บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เครื่องจักรกลไฟฟ้า (Electrical Machinery) ทำหน้าที่รับกำลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy) จากภายนอกเข้ามาแล้วเปลี่ยนเป็นกำลังงานกล (Mechanical Energy) เพื่อส่งออกไป มีใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการควบคุมความเร็วที่ต้องการความแม่นยำสูงด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor : DC Motor) พบมากในเครื่องมือต่างๆ และในงานอุตสาหกรรมทั่วไป เช่น เครื่องมือทางกล เครื่องจักรรีด แขนหุ่นยนต์ (Robot Arm) และจานบันทึก (Disk Drive) [1] เป็นต้น กล่าวโดยทั่วไปการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอาศัยการควบคุมป้อนกลับที่มีตัวควบคุมทำหน้าที่คุมค่าความเร็วของมอเตอร์ทั้งในขณะเริ่มต้นและในขณะที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงดังนั้นในการออกแบบการควบคุมความเร็วนี้จำเป็นต้องทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเสียก่อน วิธีการหนึ่งที่จะหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คือ ต้องทราบพารามิเตอร์ทั้งหมดของระบบ ปัญหาที่พบคือ การหาพารามิเตอร์ทั้งหมดของระบบต้องอาศัยการทดสอบที่ยุ่งยาก เช่น การยึดโรเตอร์ (Blocked-Rotor) การปลดโหลดทางกล (no-Load) และการทดสอบความหน่วง (Retardation Tests) [2] อย่างไรก็ตาม ค่าพารามิเตอร์ที่ได้รับโดยการทดสอบจากวิธีการเหล่านี้มักจะไม่ถูกต้อง อันเนื่องมาจากความไม่แน่นอนและเกิดความผิดพลาดในขั้นตอนการทดสอบ [2] และพารามิเตอร์เหล่านี้ก็มีความผิดพลาดอยู่บางส่วน เมื่อนำมาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ยิ่งทำให้เกิดความผิดพลาดสะสมของพารามิเตอร์แต่ละตัว ทำให้แบบจำลองที่ได้มีความผิดพลาดมาก เมื่อเทียบกับทางปฏิบัติ วิธีการนี้เป็นการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยอาศัยพารามิเตอร์ของระบบ

จากข้อด้อยดังกล่าวของวิธีการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทำให้วิธีการระบุเอกลักษณ์โดยไม่อาศัยพารามิเตอร์ของระบบ เป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน การระบุเอกลักษณ์สามารถทำได้หลายวิธี อีกวิธีหนึ่งในการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองคือ วิธีการแบบดั้งเดิมแบบจำลองและการระบุเอกลักษณ์ค่าพารามิเตอร์ต้องการทราบอินพุตและเอาต์พุตของระบบ ซึ่งสามารถหาได้จากการทดสอบโดยตรง [3] ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองจะได้รับจากการวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) ด้วยวิธีนี้แบบจำลองที่ได้รับจะเป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นกล่องดำ (Black-Box) ประกอบด้วย ARX ARMAX OE และ BJ ตามลำดับ โดยวรรณกรรมที่ผ่านมาการระบุเอกลักษณ์แบบดั้งเดิมถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบเชิงเส้น [4] และไม่เชิงเส้น [5] ถึงแม้ว่ารูปแบบที่ถูกปิดจะให้ประโยชน์ในการคำนวณอย่างรวดเร็ว ข้อเสียเปรียบที่สำคัญคือ ข้อจำกัดของประเภทของแบบจำลองที่มีสมการแตกต่างกันและอื่นๆ นอกจากนี้ยังเป็นไปไม่ได้ที่จะประยุกต์วิธีการระบุเอกลักษณ์ของแบบจำลองกับรูปแบบอื่นในการแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุดในงานเครื่องกลไฟฟ้าเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องกล

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

ไฟฟ้าในรูปฟังก์ชันถ่ายโอนด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบูเชิงปรับตัว (ATS) ซึ่งเป็นการเพิ่มพูนทางวิชาการของวิธีการปัญญาประดิษฐ์ที่ทันสมัยเป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะที่สุดวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน เพราะสามารถหลีกเลี่ยงคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเฉพาะถิ่น (Local Optimum Solution) ไปยังคำตอบที่เหมาะที่สุดทั่วไป (Global Optimum Solution) จะมีลักษณะเป็นการค้นหาเฉพาะที่โดยอาศัยกลไกการค้นหาค่าข้างเคียงแบบสืบลงชันสุดเพื่อรักษาคุณสมบัติความเข้มข้น ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ATS มีกลไกสำหรับการหลุดรอดจากการติดกับเฉพาะที่ นั่นคือกลไกย้อนรอยการค้นหา(Back-Tracking mechanism: BT) กล่าวคือเมื่อเกิดปรากฏการณ์การติดกับเฉพาะที่ กระบวนการค้นหาจะเรียกใช้กลไก BT เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยตั้งเงื่อนไขการเรียกใช้กลไกย้อนรอยด้วยจำนวนรอบสูงสุดที่ไม่สามารถหาคำตอบถัดไปที่ดีกว่าได้ ก็ให้มีการเรียกใช้กลไกดังกล่าวเพื่อเปิดโอกาสให้การค้นหาได้เปลี่ยนพื้นที่การค้นหาใหม่ ส่วนกลไกปรับรัศมีการค้นหาทำหน้าที่ปรับรัศมีการค้นหาให้สั้นลง โดยยังรักษาจำนวนคำตอบใกล้เคียงที่จะถูกสุ่มเลือกภายในรัศมีการค้นหาเพื่อเป็นคำตอบถัดไปไว้เท่าเดิม ซึ่งเปรียบเสมือนการเพิ่มความสามารถของการมองเห็นคำตอบวงกว้างให้ดีขึ้นอีก ผลเฉลยที่ได้รับการบันทึกไว้จะถูกพิจารณาเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในฐานะผลเฉลยเริ่มต้นสำหรับกระบวนการทำซ้ำในรอบถัดไป กลไกดังกล่าวจะทำให้เกิดการเปิดพื้นที่ของปริภูมิการค้นหาในบริเวณอื่นที่ยังไม่ได้รับการสำรวจมาก่อน นั่นหมายถึงการเสริมสร้างคุณสมบัติความหลากหลายให้กับขั้นตอนวิธีเนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางของกระบวนการค้นหา ซึ่งนอกจากจะทำให้สามารถหลุดรอดจากการติดกับเฉพาะที่แล้ว ยังทำให้เกิดการสำรวจผลเฉลยทั่วทั้งปริภูมิการค้นหาวงกว้าง จำนวนครั้งการเรียกใช้กลไก BT ขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งของการติดกับเฉพาะที่ซึ่งจะเป็นไปตามภูมิทัศน์ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยทั่วไปจะเป็นการกำหนดแบบไม่เจาะจงและขึ้นกับปัญหาที่สนใจ ด้วยกลไก BT กระบวนการค้นหาของ ATS จะดำเนินไปเรื่อย ๆ จนพบผลเฉลยเฉพาะที่อื่น ๆ และพบผลเฉลยวงกว้างในที่สุด นอกจากกลไก BT แล้ว ขั้นตอนวิธี ATS ยังมี กลไกการปรับรัศมีการค้นหา (Adaptive Radius Mechanism: AR) เพื่อช่วยปรับปรุงให้กระบวนการสามารถพบผลเฉลยภายในเวลาที่รวดเร็ว เมื่อกระบวนการค้นหาของ ATS เคลื่อนที่เข้าใกล้ผลเฉลยเฉพาะที่หรือผลเฉลยวงกว้าง (โดยพิจารณาจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้รับการปรับปรุง) กระบวนการค้นหาจะเรียกใช้กลไก AR รัศมีการค้นหาจะถูกปรับให้มีค่าลดลง ทำให้ปริภูมิการค้นหาย่อยสำหรับสร้างเซตค่าข้างเคียงมีบริเวณที่เล็กลง และในขณะที่จำนวนของค่าข้างเคียงเท่าเดิม ส่งผลให้กระบวนการค้นหาสามารถสร้างค่าข้างเคียงได้อย่างละเอียดมากยิ่งขึ้น

การแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุดในงานเครื่องกลไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์ถือเป็นปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแนวใหม่ [6] ดังนั้นจึงมีการคิดค้นอัลกอริทึมตัวใหม่ๆ อย่างต่อเนื่องเพื่อลดเวลาในการค้นหา ซึ่งจำเป็นต้องพึ่งพาเทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยปัญญาประดิษฐ์เป็นตัวแก้ปัญหาได้ถูกออกแบบมาสำหรับการหาค่าเหมาะที่สุดแบบซับซ้อนมาก ถูกนำเสนอขึ้นมาครั้งแรกโดยโกลเวอร์ (Glover, 1986) [7] โดยการนำเสนอปัญญาประดิษฐ์ที่ชื่อตาบู (Tabu Search) ปัญญาประดิษฐ์นี้ให้ทั้งประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและมีประสิทธิผลที่ดี ในขณะที่วิธีการอื่นๆ ไม่สามารถทำได้ สิ่งที่เป็นประโยชน์ในการปฏิบัติเป็นอย่างมากสำหรับวิธีการของปัญญาประดิษฐ์ก็คือ ตัวมันเองให้ประสิทธิผลที่ดีพร้อมสามารถปรับใช้กับ

ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดได้ทุกรูปแบบ ซึ่งต่างจากวิธีการปัญญาประดิษฐ์ธรรมดาที่ออกแบบสำหรับการแก้ปัญหาแบบหนึ่งๆ เท่านั้น เมื่อมีปัญหาประเภทใหม่ก็ต้องออกแบบวิธีการแก้ปัญหาหรือปัญญาประดิษฐ์แบบใหม่ทุกครั้ง ยิ่งไปกว่านั้นบทเรียนจากการแก้ปัญหาหนึ่งก็ไม่สามารถทำให้มีลักษณะทั่วไปที่ดีพอสำหรับการแก้ปัญหาที่ต่างชนิดกันได้ ซึ่งต่างจากปัญญาประดิษฐ์ที่เป็นยุทธศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาที่มีลักษณะทั่วไป โดยที่ไม่ต้องไปพัฒนาวิธีการเฉพาะสำหรับปัญหาต่างๆ จึงทำให้เมตาฮิวริสติกเป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวางในฐานะที่เป็นอัลกอริธึมที่มีลักษณะทั่วไป และปัญญาประดิษฐ์ที่ดีจะให้คำตอบได้ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดมาก โดยใช้เวลาในการคำนวณที่สมเหตุสมผล วิธีการโดยทั่วไปของปัญญาประดิษฐ์จะเริ่มต้นจากคำตอบ หรือชุดของคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) จากนั้นพัฒนาคำตอบนี้ให้ดีขึ้นเรื่อยๆ ด้วยหลักการของการค้นหาคำตอบ โดยที่โครงสร้างของการค้นหาคำตอบของวิธีการต่างๆ จะมีองค์ประกอบที่เหมือนกัน ในแต่ละขั้นตอนของอัลกอริธึมจะมีคำตอบที่เป็นไปได้ที่แสดงถึงคำตอบปัจจุบันของอัลกอริธึมในปัญญาประดิษฐ์หลายๆชนิด ขั้นตอนวิธี จำนวนมากได้รับการพัฒนาสำหรับแก้ปัญหาการค้นหาค่าเหมาะที่สุดเชิงตัวเลขและเชิงการจัด (Combinatorial) สิ่งเหล่านี้ประสบผลสำเร็จในการประยุกต์กับการแก้ปัญหาการค้นหาค่าเหมาะที่สุดในโลกแห่งความเป็นจริงทางด้านวิศวกรรม โดยวรรณกรรมเทคนิคของอภิศึกษาสำนึกสามารถแบ่งออกเป็นแบบอิงประชากร (Population-Based) และแบบอิงผลเฉลยเดียว (Single Solution-Based) หรือ แบบอิงวิถี (Trajectory-Based) [5, 6, 7, 8] การค้นหาแบบตาบูเชิงปรับตัว (Adaptive tabu search : ATS) เป็นหนึ่งในเทคนิคการค้นหาค่าเหมาะที่สุดที่ทรงพลัง ATS ได้พัฒนามาจากการปรับปรุงซึ่งมีขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นบนรากฐานของ TS แบบดั้งเดิม [9] และการประเมินสมรรถนะของ ATS โดยรายงานผลการวิจัยที่ผ่านมา ATS ได้ผลเป็นที่น่าพอใจสำหรับแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดทางวิศวกรรมที่เป็นปัญหาจริงในแขนงต่างๆ เป็นจำนวนมากโดยเฉพาะและยังสามารถประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาทางวิศวกรรมที่มีความซับซ้อนสูงได้ดีอาทิเช่น การป้องกันระบบไฟฟ้า [10] การระบุเอกลักษณ์ระบบ [11] การสังเคราะห์ระบบควบคุม [12] ระบบไฟฟ้ากำลัง อิเล็กทรอนิกส์กำลังและการประมวลผลสัญญาณเป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีจีนเนติก (Genetic Algorithm : GA) จะพบว่า ATS ค้นหาผลเฉลยได้ดีกว่า ทั้งในแง่ของคุณภาพของผลเฉลยที่พบและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการค้นหา เนื่องจากความโดดเด่นของคุณสมบัติความเข้มข้นและคุณสมบัติความหลากหลายทำให้ขั้นตอนวิธี ATS สามารถหลุดรอดจากการติดกับเฉพาะที่ และสามารถค้นพบผลเฉลยวงกว้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้กลไกการเคลื่อนที่และขั้นตอนวิธี ATS ยังสามารถกำหนดองค์ประกอบการค้นหาที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้ ATS ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไปได้ ซึ่งเป็นการเสนอกลไกย้อนรอยมาเพื่อตั้งเงื่อนไขการเรียกใช้กลไกย้อนรอยด้วยจำนวนรอบสูงสุดที่ไม่สามารถหาคำตอบถัดไปที่ดีกว่าได้ก็ให้มีการเรียกใช้กลไกดังกล่าวเพื่อเปิดโอกาสให้การค้นหาได้เปลี่ยนพื้นที่การค้นหาใหม่ส่วนกลไกปรับรัศมีการค้นหาทำหน้าที่ปรับรัศมีการค้นหาให้สั้นลงโดยยังรักษาจำนวนคำตอบใกล้เคียงที่จะถูกสุ่มเลือกภายในรัศมีการค้นหาเพื่อเป็นคำตอบถัดไปไว้เท่าเดิมซึ่งเปรียบเสมือนการเพิ่มความสามารถของการมองเห็นคำตอบวงกว้างให้ดีขึ้นอีก

ในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการใหม่สำหรับแก้ปัญหาข้อจำกัดของประเภทของแบบจำลองที่มีสมการแตกต่างกันและอื่นๆ ด้วยค่าเหมาะที่สุดในงานเครื่องกลไฟฟ้าด้วยเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ซึ่งเป็นการเพิ่มพูนทางวิชาการของวิธีการปัญญาประดิษฐ์ที่ทันสมัยสำหรับการออกแบบเชิงประยุกต์ด้วยอภิศึกษาสำนึกเพื่อมาออกแบบพารามิเตอร์ ซึ่งหลักการของอภิศึกษาสำนึกเป็นแนวโน้มใหม่ที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่ทันสมัย โดยหนึ่งในนั้นคือประยุกต์ขั้นตอนวิธี ATS สำหรับระบบอินพุตเดียวเอาท์พุตเดียว (Single Input Single Output : SISO) ขั้นตอนวิธี ATS เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดทางวิศวกรรมโดยวิเคราะห์ และสังเคราะห์ผลกระทบกับแบบจำลองสถานการณ์ที่ออกแบบคู่ขนานกันไป ขั้นตอนวิธี ATS พร้อมกับการจำลองสถานการณ์ที่ออกแบบด้วย ATS จะได้อนุวัตด้วยตัวควบคุมสมองกลฝังตัวในการขับเคลื่อนระบบสำหรับควบคุมความเร็วรอบและทดสอบสมรรถนะของระบบในลำดับถัดไป สำหรับผลการจำลองสถานการณ์จะแสดงด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK และตรวจสอบเสถียรภาพของระบบด้วยวิธีการตรวจสอบเสถียรภาพในขอบเขตการทำงานที่กำหนด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อออกแบบขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุดในงานเครื่องกลไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์
2. เพื่อพัฒนาชุดต้นแบบการแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุดในงานเครื่องกลไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์
3. เพื่ออนุวัตตัวควบคุมด้วยสมองกลฝังตัวสำหรับการแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุด

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1. ตัวควบคุม I-PD มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าตัวควบคุม PID สำหรับระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
2. ตัวควบคุม I-PD ที่ออกแบบด้วยปัญญาประดิษฐ์ สำหรับควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีสมรรถนะที่เหนือกว่าตัวควบคุม PID ที่ออกแบบด้วยปัญญาประดิษฐ์

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาแนวทางการควบคุม I-PD สำหรับควบคุมระบบแบบ Single Input Single Output
2. ออกแบบและสร้างชุดเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง ออกแบบและสร้างพลานต์ (Plant) แบบ Single Input Single Output ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงพิกัดแรงดัน 25 โวลต์ กำลังไฟฟ้า 60 วัตต์
3. ออกแบบวงจรชุดควบคุมสมองกลฝังตัว
4. พัฒนาขั้นตอนวิธีด้วย โปรแกรม MATLAB/SIMULINK
5. ออกแบบวงจรขับ (Driver Circuit) ด้วย Darlington Power Module
6. อนุวัตตัวควบคุม I-PD ด้วยตัวประมวลผลแบบสมองกลฝังตัวตระกูล C2000 เบอร์ TMS320F28397D

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาการทำงานของระบบประมวลผลสมองกลฝังตัว (Embedded Controller) ชนิด 32 บิต ตระกูล C2000 เบอร์ TMS320F28397D

2. เขียนโปรแกรมคำสั่งการในรูปแบบลำดับขั้นตอนการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ด้วยโปรแกรมแมทแลบซิมมูลิ้ง

3. ออกแบบและสร้างระบบพลานต์ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงพร้อมวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์โดยสัมพันธ์กับภาระที่เชื่อมต่อ

4. บันทึกผลการทดสอบด้วยระบบจริง พร้อมแก้ไขปัญหา

5. วิเคราะห์ และเปรียบเทียบระบบควบคุมแบบไอ-พีดี และระบบพีไอดี สรุปผลการดำเนินงาน

1.6 ประโยชน์ของงานวิจัย

1. ได้องค์ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการควบคุมแบบไอพีดี(I-PD) และระบบควบคุมแบบ Single input Single output

2. ใช้ตัวควบคุมไอ-พีดี (I-PD) มาแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดจากค่าพรอพอชันนอล (Proportional) และค่าอนุพันธ์ (Derivative) เพื่อควบคุมการตอบสนองของสัญญาณควบคุมและแก้ไขค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ให้ลดลง

3. เป็นชุดต้นแบบนำไปประยุกต์ใช้งานกับวิศวกรรมระบบควบคุมที่ทันสมัย (Modern Control Engineering) ได้

4. ได้ชุดต้นแบบการแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุดในงานเครื่องกลไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์

5. ได้ขั้นตอนวิธีที่ทันสมัยสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุม

6. ได้องค์ความรู้เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาขั้นตอนวิธีด้วยปัญญาประดิษฐ์ที่อันจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้กับงานอุตสากรรมอื่นๆ

1.7 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมายเมื่อสิ้นสุดการวิจัย

ถ่ายทอดองค์ความรู้ ให้กับสถานประกอบการประเภทอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง และนักวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับการสร้างอัลกอริทึมเพื่อประยุกต์ใช้งานกับภาคอุตสาหกรรมด้านไฟฟ้ากำลัง ไฟฟ้าสื่อสาร และระบบควบคุมอัตโนมัติ

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วยเรื่องหลักๆ 3 เรื่อง โดยจะกล่าวถึงการทดสอบสมรรถนะของการค้นหาแบบตาบูเชิงปรับตัวซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่ใช้หาค่าเหมาะที่สุดในการค้นหาคำตอบการประยุกต์ใช้ ATS เพื่อการระบุเอกลักษณ์ระบบ การระบุเอกลักษณ์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งดำเนินการทดลองที่อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมศาสตร์ มหาลัยราชภัฏธนบุรี สมุทรปราการ

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี