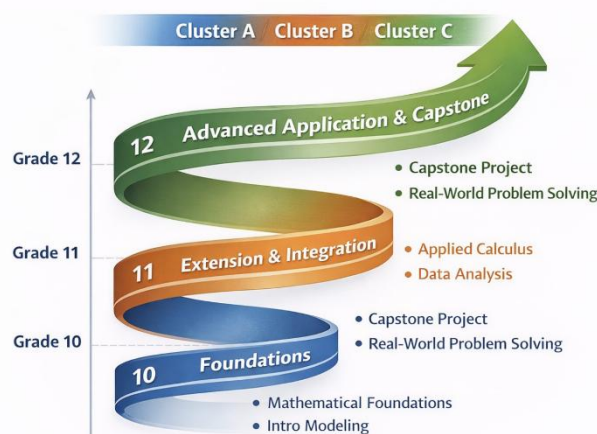
จากตารางที่ 2 แสดงจำนวนรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับคณิตศาสตร์ประยุกต์และคณิตศาสตร์ขั้นสูงซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้จากการสกัดและนับจำนวนรายวิชาจาก Course catalog และ Curriculum framework ของโรงเรียน Magnet ทั้ง 8 แห่ง รวมทั้งสิ้น 214 รายวิชา โดยพบว่ารายวิชาในกลุ่ม Pure & Advanced Mathematics มีจำนวนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 43.00 ของรายวิชาทั้งหมด รองลงมา คือ กลุ่ม Mathematics–STEM/STEAM Integration และกลุ่ม Applied and Interdisciplinary Mathematics ตามลำดับ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการให้ความสำคัญกับพื้นฐานเชิงทฤษฎีควบคู่กับการบูรณาการและการประยุกต์ใช้คณิตศาสตร์ในบริบทจริง



ภาพที่ 2 Applied Mathematics Tri-Cluster Model

2. ความเชื่อมโยงระหว่างกลุ่มรายวิชา ผลการสังเคราะห์ชี้ให้เห็นว่ากลุ่มรายวิชาทั้งสามมีความเชื่อมโยงเชิงโครงสร้างในลักษณะของระบบองค์รวม โดยกลุ่มคณิตศาสตร์บริสุทธิ์และขั้นสูงทำหน้าที่เป็นฐานความรู้สำคัญสำหรับกลุ่มบูรณาการ STEM/STEAM และกลุ่มคณิตศาสตร์ประยุกต์ ขณะที่กลุ่มบูรณาการ STEM/STEAM เชื่อมโยงทฤษฎีกับการประยุกต์ร่วมกับศาสตร์อื่น และกลุ่มคณิตศาสตร์ประยุกต์เชิงอาชีพและสหวิทยาการช่วยเสริมสร้างความหมายขององค์ความรู้ผ่านการใช้งานจริง ความเชื่อมโยงดังกล่าวเอื้อต่อการพัฒนาองค์ความรู้ทางคณิตศาสตร์อย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ความเข้าใจเชิงแนวคิดไปจนถึงความสามารถในการประยุกต์ใช้ และสะท้อนการจัดหลักสูตรที่มุ่งพัฒนาสมรรถนะผู้เรียนอย่างเป็นระบบ

3. รูปแบบการจัดลำดับรายวิชาแบบ Spiral curriculum ผลการวิจัยยังพบว่า โรงเรียน Magnet ส่วนใหญ่ใช้แนวคิด Spiral curriculum เป็นกรอบในการจัดลำดับรายวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ โดยออกแบบให้ผู้เรียนเริ่มจากการพัฒนาความรู้และทักษะพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ในระดับต้นของมัธยมศึกษาตอนปลาย จากนั้นจึงค่อย ๆ ขยายขอบเขตของเนื้อหาไปสู่การเชื่อมโยงแนวคิดทางคณิตศาสตร์กับศาสตร์อื่น และการประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ที่มีความซับซ้อนมากขึ้นในระดับขั้นที่สูงขึ้น ก่อนที่จะพัฒนาไปสู่รายวิชาขั้นสูงหรือรายวิชาเชิงโครงการแบบบูรณาการ (Capstone project) ในช่วงท้ายของหลักสูตรดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 Spiral Curriculum Structure of Applied Mathematics (Grades 10-12)

4. การพัฒนาโมเดลเชิงแนวคิด จากผลการจัดกลุ่มและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของรายวิชา ผู้วิจัยได้พัฒนา Applied Mathematics Tri-Cluster Model เพื่อเป็นกรอบแนวคิดเชิงระบบสำหรับการออกแบบหลักสูตรคณิตศาสตร์ประยุกต์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โมเดลดังกล่าวสะท้อนแนวคิดการจัดหลักสูตรของโรงเรียน Magnet ที่มุ่งพัฒนาผู้เรียนให้มีทั้งความรู้เชิงทฤษฎี ความสามารถในการบูรณาการข้ามศาสตร์ และทักษะการประยุกต์ใช้คณิตศาสตร์ในบริบทจริง

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเชิงเอกสารครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์โครงสร้างรายวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ของโรงเรียน Magnet ด้านคณิตศาสตร์ในประเทศสหรัฐอเมริกา จำนวน 8 แห่ง ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า โรงเรียน Magnet มีการจัดโครงสร้างรายวิชาคณิตศาสตร์อย่างเป็นระบบ โดยสามารถจำแนกรายวิชาออกเป็นสามกลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มคณิตศาสตร์บริสุทธิ์และขั้นสูง กลุ่มคณิตศาสตร์บูรณาการ STEM/STEAM และกลุ่มคณิตศาสตร์ประยุกต์เชิงอาชีพและสหวิทยาการ ซึ่งสะท้อนแนวคิดการจัดหลักสูตรที่มุ่งพัฒนาผู้เรียนอย่างรอบด้าน ทั้งด้านองค์ความรู้ การบูรณาการข้ามศาสตร์ และการประยุกต์ใช้ในบริบทโลกจริง

นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นว่า การจัดลำดับรายวิชาในลักษณะ Spiral curriculum มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาสมรรถนะการคิดเชิงวิเคราะห์ การแก้ปัญหา และการเรียนรู้เชิงลึกของผู้เรียนในระยะยาว จากผลการสังเคราะห์ดังกล่าว ผู้วิจัยได้พัฒนา Applied Mathematics Tri-Cluster Model เพื่อเป็นกรอบแนวคิดเชิงระบบสำหรับการออกแบบหลักสูตรคณิตศาสตร์ประยุกต์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาหลักสูตรเฉพาะทาง รายวิชาเลือก หรือหลักสูตรสถานศึกษา ให้สอดคล้องกับบริบทการศึกษาไทยและการพัฒนากำลังคนในศตวรรษที่ 21

อภิปรายผล

ผลการวิจัยที่พบว่าโครงสร้างรายวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ของโรงเรียน Magnet สามารถจัดกลุ่มออกเป็นสามคลัสเตอร์หลัก ได้แก่ กลุ่มคณิตศาสตร์บริสุทธิ์และขั้นสูง กลุ่มคณิตศาสตร์บูรณาการ STEM/STEAM และกลุ่มคณิตศาสตร์ประยุกต์เชิงอาชีพและสหวิทยาการ สะท้อนลักษณะของการออกแบบหลักสูตรที่มีความสมดุลระหว่างความลุ่มลึกทางทฤษฎี การบูรณาการข้ามศาสตร์ และการประยุกต์ใช้ในบริบทโลกจริง ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการออกแบบหลักสูตรเชิงระบบ (Systems approach) ที่มองหลักสูตรเป็นองค์รวมขององค์ประกอบที่เชื่อมโยงกันอย่างมีความหมาย (Oliva, 2009)

การให้ความสำคัญกับกลุ่มคณิตศาสตร์บริสุทธิ์และขั้นสูงในสัดส่วนสูงสุดสะท้อนบทบาทของพื้นฐานเชิงทฤษฎีในฐานะโครงสร้างหลักของโปรแกรม Magnet ด้านคณิตศาสตร์ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการกำหนดจุดมุ่งหมายเชิงวิชาการของ Tyler (2013) และแนวคิด Spiral curriculum ของ Bruner (1977) ที่เสนอให้ผู้เรียนได้เรียนรู้แนวคิดสำคัญซ้ำในระดับที่ลึกและซับซ้อนมากขึ้นตามลำดับชั้นปี

ในขณะเดียวกัน การปรากฏของกลุ่มคณิตศาสตร์บูรณาการ STEM/STEAM ในโรงเรียนส่วนใหญ่สะท้อนแนวโน้มของการออกแบบหลักสูตรร่วมสมัยที่มุ่งพัฒนาผู้เรียนให้สามารถเชื่อมโยงความรู้ทางคณิตศาสตร์กับศาสตร์อื่นเพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อน ซึ่งสอดคล้องกับกรอบแนวคิดการศึกษา

ศตวรรษที่ 21 และแนวคิดการพัฒนาสมรรถนะผู้เรียนตาม OECD Learning Compass 2030 (Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2019)

ผลการวิจัยยังชี้ให้เห็นว่า กลุ่มคณิตศาสตร์ประยุกต์เชิงอาชีพและสหวิทยาการมีบทบาทสำคัญในการเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับเส้นทางอาชีพและบริบทโลกจริง เช่น การเงิน วิศวกรรม และวิทยาการข้อมูล ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอของ National Council of Teachers of Mathematics ที่เน้นการพัฒนาหลักสูตรคณิตศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาที่เชื่อมโยงกับปัญหาและบริบทจริง (NCTM, 2020)

เมื่อพิจารณาเชื่อมโยงกับหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ปรับปรุง พ.ศ. 2560) จะเห็นได้ว่า สารการเรียนรู้ของไทยมีโครงสร้างพื้นฐานที่สามารถรองรับการพัฒนาแนวทางดังกล่าวได้อยู่แล้ว (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560) อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยชี้ให้เห็นโอกาสในการต่อยอดจากโครงสร้างเดิมไปสู่การจัดกลุ่มรายวิชาและเส้นทางการเรียนรู้ที่ชัดเจนยิ่งขึ้นในลักษณะเดียวกับ Tri-Cluster Model โดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงหลักสูตรแกนกลางทั้งระบบ หากแต่เป็นการพัฒนาโปรแกรมเฉพาะทางภายใต้กรอบหลักสูตรเดิม ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเชื่อมโยงโครงสร้างรายวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์จากโรงเรียน Magnet กับหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ปรับปรุง พ.ศ. 2560)

กลุ่มรายวิชาจาก Tri-Cluster Model	ลักษณะรายวิชา ในโรงเรียน Magnet	สาระ/มาตรฐาน ในหลักสูตรแกนกลาง 2551 (ปรับปรุง 2560)	ประเด็น ที่ควรพัฒนาเพิ่มเติม
Cluster A: Pure & Advanced Mathematics	Calculus, Linear Algebra, Discrete Mathematics, Mathematical Proof	สาระที่ 1 จำนวนและพีชคณิต สาระที่ 2 การวัดและเรขาคณิต สาระที่ 3 สถิติและความน่าจะเป็น และสาระแคลคูลัส	หลักสูตรไทยยังเน้น ระดับพื้นฐาน ขาดรายวิชาขั้นสูง เชิงโครงสร้าง และการพิสูจน์
Cluster B: Mathematics– STEM/STEAM Integration	Mathematical Modeling, Computational Math, Data Science, Engineering Math	สาระที่ 1 จำนวนและพีชคณิต สาระที่ 2 การวัดและเรขาคณิต สาระที่ 3 สถิติและความน่าจะเป็น และสาระแคลคูลัส	การบูรณาการ ยังไม่เป็นรายวิชา เฉพาะ ขาดโครงสร้าง รายวิชาเชิงระบบ

ตารางที่ 3 (ต่อ)

กลุ่มรายวิชาจาก Tri-Cluster Model	ลักษณะรายวิชา ในโรงเรียน Magnet	สาระ/มาตรฐาน ในหลักสูตรแกนกลาง 2551 (ปรับปรุง 2560)	ประเด็น ที่ควรพัฒนา เพิ่มเติม
Cluster C: Applied & Interdisciplinary Mathematics	Financial Mathematics, Sports Analytics, Architecture Math, AI/ML	สาระที่ 1 จำนวนและพีชคณิต สาระที่ 2 การวัดและเรขาคณิต สาระที่ 3 สถิติและความน่าจะเป็น และสาระแคลคูลัส	ยังไม่มีรายวิชา คณิตศาสตร์ ประยุกต์เชิงอาชีพ อย่างชัดเจนใน หลักสูตรแกนกลาง

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างรายวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ของโรงเรียน Magnet ในสหรัฐอเมริกามีความสอดคล้องกับสาระและมาตรฐานการเรียนรู้ของหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ปรับปรุง พ.ศ. 2560) ในระดับแนวคิด อย่างไรก็ตาม หลักสูตรแกนกลางของประเทศไทยยังขาดการจัดรายวิชาเฉพาะด้านคณิตศาสตร์ประยุกต์และการบูรณาการเชิงลึกในระดับโครงสร้างรายวิชา โดยเฉพาะรายวิชาที่เชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับบริบทอาชีพ เทคโนโลยี และปัญหาเชิงซับซ้อนในโลกจริง ผลการสังเคราะห์ครั้งนี้จึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาหลักสูตรคณิตศาสตร์ประยุกต์เชิงโครงสร้างสำหรับโรงเรียนเฉพาะทางและโรงเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายในประเทศไทย

โดยสรุป ผลการวิจัยสนับสนุนว่า “Applied Mathematics Tri-Cluster Model” สามารถทำหน้าที่เป็นกรอบแนวคิดเชิงระบบสำหรับการออกแบบหลักสูตรคณิตศาสตร์ประยุกต์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายในประเทศไทย ซึ่งมีศักยภาพในการเชื่อมโยงระหว่างความถนัดทางทฤษฎี การบูรณาการข้ามศาสตร์ และการประยุกต์ใช้ในบริบทจริงเข้าด้วยกันอย่างสมดุล

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะจากการวิจัยในครั้งนี้

1.1 เรื่องการจำแนก 3 คลัสเตอร์รายวิชา เนื่องจากผลการวิจัยพบว่าโครงสร้างรายวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์สามารถจัดกลุ่มออกเป็นสามคลัสเตอร์หลัก ได้แก่ กลุ่มคณิตศาสตร์บริสุทธิ์และขั้นสูง กลุ่มคณิตศาสตร์บูรณาการ STEM/STEAM และกลุ่มคณิตศาสตร์ประยุกต์เชิงสหวิทยาการ จึงเสนอให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องพัฒนา “คลังรายวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ (Applied Mathematics repository)” ในลักษณะคลังกลาง เพื่อรวบรวมรายวิชาในแต่ละคลัสเตอร์อย่างเป็นระบบ และเปิดโอกาสให้โรงเรียนสามารถเลือกใช้และปรับบริบทได้ตามความเหมาะสม

1.2 เรื่องความสำคัญของการบูรณาการข้ามศาสตร์ ผลการวิจัยที่พบว่ารายวิชากลุ่ม Mathematics-STEM/STEAM Integration ปรากฏในโรงเรียนส่วนใหญ่ ชี้ให้เห็นความสำคัญของการเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับศาสตร์อื่น ดังนั้นควรส่งเสริมการสร้างเครือข่ายความร่วมมือระหว่างโรงเรียน มหาวิทยาลัย และภาคอุตสาหกรรม เพื่อสนับสนุนการจัดการเรียนรู้และโครงการเชิงบูรณาการที่ใช้คณิตศาสตร์เป็นฐาน

1.3 เรื่องบทบาทของครูในการจัดรายวิชาเชิงประยุกต์ เนื่องจากโครงสร้างรายวิชาในกลุ่ม B และ C ต้องอาศัยทักษะด้าน Computational modeling, Data literacy และการสอนเชิงสหวิทยาการ จึงควรสนับสนุนการพัฒนาครูคณิตศาสตร์ในด้านดังกล่าว เพื่อยกระดับบทบาทของครูจากผู้ถ่ายทอดเนื้อหาไปสู่ผู้ออกแบบการเรียนรู้

1.4 เรื่องแนวโน้มการจัดลำดับรายวิชาแบบ Spiral curriculum ควรปรับระบบการวัดและประเมินผลให้สอดคล้องกับการพัฒนาสมรรถนะอย่างต่อเนื่อง โดยเน้นการประเมินตามสภาพจริง เช่น แฟ้มสะสมงาน ภาระงานเชิงปฏิบัติ และโครงการ เพื่อสะท้อนความก้าวหน้าของผู้เรียนในระยะยาว

1.5 เรื่องศักยภาพของ Tri-Cluster Model ในการเป็นกรอบแนวคิดเชิงระบบ ควรพัฒนากลไกความร่วมมือระหว่างโรงเรียนและมหาวิทยาลัยในการจัดรายวิชาขั้นสูงหรือรายวิชาที่สามารถเทียบโอนหน่วยกิตได้ เพื่อสร้างเส้นทางการเรียนรู้ต่อเนื่องระหว่างระดับมัธยมศึกษาและอุดมศึกษา

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงเอกสารโดยใช้ข้อมูลจากเว็บไซต์และเอกสารสาธารณะของโรงเรียน Magnet เท่านั้น จึงยังไม่มีข้อมูลจากการสังเกตชั้นเรียน การสัมภาษณ์ครูและนักเรียน หรือการทดลองใช้โมเดลในสถานศึกษาจริง นอกจากนี้ การวิเคราะห์มุ่งเน้นที่โครงสร้างรายวิชาเป็นหลัก ยังไม่ได้ศึกษาผลลัพธ์การเรียนรู้ของผู้เรียนหรือประสิทธิผลของการจัดการเรียนรู้เชิงลึกในแต่ละคลัสเตอร์ จากข้อจำกัดดังกล่าว ควรมีการวิจัยในประเด็นต่อไปนี้

2.1 การพัฒนาและทดลองใช้หลักสูตรต้นแบบ Applied Mathematics Magnet Program ในโรงเรียนไทย

2.2 การศึกษาผลกระทบของการเรียนรายวิชาในกลุ่ม B และ C ต่อสมรรถนะผู้เรียน

2.3 การพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวัดสมรรถนะด้าน Mathematical modeling และ Data analytics

2.4 การวิจัยรูปแบบระบบพี่เลี้ยงหรือการสอนร่วมเชิงสหวิทยาการ

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560): กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2565). *กรอบสมรรถนะผู้เรียนระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน (ฉบับปรับปรุง)*. กรุงเทพฯ: กระทรวงศึกษาธิการ.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2560). *คู่มือการใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย*. กรุงเทพฯ: สสวท. สืบค้นเมื่อ 18 กุมภาพันธ์ 2569, จาก <https://www.scimath.org/e-books/8379/8379.pdf>
- Bruner, J. S. (1977). *The process of education* (2nd ed.). England: Harvard University Press.
- Fairfax County Public Schools. (2023). *TJHSST curriculum guide 2023-2024*. Retrieved February 23, 2025, from <https://tjhsst.fcps.edu/academics/curriculum-guide>
- Lake Washington School District. (2023). *Nikola Tesla STEM high school course catalog 2023-2024*. Retrieved February 23, 2025, from <https://tesla.lwsd.org/academics>
- Montgomery County Public Schools. (2023). *Blair magnet program course catalog 2023-2024*. Retrieved February 23, 2025, from <https://mbhs.edu/departments/magnet>
- National Center for Education Statistics (NCES). (2021). *Report on the condition of education 2021* (NCES 2021-144). Retrieved February 23, 2025, from <https://nces.ed.gov/pubsearch/pubsinfo.asp?pubid=2021144>
- National Council of Teachers of Mathematics (NCTM). (2020). *Catalyzing change in high school mathematics: Initiating critical conversations*. New York: NCTM Press.
- Oliva, P. F. (2009). *Developing the curriculum* (7th ed.). Boston: Allyn & Bacon.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2019). *OECD learning compass 2030*. Paris: OECD Publishing.
- Partnership for 21st Century Learning. (2019). *Framework for 21st century learning*. Washington: Battelle for Kids.
- Taba, H. (1962). *Curriculum development: Theory and practice*. New York: Harcourt Brace.

Tyler, R. W. (2013). *Basic principles of curriculum and instruction*. Chicago: University of Chicago Press.

U.S. Department of Education. (2022). *Magnet Schools Assistance Program (MSAP): Program overview*. Retrieved February 23, 2025, from <https://oese.ed.gov/offices/msap>