



การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบแบบจำลองถดถอยในการพยากรณ์กำลังอัดของคอนกรีต กำลังอัดของคอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำแม่เหล็กและน้ำประปาโดยใช้เทคนิคการแปลงข้อมูล เพื่อให้ใกล้เคียงการแจกแจงแบบปกติ

ธนภัทร มะณีแสง¹ ณัฐพล ภูระหงษ์^{2*} สุธิรา เบญจานุกรม³

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง¹

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์^{2*3}

อีเมล : nuttapon_sam@hotmail.com^{2*}

วันที่รับบทความ 27 สิงหาคม 2568

วันแก้ไขบทความ 29 ตุลาคม 2568

วันตอบรับบทความ 10 พฤศจิกายน 2568

บทคัดย่อ

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างหลักที่มีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างพื้นฐานสมัยใหม่ ด้วยคุณสมบัติด้านความทนทานและความยืดหยุ่นในการใช้งาน อย่างไรก็ตามประเด็นเรื่องกำลังรับแรงอัดยังคงเป็นปัจจัยสำคัญที่นักวิจัยมุ่งพัฒนาอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำแม่เหล็กกับคอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำประปา ทำการบ่มคอนกรีตเป็นระยะเวลา 3, 5, 7, 10, 14, 21 และ 28 วัน จากนั้นตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงของกำลังรับแรงอัดในแต่ละช่วงเวลา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า คอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำแม่เหล็กมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในช่วงอายุ 21 และ 28 วัน ซึ่งมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 23% และ 19% ตามลำดับ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Ramachandran และ Sruthi (2021) ที่ระบุว่าการใช้แม่เหล็กทั้งในขั้นตอนการผสมและการบ่มช่วยเพิ่มค่ากำลังอัดของคอนกรีตได้มากกว่าน้ำธรรมดา และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Hussain และ Abbas (2024) ที่เสนอว่า พลังงานจากสนามแม่เหล็กอาจทำให้โมเลกุลของน้ำมีขนาดเล็กลงและกระจายตัวได้ดีขึ้น ส่งผลให้กระบวนการไฮเดรชันเกิดขึ้นได้สมบูรณ์และรวดเร็วมากขึ้น ข้อมูลเชิงปริมาณได้รับการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นและการแปลงข้อมูลเพื่อให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์เชิงสถิติ ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความแปรปรวนอธิบายในระดับสูง สะท้อนถึงความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นแนวทางใหม่ในการปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตอย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่เพิ่มภาระด้านต้นทุนหรือผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างที่มุ่งเน้นความยั่งยืน

คำสำคัญ : คอนกรีต น้ำแม่เหล็ก กำลังรับแรงอัด การบ่มคอนกรีต

Comparative Regression Analysis of Concrete Strength Cured with Magnetized and Tap Water Using the Box-Cox Transformation Technique

Thanapat Maneesaeng¹, Nattapon Phurahong^{2*}, Sutira Benchanukrom³
Faculty of Industrial Technology, Muban Chombueng Rajabhat University¹
Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology Phetchabun Rajabhat
University^{2*3}

E – mail : nuttapon_sam@hotmail.com.^{2*}

Received 27 August 2025

Revised 29 October 2025

Accepted 10 November 2025

Abstract

Concrete is a primary construction material that plays a crucial role in modern infrastructure due to its durability and versatility. However, compressive strength remains a key factor that researchers continuously seek to enhance. This study investigates the effect of curing concrete with magnetized water and tap water on compressive strength development. Concrete specimens were cured under controlled conditions for 3, 5, 7, 10, 14, 21, and 28 days, and the compressive strength was measured at each curing age. The experimental results demonstrated that concrete cured with magnetic water consistently exhibited higher compressive strength than the control group, particularly at 21 and 28 days, showing average increases of 23% and 19%, respectively. These findings are consistent with those reported by Ramachandran and Sruthi (2021), who observed that using magnetic water in both the mixing and curing stages enhanced the compressive strength of concrete compared to normal water. Similarly, Hussain and Abbas (2024) suggested that magnetic field energy may reduce the size of water molecule clusters and improve their dispersion, resulting in more efficient and complete hydration. Quantitative data were analyzed using a linear regression model with appropriate data transformation to achieve normality, yielding a high coefficient of determination that reflects strong predictive reliability. This study highlights a promising approach to improving concrete properties effectively without increasing cost or environmental impact, offering potential applications in sustainable construction practices.

Keywords : Concrete, Magnetized Water, Compressive Strength, Concrete Curing



1. บทนำ

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างหลักที่ถูกใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากมีความแข็งแรง ทนทาน และสามารถปรับใช้ได้หลากหลาย อย่างไรก็ตาม การพัฒนาสมบัติเชิงกลของคอนกรีต เช่น กำลังอัด กำลังดึง และกำลังดัด ยังคงเป็นความท้าทายสำคัญของงานวิจัย แนวทางการดั้งเดิมในการปรับปรุงคุณสมบัติเหล่านี้ เช่น การปรับสัดส่วนผสม การเติมสารเคมี หรือการบ่มด้วยเทคนิคพิเศษ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของคอนกรีตได้ แต่ก็มักมาพร้อมกับข้อจำกัดทั้งด้านต้นทุน ความซับซ้อน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้มีความสนใจในแนวทางใหม่ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของคอนกรีตได้โดยไม่เพิ่มภาระทางเศรษฐกิจหรือสิ่งแวดล้อม หนึ่งในนั้นคือการใช้แม่เหล็ก (Magnetically Treated Water: MTW) ในการผสมและบ่มคอนกรีต มีงานวิจัยจำนวนมากเริ่มยืนยันศักยภาพของ MTW ในการปรับปรุงสมบัติของคอนกรีต เช่น Ahmed และ Manar (2021) รายงานว่าการใช้แม่เหล็กช่วยเพิ่มการไหลตัว 7–26% และกำลังอัด 8–16% อีกทั้งยังทำหน้าที่แทนสารลดน้ำได้ ขณะที่ Abbas et al. (2022) พบว่าคอนกรีตเกรด 25, 35 MPa และ SCC ที่ใช้แม่เหล็กมีกำลังเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 9–16% โดยเฉพาะที่อายุ 7 วัน และผลดีที่สุดเมื่อใช้ร่วมกับสารเคมีผสมเพิ่มในคอนกรีต แสดงว่าแม่เหล็กช่วยเร่งการพัฒนา กำลังของคอนกรีตในช่วงต้นอายุนอกจากนี้ Dharmaraj et al. (2021) พบว่าการใช้แม่เหล็กเพิ่มกำลังอัด ดึง และดัด ได้ประมาณ 14–15% ลดการซึมน้ำ เพิ่มความทนทานต่อการกัดและคลอไรด์ และลดการใช้น้ำได้ถึง 50% นอกจากนี้ได้มีการทบทวนวรรณกรรมและวิเคราะห์เชิงบรรณานุกรมโดย Hatem et al. (2024) ชี้ว่าแม่เหล็กช่วยเพิ่มกำลังคอนกรีต 6–24% และปรับปรุงความทนทาน แต่มีค่าที่เหมาะสมคือ 0.9–1.2 Tesla หากสูงกว่านี้ประสิทธิภาพกลับลดลง ในทำนองเดียวกัน Ramalingam et al. (2022) ยืนยันว่าแม่เหล็กลดค่า EC และ TDS ของน้ำ ทำให้การไฮเดรชันสมบูรณ์ขึ้น ส่งผลให้การไหลตัวเพิ่มขึ้น 25% และกำลังอัดสูงขึ้น 24% อีกทั้งยังสามารถใช้แทนสารลดน้ำได้ในคอนกรีตกำลังสูง พร้อมสนับสนุนการใช้วัสดุทดแทนเช่นผงหินแกรนิตเพื่อลดการใช้น้ำซีเมนต์ โดยสรุป งานวิจัยที่ผ่านมาชี้ตรงกันว่าแม่เหล็กสามารถปรับปรุงทั้งการไหลตัว กำลัง และความทนทานของคอนกรีตผ่านกลไกการเร่งไฮเดรชันและการสร้างโครงสร้างจุลภาคที่หนาแน่นขึ้น อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ยังแตกต่างกันไปตามความเข้มข้นแม่เหล็ก ระยะเวลาการบำบัด และค่า w/c ratio ซึ่งทำให้ยังไม่มีมาตรฐานที่ชัดเจนสำหรับการประยุกต์ใช้จริง โดยเฉพาะภายใต้เงื่อนไขการบ่มคอนกรีตในพื้นที่เป้าหมาย

การวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อเติมเต็มช่องว่างความรู้เกี่ยวกับผลกระทบของการใช้แม่เหล็กต่อสมบัติเชิงกลของคอนกรีตอย่างเป็นระบบ โดยมุ่งเน้นการปรับเวลาในการสัมผัสกับสนามแม่เหล็กและการติดตามการเปลี่ยนแปลงของกำลังคอนกรีต เพื่อหาค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการใช้งานจริง งานวิจัยที่ผ่านมาแม้จะรายงานว่าแม่เหล็กช่วยเพิ่มกำลังและความทนทานของคอนกรีต แต่ยังขาดการวิเคราะห์ที่ชัดเจนเกี่ยวกับเวลาบ่มที่เหมาะสมและเงื่อนไขที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้น การศึกษานี้ไม่เพียงแต่มุ่งเปรียบเทียบสมบัติทางกลของคอนกรีตที่บ่มด้วยแม่เหล็กและน้ำประปา แต่ยังจะพัฒนาแบบจำลองทางสถิติสำหรับการพยากรณ์กำลังอัด โดยใช้เทคนิคการแปลงข้อมูลเพื่อเพิ่มความแม่นยำ และประยุกต์ใช้แบบจำลองดังกล่าวในการระบุเวลาการบ่มที่เหมาะสมเพื่อให้คอนกรีตมีกำลังอัดตามเกณฑ์ที่ต้องการในงานก่อสร้างจริง เพื่อนำไปสู่วิธีการที่ประหยัดค่าใช้จ่ายและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้นในการปรับปรุงประสิทธิภาพของคอนกรีต ซึ่งจะส่งเสริมเทคโนโลยีการก่อสร้างและความยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่บ่มด้วยแม่เหล็กกับคอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำประปา

2.2 เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางสถิติเพื่อพยากรณ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงข้อมูลเพื่อเพิ่มความแม่นยำของแบบจำลอง

3. วิธีการวิจัย

3.1 การออกแบบระบบน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตโดยใช้น้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก โดยมีขั้นตอนและหลักการดังนี้:

3.1.1 คุณสมบัติของแท่งแม่เหล็ก

ใช้แท่งแม่เหล็กนีโอไดเมียมซึ่งมีความเข้มสนามแม่เหล็กอยู่ระหว่าง 1,500-2,900 เกาส์ ซึ่งเป็นแม่เหล็กที่มีความแรงสูง ทำให้สามารถสร้างสนามแม่เหล็กที่มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของน้ำ

3.1.2 การออกแบบสถานีทดลอง

เริ่มต้นจากการออกแบบอุปกรณ์การจัดวางแท่งแม่เหล็กนีโอไดเมียมในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อให้แน่ใจว่าน้ำสามารถไหลผ่านสนามแม่เหล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสร้างสนามแม่เหล็กที่แรงสูง โดยติดตั้งแม่เหล็กนีโอไดเมียมผ่านอะคริลิกให้ขั้วเหนือและขั้วใต้หันเข้าหากัน เว้นช่องว่างสำหรับการวางในภาชนะที่ใช้บ่มคอนกรีตดังภาพที่ 1



รูปที่ 1 แม่เหล็กนีโอไดเมียมที่ติดตั้งลงบนผ่านอะคริลิก

จากนั้นร้อยสายยางผ่านแผ่นอะคริลิกที่ประกอบแม่เหล็กเพื่อให้้ำสามารถไหลผ่านสนามแม่เหล็กได้ เพื่อให้ได้รับพลังงานจากสนามแม่เหล็กก่อนที่จะนำไปใช้ในการบ่มคอนกรีต ดังภาพที่ 2 หลักการคือการให้น้ำไหลผ่านแท่งแม่เหล็กแรงสูงที่ประกอบอยู่ในแผ่นอะคริลิก เมื่อให้น้ำไหลผ่านสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการจัดวางแม่เหล็กให้ขั้วเหนือและขั้วใต้หันเข้าหากัน จะทำให้น้ำได้รับพลังงานจากสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ในการบ่มคอนกรีตเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตในขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 2 แม่เหล็กนีโอไดเมียมที่ติดตั้งลงบนผ่านอะคริลิก

3.2 การออกแบบการทดลองเพื่อหาระยะเวลาการบ่มคอนกรีตโดยใช้น้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก

ในการทดลองเพื่อหาระยะเวลาการบ่มคอนกรีตจะใช้ลูกปูนทรงลูกบาศก์ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์ได้อย่างชัดเจน คอนกรีตถูกบ่มและเก็บผลการทดสอบในช่วงเวลา 3, 5, 7, 10, 14, 21 และ 28 วันตามลำดับ

เนื่องจากคอนกรีตทั่วไป มักเลือกช่วงอายุการบ่มดังกล่าว ซึ่งถือเป็นการออกแบบการทดสอบที่ครอบคลุมพัฒนาการของคอนกรีตในหลายช่วงเวลา โดยเป็นช่วงที่ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์เกิดการเปลี่ยนแปลงสำคัญระยะ 3–7 วัน เป็นช่วงเริ่มต้นของการเกิดปฏิกิริยาและการพัฒนากำลังอัดอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ระยะ 14–28 วันเป็นช่วงที่การพัฒนาเข้าสู่ภาวะคงที่ (Anwar et al., 2022) ในการทดลอง คอนกรีตถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกบ่มด้วยน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็กถาวรจากแม่เหล็กนีโอไดเมียม โดยมีความเข้มของสนามแม่เหล็กอยู่ในช่วง 1,500–2,900 เกาส์ ซึ่งเป็นช่วงที่มีรายงานว่าสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของน้ำได้โดยไม่เกิดผลข้างเคียงทางความร้อน (Wang et al., 2018) ทั้งนี้ระดับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่สูงกว่า 3,000 เกาส์มักไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติมอย่างมีนัยสำคัญ และอาจเพิ่มอัตราการระเหยของน้ำจากผลของการลดแรงตึงผิวและการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำที่รวดเร็วขึ้น ซึ่งหากไม่ได้ควบคุมสภาพการบ่มอย่างเหมาะสมอาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำในระยะต้นของการบ่ม ส่วนกลุ่มที่สองเป็นกลุ่มควบคุม โดยบ่มด้วยน้ำประปาธรรมดาภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลของกำลังรับแรงอัดในแต่ละช่วงอายุการบ่มโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.1 การออกแบบอัตราส่วนผสมและจำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

การออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตในงานวิจัยนี้ดำเนินการตามมาตรฐาน ACI 211.1-91 เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดออกแบบที่ต้องการ โดยมีส่วนผสมที่ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ หิน ทราย หิน และน้ำ ตามอัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของลูกปูน

วัสดุผสม	ปริมาณ
ปูนซีเมนต์	336 kg/m ³
ทราย	960 kg/m ³
หิน	1,581 kg/m ³
น้ำ	180 L/m ³

ตารางที่ 2 จำนวนลูกปูนสำหรับการทดสอบในทรีทเมนต์ต่าง ๆ

วันที่	น้ำปกติ	น้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็ก
3	3 ลูก (W3)	3 ลูก (M3)
5	3 ลูก (W3)	3 ลูก (M3)
7	3 ลูก (W3)	3 ลูก (M3)
10	3 ลูก (W3)	3 ลูก (M3)
14	3 ลูก (W3)	3 ลูก (M3)
21	3 ลูก (W3)	3 ลูก (M3)
28	3 ลูก (W3)	3 ลูก (M3)

3.2.2 การทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีต (Slump Test)

ค่ายุบตัวของคอนกรีต (Slump) การทดสอบนี้ใช้เพื่อทดสอบหาค่าความชันเหลวของคอนกรีตหรือความสามารถในการเท และเพื่อทดสอบปริมาณการใช้น้ำในการผสมคอนกรีต เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญที่ใช้ในการประเมินความสามารถในการเทและการอัดแน่นของคอนกรีตเข้าแบบ ค่ายุบตัวที่เหมาะสมจะช่วยให้การเทคอนกรีต

เป็นไปอย่างราบรื่นและไม่เกิดโพรงอากาศภายในโครงสร้าง ค่าการยุบตัวของคอนกรีตมีความแตกต่างกันตามประเภทและความซับซ้อนของโครงสร้าง ดังนั้นควรกำหนดค่าการยุบตัวให้เหมาะสมตามข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) ซึ่งควรมีค่าการยุบตัวไม่เกิน 5 cm โดยการทดสอบมีขั้นตอนดังนี้



(ก)



(ข)

รูปที่ 3 อุปกรณ์สำหรับทดสอบ และการทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีต

3.2.2.1 เมื่อผสมคอนกรีตได้ตามอัตราส่วนที่ระบุแล้ว ให้นำคอนกรีตใส่ลงในอุปกรณ์สำหรับทดสอบเพื่อหาค่ายุบตัวภาพที่ 3(ก) โดยใส่คอนกรีตลงในกรวยทดสอบประมาณหนึ่งในสามหรือประมาณ 10 cm ของปริมาตรกรวยทดสอบ จากนั้นใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่วผิวของคอนกรีตในกรวยจำนวน 25 ครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าคอนกรีตแน่นและไม่มีช่องว่าง

3.2.2.2 ใช้แท่งเหล็กปาดขอบผิวบนของกรวยจนคอนกรีตเรียบ จับที่หุยกแล้วยกกรวยขึ้นในแนวตั้งอย่างระมัดระวัง เพื่อไม่ให้กรวยโดนเนื้อคอนกรีตภายใน จากนั้นวัดระยะคอนกรีตที่ยุบตัวเทียบกับความสูงของกรวยดังรูปที่ 3(ข)

ตารางที่ 3 ค่าการยุบตัวของคอนกรีต

การทดสอบ	ค่ายุบตัว (cm)
1	4
2	3
3	3
4	4
เฉลี่ย	3.5

จากการเปรียบเทียบค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบในตารางที่ 3 กับค่าการยุบตัวที่เหมาะสมตามข้อกำหนดของ วสท. พบว่าค่าการยุบตัวเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบคือ 3.5 cm ซึ่งอยู่ในช่วงค่าที่กำหนดในข้อกำหนดของ วสท. สำหรับคอนกรีตโครงสร้างทุกประเภทงาน

3.2.2.3 การหล่อลูกปูนทดสอบ เริ่มจากผสมคลุกเคล้าเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเคลือบหรือหุ้มผิวของมวลรวมทั้งหมดด้วยซีเมนต์เพสต์ และเพื่อผสมส่วนผสมทั้งหมดให้เป็นเนื้อเดียวกัน ดังรูปที่ 4(ก) จากนั้นใส่คอนกรีตที่จะทดสอบลงในแบบประมาณ 1/3 หรือประมาณ 5 cm ของ ปริมาตรแบบหล่อ แล้วใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่วผิวของคอนกรีตเพื่อให้แน่ใจว่าคอนกรีตแน่นและไม่มีช่องว่าง ดังภาพที่ 4(ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 ขั้นตอนการหล่อลูกปูนทดสอบ

3.2.2.4 การบ่มคอนกรีต กระบวนการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของคอนกรีตเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากมีผลต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต ประการแรกคือป้องกันการสูญเสียความชื้นจากเนื้อคอนกรีต เพื่อให้ปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ประการที่สองคือการเพิ่มความชื้นช่วยให้กระบวนการไฮเดรชันดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่องและเต็มประสิทธิภาพ รูปที่ 5(ก) แสดงถึงการบ่มคอนกรีตด้วยน้ำปกติ ซึ่งเป็นวิธีการทั่วไปในการรักษาความชื้นของคอนกรีตในระหว่างการบ่ม ส่วนในรูปที่ 5(ข) แสดงถึงการบ่มคอนกรีตด้วยน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็ก



(ก)



(ข)

รูปที่ 5 ขั้นตอนการหล่อลูกปูนทดสอบ

3.3 การทดสอบแรงอัด

ขั้นตอนนี้คือการนำลูกทดสอบที่ครบกำหนดระยะเวลาการ บ่มมาทดสอบด้วยเครื่อง Compressive เพื่อคำนวณหา กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ในการทดสอบเริ่มจากวางลูกปูนทดสอบลงบนเครื่อง Compressive ให้ อยู่แนวศูนย์กลางของแท่นกด จากนั้นเพิ่มแรงกระทำกับลูกทดสอบอย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วด้วยอัตราเร็ว สม่ำเสมอเท่ากับ 1.15 - 2.15 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ตามมาตรฐาน BS 1881-116:1983 เพื่อ ประเมินค่ากำลังอัดที่เกิดขึ้นจริงหลังการบ่มในช่วงอายุที่กำหนด ดังรูปที่ 6(ก) และ รูปที่ 6(ข)



(ก)

(ข)

รูปที่ 6 การทดสอบด้วย ทดสอบด้วย Compressive Machine

3.4 การวิเคราะห์

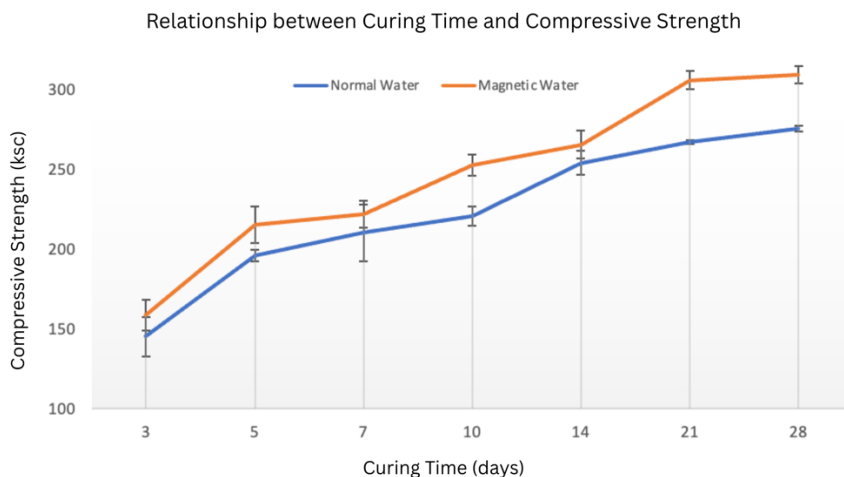
ในการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต โดยเฉพาะค่ากำลังอัดซึ่งเป็นตัวชี้วัดสำคัญที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมโยธา พบว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่ากำลังอัด ได้แก่ ประเภทของน้ำที่ใช้ในการผสม และระยะเวลาการบ่ม อย่างไรก็ตาม ลักษณะของข้อมูลกำลังอัดจากการทดลองในหลายกรณี ไม่เป็นไปตามการแจกแจงแบบปกติ และไม่สัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรต้นอย่างชัดเจน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของแบบจำลองทางสถิติและการพยากรณ์ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้เทคนิค Box-Cox Transformation ซึ่งเป็นเทคนิคการแปลงข้อมูลทางสถิติที่ช่วยปรับข้อมูลให้ใกล้เคียงการแจกแจงแบบปกติ และเพิ่มความสอดคล้องเชิงเส้นระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม เพื่อให้สามารถสร้างแบบจำลองถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) ที่มีประสิทธิภาพ และใช้ในการพยากรณ์ค่ากำลังอัดของคอนกรีตได้อย่างแม่นยำภายใต้สภาวะการใช้น้ำแม่เหล็กและระยะเวลาการบ่มที่แตกต่างกัน โดยใช้โปรแกรม Minitab version 16 ออกแบบการทดลอง และความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต และสร้างแบบจำลองถดถอยทำนายการเพิ่มขึ้นของสามารถในการรับแรงอัด และ การเพิ่มขึ้นของพันธะไฮโดรเจนเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนไป นอกจากนี้ยังใช้ช่วงความเชื่อมั่น (confidence interval) และช่วงการทำนาย (prediction interval) เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ ทั้งหมดนี้ช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความละเอียด และสามารถนำผลลัพธ์ไปปรับปรุงกระบวนการพัฒนาการบ่มคอนกรีตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาความแตกต่างของคุณสมบัติทางกลระหว่างคอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำแม่เหล็กและคอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำประปา

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำปกติและน้ำแม่เหล็กแสดงแนวโน้มว่าการใช้น้ำแม่เหล็กสามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัดได้ดีกว่าน้ำปกติอย่างชัดเจน ตลอดช่วงเวลา 28 วัน คอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำแม่เหล็กมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำปกติอย่างสม่ำเสมอ ในช่วงเวลาการบ่ม คอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำแม่เหล็กแสดงผลการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดอย่างต่อเนื่อง ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าวันที่ 7 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำแม่เหล็กเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 6% เมื่อเทียบกับน้ำปกติ ในวันที่ 14 การเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดสูงขึ้นเฉลี่ยประมาณ 4% ในวันที่ 21 กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 23% และในวันที่ 28 การเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดสูงขึ้นถึง 19% จากการ

เพิ่มขึ้นในทุก ๆ 7 วัน จึงสรุปได้ว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำปกติและน้ำแม่เหล็กแสดงแนวโน้มที่ชัดเจนว่าน้ำแม่เหล็กสามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัดได้ดีกว่าน้ำปกติดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลลัพธ์การทดสอบด้วย Compressive Machine

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดระหว่างน้ำปกติและน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็ก

ประเภท	ค่าทางสถิติ	ระยะเวลาการบ่ม (วัน)						
		3	5	7	10	14	21	28
น้ำปกติ	ค่าเฉลี่ย (ksc)	145.14	196.23	210.36	220.97	254.12	267.23	275.92
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	12.10	3.49	17.92	6.08	7.46	1.39	1.79
น้ำสนามแม่เหล็ก	ค่าเฉลี่ย (ksc)	158.73	215.65	221.99	252.72	265.78	306.11	309.58
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	9.91	11.43	8.49	6.73	8.83	5.91	5.31

4.2. ผลลัพธ์การพัฒนาแบบจำลองทางสถิติเพื่อพยากรณ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

4.2.1 การสร้างแบบจำลองถดถอยเพื่อทำนายกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำปกติและน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็ก ผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 5 แสดงแบบจำลองการทำนายกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำปกติและน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็กเมื่อเวลาผ่านไป 28 วัน โดยพบว่าทั้ง 3 กลุ่มมีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า α ที่กำหนดไว้ จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองการวิเคราะห์ถดถอยโพลีโนเมียลเหมาะสมในการศึกษาความสัมพันธ์นี้ มีค่า R square ของทั้ง 2 สมการสูงถึง 79.57 และ 93.93 % แสดงให้เห็นว่าตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้มานั้นสามารถอธิบายความผันแปรของค่าตัวแปรตอบสนองที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เป็นอย่างดี ผลการวิเคราะห์นี้แสดงให้เห็นว่าผู้ปฏิบัติงานสามารถแบบจำลองทำนายกำลังรับแรงอัดจากสมการถดถอยได้

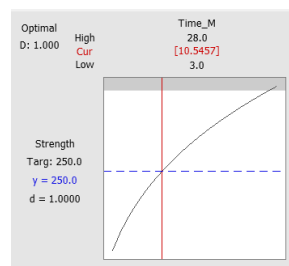
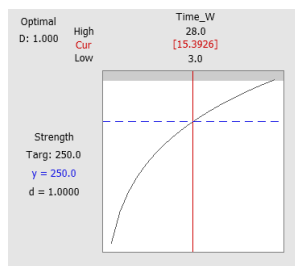
ตารางที่ 5 การสร้างแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นเพื่อทำนายกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำปกติและน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็กเมื่อเวลาเปลี่ยนไป

ประเภท	สมการถดถอย	R-sq	P- value
น้ำประปา	$Strength_W = [(-10.34 + 5.841 \times Time_W) \times 6g^5]^{1/5}$ $\lambda = 6, g = 219.66$ is the geometric mean of Strength	94.93	0.000
น้ำสนามแม่เหล็ก	$Strength_M = [4 \times (241.707)^3 \times (3.02 + 6.271 \times Time_M) + 1]^{1/4}$ $\lambda = 4, g = 241.707$ is the geometric mean of Strength	93.93	0.000

4.2.2 การพยากรณ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยใช้แบบจำลองถดถอยเชิงเส้นสำหรับโครงสร้างอาคารทั่วไป คอนกรีตที่ใช้ต้องมีกำลังอัดที่เหมาะสมเพื่อรับประกันความปลอดภัยและความทนทาน โดยทั่วไปแล้ว กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคารทั่วไปควรอยู่ที่ประมาณ 240-300 kg/cm² (Pandey et al., 2023) ดังนั้นจึงใช้ 250 kg/cm² เป็นค่าเป้าหมายในการทดสอบแบบจำลองถดถอยเพื่อทดสอบหาระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการบ่มคอนกรีต ผลการใช้ฟังก์ชัน response optimization แสดงให้เห็นว่า ที่ค่าเป้าหมายกำลังรับแรงอัด 250 kg/cm² การบ่มคอนกรีตโดยใช้น้ำปกติต้องใช้เวลา 15.39 วัน หรือประมาณ 16 วัน โดยที่มีช่วงความเชื่อมั่นที่ 246.88 - 252.92 kg/cm² ส่วนน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็ก ส่วนการบ่มคอนกรีตโดยใช้น้ำผ่านสนามแม่เหล็กต้องใช้เวลา เพียง 10.46 วัน หรือประมาณ 11 วัน โดยที่มีช่วงความเชื่อมั่นที่ 243.77 - 255.79 kg/cm² ดังตาราง โดยทั้ง 2 รูปแบบ มีโอกาสเป็นไปได้ 100% แต่หากพิจารณาช่วงความเชื่อมั่นพบว่าผลลัพธ์จากน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็กมีช่วงที่แคบกว่าน้ำปกติดังที่แสดงใน ตารางที่ 6 และรูปที่ 8

ตารางที่ 6 ค่าตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด

ประเภทน้ำ	ระยะเวลา	โอกาสที่เป็นไปได้ (%)	ช่วงความเชื่อมั่น (kg/cm ²)	ช่วงการทำนาย (kg/cm ²)
ปกติ	15.39	100	(246.88 , 252.92)	(234.27 , 261.93)
สนามแม่เหล็ก	10.57	100	(243.77 , 255.79)	(216.42 , 273.78)



รูปที่ 8 ผลการทดลองหาค่าตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสม

5. อภิปรายผลและสรุปผล (Discussion and Conclusion)

5.1 อภิปรายผล

ผลการทดสอบตลอดช่วงอายุ 28 วันแสดงให้เห็นว่า การบ่มคอนกรีตด้วยน้ำที่ผ่านการทำให้เป็นแม่เหล็กสามารถเพิ่มค่ากำลังอัดได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการบ่มด้วยน้ำธรรมดา สะท้อนให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของน้ำหลังผ่านสนามแม่เหล็กมีอิทธิพลโดยตรงต่อกระบวนการไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ในระหว่างการบ่ม ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Ramachandran และ Sruthi (2021) ซึ่งรายงานว่าการใช้แม่เหล็กทั้งในขั้นตอนการผสมและการบ่มคอนกรีตช่วยเพิ่มค่ากำลังอัดได้มากกว่าการใช้น้ำธรรมดา โดยเชื่อว่ากลไกหลักเกิดจากการที่น้ำแม่เหล็กมีโครงสร้างโมเลกุลที่แตกตัวเป็นคลัสเตอร์ขนาดเล็กลง ทำให้ซึมผ่านเข้าสู่เนื้อคอนกรีตและผิวเม็ดซีเมนต์ได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันดำเนินต่อไปได้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ในระหว่างการบ่ม ในทำนองเดียวกัน Hussain และ Abbas (2024) อธิบายว่า พลังงานจากสนามแม่เหล็กสามารถทำลายโครงสร้างคลัสเตอร์ของน้ำ ทำให้โมเลกุลน้ำมีขนาดเล็กลงและมีพลังงานผิวสูงขึ้น ซึ่งช่วยให้เกิดการกระจายตัวและการแทรกซึมของน้ำในเนื้อคอนกรีตได้ดีขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว ส่งผลให้คอนกรีตแข็งตัวเร็วขึ้นและสามารถลดระยะเวลาในการบ่มได้โดยไม่กระทบต่อกำลังอัดสูงสุดในระยะยาวผลลัพธ์ ผลจากงานวิจัยชิ้นนี้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า สะท้อนให้เห็นถึงแนวโน้มเดียวกันว่า การบ่มด้วยน้ำแม่เหล็กสามารถช่วยเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ได้จริง ส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นในระยะต้นและพัฒนาอย่างต่อเนื่องในระยะยาว อีกทั้งยังมีศักยภาพในการลดเวลาการบ่มและประหยัดพลังงานในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นแนวทางที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบบ่มคอนกรีตในภาคอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความยั่งยืนของกระบวนการผลิตได้อย่างเป็นรูปธรรม

5.2 สรุปผล

5.2.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

5.1.1.1 การใช้แม่เหล็กในการบ่มคอนกรีตมีแนวโน้มให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าการบ่มด้วยน้ำปกติในทุกช่วงอายุการบ่ม

5.1.1.2 คอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำแม่เหล็กมีการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดสูงกว่าในทุกช่วงเวลา

5.2.2 การสร้างแบบจำลองถดถอย

5.2.2.1 แบบจำลองการวิเคราะห์ถดถอยเหมาะสมในการทำนายกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

5.2.2.1 ค่า R-square ของแบบจำลองสูงถึง 79-93 % ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำในการทำนาย

5.2.3 การทดลองหาค่าตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสม

5.2.3.1 การใช้แม่เหล็กในการบ่มคอนกรีตลดระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มได้อย่างมีนัยสำคัญ

5.2.3.2 น้ำเพื่อให้ได้กำลังรับแรงอัด 250 kg/cm^2 แม่เหล็กใช้เวลาในการบ่มเพียง 11 วัน ขณะที่น้ำประปาที่ใช้เวลา 19 วัน

5.2.3.3 ช่วงความเชื่อมั่นของกำลังรับแรงอัดสำหรับน้ำแม่เหล็กแคบกว่าน้ำปกติ แสดงถึงความเสถียรของการใช้แม่เหล็กในการบ่มคอนกรีต

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 เนื่องจากกลไกทางวิทยาศาสตร์ของน้ำแม่เหล็กที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตยังไม่ชัดเจน ควรมีการศึกษาระดับโมเลกุลโดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง หรือเทคนิควิเคราะห์พันธะไฮโดรเจน เพื่อยืนยันว่าการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างน้ำจริงหรือไม่

6.2 ควรศึกษาการเกิดผลึกของสารประกอบไฮดรเจนในซีเมนต์ที่บ่มด้วยน้ำแม่เหล็กเปรียบเทียบกับน้ำปกติ เพื่อทำความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงในระดับจุลภาคมีผลต่อค่ากำลังอัดและความทนทานของคอนกรีตหรือไม่ และในระดับใด

6.3 ควรทดสอบคอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำแม่เหล็กภายใต้สภาวะจริงที่แตกต่างกัน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น หรือ ชนิดของปูนซีเมนต์ เพื่อประเมินว่าผลของน้ำแม่เหล็กยังคงมีแนวโน้มเพิ่มกำลังอัดในทุกสภาพแวดล้อม

6.4 ควรมีการศึกษาความเข้มข้นแม่เหล็ก ระยะเวลาการบ่ม และการผสมผสานกับเทคนิคอื่น เช่น น้ำหนุมนเวียนหรือสารเร่งการบ่ม เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพโดยไม่อาศัยการตีความกลไกที่ยังไม่ยืนยันทางวิทยาศาสตร์

6.5 ควรทำการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจและผลกระทบเชิงสิ่งแวดล้อมจากการใช้น้ำแม่เหล็กในการบ่มคอนกรีต เพื่อให้สามารถตัดสินใจได้ว่าการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมมีความเหมาะสมในเชิงปฏิบัติ และเชิงต้นทุนหรือไม่

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณะดังกล่าวเป็นอย่างสูง รวมทั้งขอขอบคุณห้องปฏิบัติการของสาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์สำหรับการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Abbas, Z., Al-Baghdadi, H., & Ibrahim, E. (2022). Concrete strength development by using magnetized water in normal and self-compacted concrete. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, 31(1), 564–572.
- Ahmed, A. M., & Manar, D. F. (2021). Effect of static magnetic field treatment on fresh concrete and water reduction potential. *Case Studies in Construction Materials*, 14(1), e00535. DOI:10.1016/j.cscm.2021.e00535
- Anwar, A., Tariq, H., Adil, S., & Iftikhar, M. A. (2022). Effect of curing techniques on compressive strength of concrete. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 16(3), 694–710.
- Dharmaraj, R., Arunvivek, G. K., Karthick, A., Mohanavel, V., Perumal, B., & Rajkumar, S. (2021). Investigation of mechanical and durability properties of concrete mixed with water exposed to a magnetic field. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 1–9.
- Hatem, W. A., Rashid, F. L., Al-Obaidi, M. A., Dulaimi, A., & Mydin, M. A. O. (2024). A bibliometric analysis and comprehensive review of magnetized water effects on concrete properties. *Asian Journal of Civil Engineering*, 25(1), 5017–5032.
- Hussain, D. M., & Abbas, Z. K. (2024). The efficiency of using magnetized water in concrete: A review. *Journal of Engineering*, 30(12), 65–75.
- Ramachandran, H., & Sruthi, D. K. (2021). An experimental study on the use of magnetized water in concrete with M sand as fine aggregate. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*, 8(6), 26–32.

- Ramalingam, M., Narayanan, K., Masilamani, A., Kathirvel, P., Murali, G., & Vatin, N. I. (2022). Influence of magnetic water on concrete properties with different magnetic field exposure times. *Materials*, 15(12), 4291.
- Ramalingam, M., Narayanan, K., Sivamani, J., Kathirvel, P., Murali, G., & Vatin, N. I. (2022). Experimental investigation on the potential use of magnetic water as a water reducing agent in high strength concrete. *Materials*, 15(15), 5219.
- Wang, Y., Wei, H., & Li, Z. (2018). Effect of magnetic field on the physical properties of water. *Results in Physics*, 8, 262–267.

คุณค่าทางวิชาการ

งานวิจัยนี้มีคุณค่าทางวิชาการในด้านการสร้างองค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับผลของการใช้น้ำแม่เหล็กต่อสมบัติทางกลของคอนกรีต โดยมุ่งเน้นทั้งการทดลองเปรียบเทียบกับน้ำประปาและการพัฒนาแบบจำลองทางสถิติสำหรับการพยากรณ์กำลังอัด การใช้เทคนิคการแปลงข้อมูลช่วยให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยเชิงวิทยาศาสตร์ด้านวัสดุก่อสร้าง งานนี้จึงไม่เพียงแต่ยืนยันผลการศึกษาที่ผ่านมา แต่ยังขยายองค์ความรู้ไปสู่การกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมของการบ่มคอนกรีตด้วยน้ำแม่เหล็ก อีกทั้งยังวางรากฐานให้เกิดการประยุกต์ใช้โมเดลเชิงทำนายในการออกแบบและควบคุมคุณภาพคอนกรีตในอนาคต