บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการวิเคราะห์ผลการจำลองในบทที่ 5 จะสามารถสรุปการนำข่ายงานนิวรัลไปใช้งานได้ดังนี้

6.1 การสรุปผลการจำลอง

สำหรับในการหาแบบจำลองข่ายงานที่เหมาะสมนั้นโดยใช้ข้อมูลชุดที่ 1 (ข้อมูลชุดฝึกข่ายงาน) และ ชุดที่ 2 (ข้อมูลชุดทดสอบข่ายงาน) ความถี่ในการเก็บข้อมูลคือทุกหนึ่งชั่วโมง ซึ่งใช้ข่ายงานนิวรัลแบบป้อนไปข้างหน้าหลายชั้นและการเรียนรู้แบบ อัลกอริธึมการกระจายความผิดพลาดย้อนกลับชนิด Levenberg Marquardt ฟังก์ชันซิกมอยด์เป็นฟังก์ชันกระตุ้น พบว่าการจำลองกระบวนการของการทำนายค่าอัตราการไหลของพอลิเมอร์ในเครื่องปฏิกรณ์, อัตราการไหลของพอลิเมอร์หลังผ่านเครื่องตัดเม็ดและค่าความความหนาแน่นของพอลิเมอร์หลังผ่านเครื่องตัดเม็ดโดยใช้ชั้นซ่อน 2 ชั้น ให้ผลดีมากทั้งชุดข้อมูลในการสร้างและทดสอบแบบจำลองโดยสามารถสังเกตได้จากค่าความผิดพลาดรวมกำลังสอง (SSE) ซึ่งมีค่าน้อยมาก โดยการเลือกแบบจำลองที่จะนำไปทดสอบการใช้งานจริงแบบออนไลน์จะทำการเลือกข่ายงานที่มีค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองน้อยที่สุดในชุดทดสอบที่จำนวนรอบใดๆ โดยได้ผลดังต่อไปนี้

- โครงสร้างที่เหมาะสมในการทำนายค่าอัตราการไหลของพอลิเมอร์ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1: 11-5-3-1 จำนวนรอบที่ 106 จะได้ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสอง = 0.03038
- โครงสร้างที่เหมาะสมในการทำนายค่าอัตราการไหลของพอลิเมอร์ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2: 11-7-3-1 จำนวนรอบที่ 133 จะได้ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสอง = 0.02659
- โครงสร้างที่เหมาะสมในการทำนายค่าอัตราการไหลของพอลิเมอร์หลังผ่านเครื่องตัดเม็ด: 27-7-3-1 จำนวนรอบที่ 1000 จะได้ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสอง = 0.05355
- โครงสร้างที่เหมาะสมในการทำนายค่าความหนาแน่นของพอลิเมอร์หลังผ่านเครื่องตัดเม็ด: 25-11-9-1 จำนวนรอบที่ 69 จะได้ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสอง = 0.0883

ถึงแม้ว่าโครงสร้างข่ายงานทั้งสี่จะให้ผลการทำนายที่ดี แต่ยังมีข้อผิดพลาดอยู่ที่ค่าเริ่มต้นที่ใช้ในการฝึกและทดสอบข่ายงานเนื่องจากขาดข้อมูลอัตราการไหลหรือความหนาแน่น ณ เวลาในอดีต โดยเฉพาะแบบ

จำลองของการทำนายค่าอัตราการไหลหลังผ่านเครื่องตัดเม็ดจะต้องใช้ข้อมูลอินพุท 11 นิวรัล ผ่านเข้าไปหาเอาท์พุทที่ 1 ในแบบจำลองของการทำนายค่าอัตราการไหลในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 และใช้ข้อมูลอินพุทอีก 11 นิวรัล ผ่านเข้าไปหาเอาท์พุทที่ 2 ในแบบจำลองของการทำนายค่าอัตราการไหลในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2 ซึ่งเอาท์พุททั้งสองค่านี้จะมาป้อนเป็นอินพุทในแบบจำลองของการทำนายค่าอัตราการไหลหลังผ่านเครื่องตัดเม็ดโดยรวมกับอินพุทค่าอื่นๆอีก 5 ค่า ซึ่งจะพบว่าแบบจำลองของการทำนายค่าอัตราการไหลในเครื่องปฏิกรณ์จะมีค่าความผิดพลาดในทำนายค่าเอาท์พุทต่างจากค่าเป้าหมายอยู่เล็กน้อย ดังนั้นค่าความผิดพลาดในแบบจำลองของการทำนายค่าอัตราการไหลหลังผ่านเครื่องตัดเม็ดจะมีค่าความผิดพลาดเพิ่มขึ้นเนื่องจากต้องอาศัยเอาท์พุทจากแบบจำลองทั้ง 2 ในเครื่องปฏิกรณ์มาเป็นอินพุทในแบบจำลองของการทำนายค่าอัตราการไหลหลังผ่านเครื่องตัดเม็ด และจากการหาแบบจำลองของข่ายงานยังพบอีกว่าการเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างข่ายงานที่มีชั้นซ่อนแบบชั้นเดียวและสองชั้นจะพบว่าข่ายงานที่มีชั้นซ่อนแบบสองชั้นจะให้ผลในการทำนายที่ดีกว่าแบบชั้นเดียวโดยพิจารณาจากค่าความผิดพลาดรวมกำลังสอง แต่จะเสียเวลาในการประมวลผลมากกว่า

หลังจากที่ได้แบบจำลองที่เหมาะสมของข่ายงานทั้งสี่แล้วนำข่ายงานทั้งสี่ มาทำการทดสอบกับข้อมูลอินพุทและเอาท์พุทรายนาที (ข้อมูลชุดที่ 3) เพื่อทดสอบการนำเข้าใช้งานในโรงงานจริง ซึ่งพบว่าผลอยู่ในเกณฑ์ที่ดีพอสมควรโดยเฉพาะการทำนายค่าความหนาแน่นหลังผ่านเครื่องตัดเม็ดจะให้ผลอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ซึ่งแบบจำลองสามารถปรับค่าน้ำหนักตลอดเวลาถ้าชุดข้อมูลที่เข้ามามีทั้งอินพุทและค่าเป้าหมายเพื่อให้ข่ายงานสามารถทำนายค่าเอาท์พุทได้ถูกต้องมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีข้อผิดพลาดเดียวกับการหาแบบจำลองและการทดสอบแบบจำลองคือค่าเริ่มต้นที่ใช้ในการฝึกและทดสอบข่ายงานเนื่องจากขาดข้อมูลอัตราการไหล ณ เวลาในอดีต รวมทั้งยังพบความผิดพลาดของการทำนายในบางข้อมูลจะมีค่าสูงเกินความเป็นจริง (overshoot) อาจเนื่องมาจากค่าที่ได้จากระบบ Distributed Control System (DCS) มีการบันทึกข้อมูลผิดพลาดทำให้ค่าในการทำนายมีค่าสูงเกินไป หรืออาจเป็นจากระบบเครื่องมือวัดที่มีการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซผิดพลาด (Process Gas Chromatography, PGC) ในแต่ละช่วงเวลาของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างข่ายงานกับข้อมูลที่ใช้ทดสอบออนไลน์มีค่าความผิดพลาดที่แตกต่างกัน หรือ การวัดอัตราการไหลของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบ Coriolis-mass flow meter ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสารแขวนลอยในตัวทำละลายเฮกเซน ซึ่งจะเป็นผลทำให้อัตราการไหลในบางจังหวะขาดหายไปหรือมีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็นเนื่องจากเกิดการอุดตันในระหว่างกระบวนการป้อนตัวเร่งปฏิกิริยา และในช่วงที่ทำการไล่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุดตันภายในท่อด้วยเฮกเซนจะทำให้อัตราการไหลมากกว่าปกติทำให้ค่าเอาท์พุทที่ทำนายได้มีค่าความผิดพลาดในแนวโน้มที่ค่าเอาท์พุทสูงกว่าปกติ ดังนั้นสาเหตุเหล่านี้จะมีผลทำให้การทำนายมีค่าความผิดพลาดด้วย

สรุปว่าข่ายงานนิวรัลที่ใช้การเรียนรู้แบบอัลกอริธึมการกระจายความผิดพลาดย้อนกลับชนิด Levenberg Marquardt สามารถประยุกต์ใช้กับระบบที่ซับซ้อนที่มีค่าอินพุทหลายค่าและเอาท์พุทหนึ่งค่าได้ดี ซึ่งสามารถเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอินพุทและเอาท์พุทได้เป็นอย่างดี แต่จะต้องใช้หน่วยความจำมาก ถึงอย่างไรก็ตามปัจจัยอื่นก็มีความสำคัญในการสร้างแบบจำลองได้แก่ จำนวนข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการฝึกข่ายงาน

ต้องมีจำนวนและความแตกต่างกันมากพอที่จะบอกพฤติกรรมของกระบวนการ, ควรมีการสอบเทียบเครื่องมือวัดเพื่อช่วยลดความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลอินพุทให้มีค่าความถูกต้องมากกว่านี้ และควรตรวจสอบการบันทึกข้อมูลของ DCS โดยพยายามให้เวลาที่ DCS ประมวลผลเป็นช่วงเวลาที่ไม่ตรงกับการบันทึกค่าอินพุทเพื่อป้องกันการบันทึกข้อมูลผิดพลาดเนื่องจาก DCS มีหน่วยประมวลผลจำกัดเนื่องจาก DCS มี เวลาในการประมวลผลทุกๆ 1 นาที ดังนั้นเวลาที่จะให้ DCS บันทึกข้อมูลควรเป็นช่วงเวลาที่ไม่ตรงกับเวลาที่ 1 นาทีที่ DCS ประมวลผลที่ใช้สำหรับการควบคุม ส่วนปัญหาสำหรับการฝึกข่ายงานที่ควรให้ความระมัดระวังคือการหยุดข่ายงานในสภาวะที่มีค่าความผิดพลาดเฉพาะที่ซึ่งไม่ใช่ค่าความผิดพลาดต่ำสุดจะทำให้แบบจำลองไม่ดีเนื่องจากสามารถจะทำนายค่าเอาท์พุทได้ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากกว่าถ้าสามารถไปหยุดที่ค่าความผิดพลาดต่ำสุด และปัญหาสุดท้ายคือปัญหาการฝึกข่ายงานมากเกินไปทำให้ข่ายงานไม่เกิดการเรียนรู้แต่เกิดการจดจำ ซึ่งจะทำให้การทำนายค่าเอาท์พุทซึ่งจะต้องแก้ไขโดยให้ข่ายงานหยุดเมื่อถึงจุดผิดพลาดต่ำที่สุด แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบให้โปรแกรมบันทึกแบบจำลองที่รอบที่ทำให้เกิดค่าความผิดพลาดต่ำสุดดังนั้นจึงสามารถตัดปัญหาของแบบจำลองที่จะไปตกที่ความผิดพลาดเฉพาะที่หรือแบบจำลองมีการฝึกข่ายงานมากเกินไปได้

6.2 บทสรุป

จากงานวิจัยนี้จะสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ข่ายงานนิวรัลแบบป้อนไปข้างหน้าหลายชั้นโดยใช้อัลกอริธึมการกระจายความผิดพลาดย้อนกลับชนิด Levenberg-Marquardt โดยใช้จำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำนายค่าอัตราการไหลของพอลิเมอร์ที่เครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 , อัตราการไหลของพอลิเมอร์ที่เครื่องปฏิกรณ์ที่ 2 , อัตราการไหลของพอลิเมอร์หลังผ่านเครื่องตัดเม็ด และความหนาแน่นหลังผ่านเครื่องตัดเม็ด ของกระบวนการผลิตโพลีเอททิลีนได้

2) เปรียบเทียบผลการทำนายระหว่างข่ายงานที่มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น กับ ชั้นซ่อน 1 ชั้นสำหรับในงานวิจัยนี้ พบว่าข่ายงานที่มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น ดีกว่า 1 ชั้นเนื่องจากให้ค่าความผิดพลาดรวมยกกำลังสองน้อยกว่า แต่ต้องใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่า

3) ในการเปรียบเทียบผลการจำลองของข่ายงานนิวรัลพบว่าผลการฝึกข่ายงานจะดีกว่าผลการไปใช้งานจริงในโรงงาน อย่างไรก็ตามผลการทำนายแบบออนไลน์ก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานได้จริง

4) ตัวแปรที่มีผลต่อค่าอัตราการไหลและความหนาแน่นได้แก่

(1) อัตราส่วนระหว่างไฮโดรเจนและเอทธิลีนในสถานะเฟสก๊าซ (H_2/C_2) ของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1และ 2

(2) เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจนในสถานะเฟสก๊าซ ($\%H_2$) ของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2

(3) อัตราส่วนระหว่างบิวทีน/โพรพิลีนและเอทธิลีนในสถานะเฟสก๊าซ ($c_3/c_2, c_4/c_2$) ของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2

(4) อัตราการไหลของโคโมโนเมอร์ (comonomer feed rate) ของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2

(5) อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ (reactor temp) ของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2

(6) ความดันของเครื่องปฏิกรณ์ (pressure reactor) ของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2

(7) อัตราการไหลของสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst feed rate) ของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2

(8) อัตราการไหลของสารช่วยเร่งปฏิกิริยา (co-catalyst feed rate) ของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2

(9) อัตราการไหลของเอทธิลีน (ethylene feed rate) ของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2

(10) อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารละลายต่ออัตราการไหลของสารช่วยเร่งปฏิกิริยาของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2

(11) อุณหภูมิของพอลิเมอร์ในรูปผง

(12) อุณหภูมิของเรซินในเครื่องตัดเม็ด

(13) ค่าแอมแปร์ของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องตัดเม็ด

(14) ค่าน้ำหนักของที่เก็บผงพอลิเมอร์

5) จากการนำนิวรัลเข้าประยุกต์ใช้งานยังต้องทำมีวิธีการกรองข้อมูลให้ดีเนื่องจากฐานข้อมูลอาจจะมีความผิดพลาดมาจากการส่งผ่านข้อมูลจาก DCS หรือความผิดพลาดหรือการเบี่ยงเบนของเครื่องมือวัดในโรงงาน

6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำงานวิจัยในอนาคต

เนื่องจากงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการวิจัยโดยทดสอบหาแบบจำลองและทดสอบกับข้อมูลออนไลน์จริงโดยใช้อัลกอริธึมการกระจายความผิดพลาดย้อนกลับ ซึ่งผลการทำนายออกมาอยู่ในเกณฑ์ดีพอสมควรในการประยุกต์ใช้กับระบบเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ซึ่งงานวิจัยในอนาคตเกี่ยวกับทำนายควรที่จะทำแบบจำลองของการทำนายค่าอัตราการไหลและค่าความหนาแน่นที่มีการจัดเรียงของเครื่องปฏิกรณ์แบบอนุกรม เนื่องจากผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่ใช้จะเป็นพลาสติกจำพวกฟิล์มเกรด เช่นทำถุงใส่อาหาร เป็นต้น

หลังจากที่ได้แบบจำลองข่ายงานนิวรัลในการทำนายค่าเอาท์พุทตามที่ต้องการแล้วนั้นคือข่ายงานนิวรัลสามารถแทนความเป็นไดนามิกของระบบได้ที่มีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในการปฏิบัติงานควบคุมกระบวนการ ซึ่งงานวิจัยสำหรับในอนาคตที่จะเสนอแนะในด้านการควบคุมกระบวนการคือการนำข่ายงานนิวรัลไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมในระบบโรงงานจริง เช่นระบบควบคุม NIMC (Neural Internal Model Control) หรือ MPC (Model Predictive Control) ซึ่งสามารถควบคุมตัวแปรที่มีผลกับคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยสามารถปรับกระบวนการได้ถูกต้องและรวดเร็วเพื่อให้ได้คุณภาพผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการและจะสามารถช่วยลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพได้มากกว่าปัจจุบัน