

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยที่ได้ใช้ส่วนดำเนินการที่มีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น เมื่อพิจารณาจากผลการตอบสนองที่ได้จากส่วนดำเนินการที่ใช้ระบบควบคุมและระบุส่วนดำเนินการโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม เปรียบเทียบกับระบบควบคุมโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีการเรียนรู้แบบ Genetic และระบบควบคุมที่ใช้อุปกรณ์ชดเชยแบบ PID สำหรับส่วนดำเนินการที่เป็นเชิงเส้น และผลการตอบสนองต่อสัญญาณอ้างอิงที่เป็นสัญญาณรบกวน ที่ได้จากส่วนดำเนินการที่ไม่เป็นเชิงเส้นทั้ง 2 แบบ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ส่วนดำเนินการที่เป็นเชิงเส้น

จากผลการทดลองที่ได้จากส่วนดำเนินการที่เป็นเชิงเส้นสามารถสรุป และวิเคราะห์โดยอาศัยค่าดัชนีที่ใช้อธิบายประสิทธิภาพของระบบควบคุมได้ดังนี้

ก. Steady state output จากผลการทดลองโดยระบบควบคุมทั้ง 3 แบบพบว่า Steady state output ที่ได้จากระบบควบคุมโดยใช้อุปกรณ์ชดเชยแบบ PID จะมีค่าเข้าสู่สัญญาณอ้างอิงได้มากที่สุด ต่อมาก็เป็น Steady state output ที่ได้จากระบบควบคุมและระบุส่วนดำเนินการโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ส่วนระบบควบคุมโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้การเรียนรู้แบบ genetic นั้นมี Steady state output ที่ต่างจากสัญญาณอ้างอิงมากที่สุด Steady state output ที่ได้จากระบบควบคุมและระบุส่วนดำเนินการโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม และระบบควบคุมที่ใช้อุปกรณ์ชดเชยแบบ PID พบว่าที่เวลานานเข้าค่าที่ได้จะยิ่งเข้าสู่สัญญาณอ้างอิงมากเท่านั้น ต่างจากค่าที่ได้จากระบบควบคุมโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้การเรียนรู้แบบ genetic ที่ค่าสัญญาณขาออกจากส่วนดำเนินการจะคงที่ตลอดเมื่อหลังจากเวลาประมาณ 0.5 วินาที โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะทดลองนานเท่าไรก็ตาม

ข. Steady state error ค่า steady state error นี้จะเป็นไปในทางเดียวกับ Steady state output คือ ค่าที่ได้จากระบบควบคุมโดยใช้อุปกรณ์ชดเชยแบบ PID จะมีค่าเข้าสู่ศูนย์ได้มากที่สุด ต่อมาก็เป็นค่าที่ได้จากระบบควบคุมและระบุส่วนดำเนินการโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ส่วนระบบควบคุมโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้การเรียนรู้แบบ genetic นั้นได้ค่า steady state error

ที่มากที่สุดเช่นกัน และเมื่อทำการขยายเวลาที่ใช้จำลองระบบออกไปอีกพบว่า ค่าที่ได้จากระบบควบคุมและระบบส่วนดำเนินการโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม และระบบควบคุมที่ใช้อุปกรณ์ชุดเซตแบบ PID จะยิ่งเข้าสู่ศูนย์มากยิ่งขึ้น ส่วนค่าที่ได้จากระบบควบคุมโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้การเรียนรู้แบบ genetic จะคงที่ตลอดเมื่อหลังจากเวลาประมาณ 0.5 วินาที โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะทดลองถึงเวลานานเท่าไรก็ตาม เช่นเดียวกันกับ Steady state output

ก. Rise time ระบบควบคุมโดยใช้อุปกรณ์ชุดเซตแบบ PID จะมีค่าที่สั้นที่สุด ส่วนระบบควบคุมและระบบส่วนดำเนินการโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมจะมีค่า rise time ที่นานที่สุด การที่จะทำให้ระบบควบคุมและระบบส่วนดำเนินการโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมจะมีค่า rise time ที่สั้นนั้นสามารถทำได้โดยการเพิ่มอัตราการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ควบคุม แต่การเพิ่มอัตราการเรียนรู้จะทำให้ระบบควบคุมไม่มีเสถียรภาพได้ง่าย

ง. Setting time ผลที่ได้จากระบบระบบควบคุมโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้การเรียนรู้แบบ genetic จะสั้นที่สุด ส่วนระบบควบคุมและระบบส่วนดำเนินการโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมจะมีค่า setting time ที่นานที่สุด ซึ่งเป็นไปในแนวใกล้เคียงกับค่า rise time

จ. % Over shoot การเกิด over shoot จะมากที่สุดเมื่อใช้ระบบควบคุมที่ใช้อุปกรณ์ชุดเซตแบบ PID แต่สามารถปรับลดลงได้จากการปรับตัวแปรของอุปกรณ์ชุดเซต (ในกรณีนี้ได้ปรับอุปกรณ์ชุดเซตโดยคำนึงถึงค่าดัชนีที่ได้กล่าวมาแล้วด้วย) ส่วนระบบควบคุมโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้การเรียนรู้แบบ genetic จะมีค่า %over shoot ที่ต่ำลงไป แต่ส่วนระบบที่นำเสนอจะไม่เกิด over shoot เลย

ค. ค่าความถี่ของการสุ่มสัญญาณ เมื่อลดความถี่ของการสุ่มสัญญาณจากค่าปกติ 100 ครั้ง ใน 1 วินาที เป็น 25 ครั้ง ใน 1 วินาที พบว่าผลการตอบสนองที่ได้จากระบบควบคุมที่ใช้อ้างอิง[22] จะมีการสั้นตลอดเวลาลงหลังจากที่ผ่านช่วง rise time แล้ว ส่วนระบบควบคุมที่ใช้อุปกรณ์ชุดเซตแบบ PID ผลการตอบสนองจะมีการเกิด over shoot เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเพิ่มความถี่ของการสุ่มสัญญาณเป็น 1000 ครั้ง ใน 1 วินาที พบว่าผลการตอบสนองที่ได้จากระบบควบคุมที่ใช้อ้างอิง[22] จะมีการสั้นที่ช่วงเริ่มต้นเท่านั้น แต่มีการเกิด over shoot ที่มากขึ้น ส่วนระบบควบคุมที่ใช้อุปกรณ์ชุดเซตแบบ PID ผลการตอบสนองจะมีการเกิด over shoot ที่ลดลง และระบบควบคุมที่นำเสนอจะได้ผลการตอบสนองที่ใกล้เคียงเมื่อใช้ความถี่ของการสุ่มสัญญาณ 100 ครั้ง ใน 1 วินาทีไม่ว่าจะเพิ่มหรือลดความถี่ของการสุ่มสัญญาณ

โดยสรุปแล้วผลการทดลองที่ได้จากระบบควบคุมทั้ง 3 แบบจะให้ข้อดี และข้อด้อยที่ต่างกันออกไปตามที่ได้อธิบายไปแล้วข้างต้น เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างระบบควบคุมโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 2 แบบ พบว่าการตอบสนองในช่วงเริ่มต้นที่ได้จากระบบควบคุมโดยใช้โครง

ข่ายประสาทเทียมที่ใช้การเรียนรู้แบบ genetic จะเร็วกว่า แต่จะมีการเกิด over shoot ส่วนที่เวลาเสถียรพบว่าผลการตอบสนองที่ได้จากระบบควบคุมและระบุส่วนดำเนินการโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมจะดีกว่า (พิจารณาจาก steady state output และ ค่า steady state error) ซึ่งระบบควบคุมและระบุส่วนดำเนินการโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมตลอดทุกครั้งที่มีการส่งสัญญาณ เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ควบคุมได้รับการปรับปรุงค่าน้ำหนักอยู่ตลอดเวลา ทำให้สัญญาณควบคุมที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้สัญญาณขาออกใกล้เคียงกับสัญญาณอ้างอิงมากที่สุด

5.1.2 ส่วนดำเนินการที่ไม่เป็นเชิงเส้น

ในงานวิจัยนี้ได้นำเอาส่วนดำเนินการที่ไม่เป็นเชิงเส้นมาใช้ทดลองอยู่ 2 แบบ ซึ่งส่วนดำเนินการทั้งสองนี้มีจุดที่แตกต่างกันที่ ส่วนดำเนินการแบบที่ 1 สมการการถ่ายโอนเป็นเชิงเส้นกับสัญญาณขาเข้า แต่ส่วนดำเนินการแบบที่ 2 สมการการถ่ายโอนจะไม่เป็นเชิงเส้นกับสัญญาณขาเข้า เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองในบทที่ 4 สามารถสรุปได้ดังนี้

ผลการตอบสนองที่ได้จากส่วนดำเนินการทั้ง 2 แบบ โดยใช้ระบบควบคุมและระบุส่วนดำเนินการโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม พบว่าให้ผลการทดลองที่เป็นไปในแนวทางเดียวกัน คือ ในการทำงานของระบบควบคุมครั้งแรกที่โครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 2 โครงข่ายมีการเรียนรู้ นั่น สัญญาณขาออกที่ได้จะต่างจากสัญญาณอ้างอิงที่ป้อนเข้าระบบควบคุมมาก แต่หลังจากนั้นเมื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมได้รับการเรียนรู้ที่มากพอ จะได้สัญญาณขาออกจากส่วนดำเนินการที่เหมือนกับสัญญาณอ้างอิงมาก เมื่อพิจารณาสัญญาณ plant information โดยเทียบกับสัญญาณควบคุม และสัญญาณขาออกพบว่า ในช่วงการเรียนรู้ครั้งแรกของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ระบุส่วนดำเนินการสัญญาณ plant information จะไม่แน่นอนคล้ายกับสัญญาณที่ถูกสุ่ม (random signal) ทำให้สัญญาณควบคุมที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ควบคุมไม่มีความแน่นอนตามไปด้วย ส่งผลให้สัญญาณขาออกที่ได้จากส่วนดำเนินการมีความผิดเพี้ยนจากสัญญาณอ้างอิงมาก แต่เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ระบุส่วนดำเนินการได้รับการปรับปรุงค่าน้ำหนักจนได้สัญญาณขาออกที่ใกล้เคียงกับสัญญาณจากส่วนดำเนินการแล้ว สัญญาณ plant information จะมีความแน่นอนขึ้น (คู่คล้ายกับสัญญาณรบกวนที่มีความถี่สัมพันธ์กับสัญญาณอ้างอิง) ทำให้สัญญาณควบคุมที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ควบคุมมีความแน่นอนตามไปด้วย ส่งผลให้สัญญาณขาออกที่ได้จากส่วนดำเนินการมีความผิดเพี้ยนจากสัญญาณอ้างอิงน้อยลงนั่นเอง

5.2 ปัญหาและวิธีการแก้ปัญหา

ปัญหาที่พบและมีความสำคัญในงานวิจัยระบบควบคุมและระบุส่วนดำเนินการโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีดังต่อไปนี้

ก. การปรับปรุงโครงสร้างแบบ PID เพื่อให้ได้ผลการตอบสนองที่ดีที่สุด และเหมาะสมที่สุดสำหรับใช้กับส่วนดำเนินการที่เป็นเชิงเส้นที่ใช้อ้างอิง วิธีแก้ปัญหาคือใช้กฎการปรับแต่งในบทที่ 2 มาเป็นค่าเริ่มต้น จากนั้นปรับตัวแปรที่ละตัวโดยพยายามให้ผลการตอบสนองโดยรวมออกมาดีที่สุด

ข. อัตราการลู่สัญญาณที่ใช้ในระบบจำลองที่เหมาะสมกับส่วนดำเนินการ ในระหว่างการทดสอบความถูกต้องในการทำงานของระบบควบคุมจำลองพบว่าในกรณีที่ค่าอัตราการลู่สัญญาณต่ำเกินไประบบจำลองจะให้ผลที่คลาดเคลื่อนไปมาก[6] แต่เนื่องจากระบบควบคุมที่ใช้อ้างอิง[22] ได้กำหนดค่าอัตราการลู่สัญญาณมาให้แล้ว เมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากระบบจำลองกับผลที่ได้จากเอกสารอ้างอิง ที่อัตราการลู่สัญญาณค่าเดียวกัน จะให้ผลการทดลองที่เหมือนกัน

ค. ค่าสัญญาณ plant information ที่ถูกต้องที่สุด ซึ่งสัญญาณนี้จะได้มาจากโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ระบุส่วนดำเนินการ แสดงว่าความถูกต้องของสัญญาณนี้ขึ้นอยู่กับการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมโครงข่ายนี้ ดังนั้นจึงต้องทำให้ผลการจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมนี้เหมือนส่วนดำเนินการให้มากที่สุด โดยให้โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ระบุส่วนดำเนินการนี้สามารถปรับค่าน้ำหนักได้หลายรอบใน 1 คาบของการลู่สัญญาณ เพื่อให้สัญญาณขาออกจากโครงข่ายประสาทเทียมใกล้เคียงกับสัญญาณจากส่วนดำเนินการมากที่สุด

5.3 ข้อเสนอแนะ

สมการตัดสินใจที่ใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับงานวิจัยนี้เป็น ฟังก์ชัน “tansig” ใน MATLAB สำหรับเซลล์ ที่ชั้นซ่อนเพราะ ฟังก์ชันนี้มีขอบเขตที่ค่าสูงสุด และค่าสุดเป็น ± 1 ทำให้สัญญาณที่ออกจากโหนดแต่ละโหนดที่ชั้นซ่อนถูกจำกัดไว้ เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมมีเสถียรภาพในกรณีที่ค่าน้ำหนักที่ปรับยังไม่เหมาะสม ส่วนเซลล์ที่ชั้นสัญญาณขาออกเลือกใช้สมการตัดสินใจแบบเป็นเชิงเส้นเพราะต้องการให้สัญญาณขาออกจากโครงข่ายไม่ถูกจำกัดโดยสมการตัดสินใจ สำหรับผู้สนใจสามารถเลือกใช้สมการตัดสินใจแบบต่างๆ มาแทนสมการตัดสินใจที่ได้นำเสนอไปก็ได้

จำนวนโหนดของโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 2 โครงข่าย ในงานวิจัยนี้ได้ประมาณมาจากโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในเอกสารอ้างอิง [22] สำหรับผู้สนใจสามารถทำการปรับเพิ่มหรือลดจำนวนโหนดของโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 2 โครงข่าย เพื่อหาจำนวนที่เหมาะสม แต่ต้องคำนึงว่าการปรับเพิ่มจำนวนโหนดจะทำให้เวลาที่ใช้ในการปรับค่าน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมเพิ่มขึ้น และจำนวนโหนดจะปรับได้เฉพาะจำนวนโหนดที่ชั้นซ่อนเท่านั้น เพราะจำนวนโหนดที่ชั้นสัญญาณขาเข้าและขาออกได้ถูกกำหนดไว้แล้วตามโครงสร้างที่ได้นำเสนอ

ระบบควบคุมที่มีอาศัยความสามารถในการปรับตัวของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อให้ได้ผลการตอบสนองที่ดีมีอยู่มากมายหลายแบบในเอกสารทางวิชาการ เช่น ระบบการควบคุมการเคลื่อนที่ของเรือ[14] การควบคุมส่วนดำเนินการที่ไม่เป็นเชิงเส้น[2] การควบคุมแบบจำลองของของไหล[3] และระบบควบคุมความร้อนโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม[10] เป็นต้น โดยเอกสารเหล่านี้ทางผู้สนใจสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับสร้างระบบควบคุมออกมาได้ วิธีการปรับค่าน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมก็มีการนำเสนออย่างมากมายในเอกสารทางวิชาการ เช่น การเรียนรู้โดยอาศัยการคัดเลือกทางพันธุกรรม (genetic) [24] หรือโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการป้อนสัญญาณกลับ(recurrent) แบบ diagonal [11] ซึ่งสามารถลดจำนวนค่าน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมได้ การสร้างระบบควบคุมจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางผู้สนใจก็สามารถศึกษาได้จากเอกสารทางวิชาการที่กล่าวถึงการสร้างระบบควบคุมโดยใช้ MATLAB และ ภาษา JAVA ทำงานร่วมกัน [6] นอกจากการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในระบบควบคุมอย่างเดียวแล้ว ก็ยังมีการประยุกต์เอาวิธีการต่าง ๆ มาใช้เพิ่มประสิทธิภาพของระบบควบคุมอีกด้วย เช่น การใช้ Fuzzy logic มาทำงานร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียม [5] หรือการนำทฤษฎี chaos มาประยุกต์ใช้ในระบบควบคุม [19] เป็นต้น