

การทำนายค่าอัตราการใช้และควมหนาแน่นของพอลิเมอร์ในเครื่องปฏิกรณ์โดยใช้ข่ายงานนิวรัล

นางสาวนงลักษณ์ พลรักษา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0656-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MELT FLOW RATE AND DENSITY PREDICTION OF POLYMER  
IN REACTOR USING NEURAL NETWORK

Miss. Nongluk Polruksa

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0656-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การทำนายค่าอัตราการไหลและความหนาแน่นของพอลิเมอร์  
ในเครื่องปฏิกรณ์โดยใช้ข่ายงานนิวรัล

โดย

นางสาวนงลักษณ์ พลรักษา

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติคุมกร

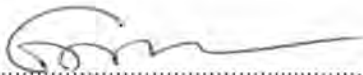
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

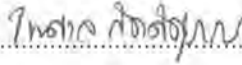
ดร. ไพรินทร์ ชูโชติถาวร

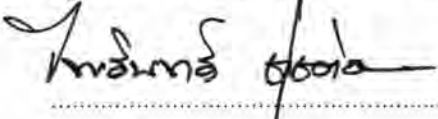
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ  
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

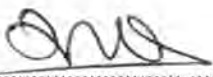
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติคุมกร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ดร. ไพรินทร์ ชูโชติถาวร)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศิริ)

นางลักษณีย์ พลรักษา : การทำนายค่าอัตราการไหลและความหนาแน่นของพอลิเมอร์ในเครื่องปฏิกรณ์โดยใช้ข่ายงานนิวรัล ( MELT FLOW RATE AND DENSITY PREDICTION OF POLYMER IN REACTOR USING NEURAL NETWORK) อาจารย์ที่ปรึกษา :

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ดร. ไพรินทร์ ชูโชติถาวร : 268 หน้า, ISBN 974-13-0656-3

ปัญหาที่สำคัญสำหรับการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์คือการขาดเครื่องมือวัดคุณสมบัติของพอลิเมอร์แบบออนไลน์ ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองกระบวนการผลิตโพลีเอทิลีนโดยใช้ข่ายงานนิวรัลและใช้ข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตจากกระบวนการโพลีเมอร์โรเซชันในเครื่องปฏิกรณ์ของกระบวนการผลิตโพลีเอทิลีน นั่นคือข้อมูลอินพุตได้จากการวัดค่าอุณหภูมิ, ความดัน, อัตราการไหล, องค์ประกอบของก๊าซและตัวแปรอื่นๆในเครื่องปฏิกรณ์ และข้อมูลเป้าหมายได้จากการทดสอบคุณสมบัติของพอลิเมอร์ในห้องทดสอบคุณสมบัติของพอลิเมอร์ ซึ่งการฝึกข่ายงานจะใช้เทคนิคการเรียนรู้อัลกอริทึมการกระจายความผิดพลาดย้อนกลับแบบ Levenberg-Marquardt ในการพัฒนาแบบจำลองให้เหมาะสม ผลการจำลองพบว่าแบบจำลองกระบวนการโดยใช้ข่ายงานนิวรัลสามารถทำนายค่าอัตราการไหลและความหนาแน่นได้ดี และแบบจำลองกระบวนการนี้ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับการทำนายค่าอัตราการไหลและความหนาแน่นแบบออนไลน์ได้เป็นอย่างดีเช่นกัน ประโยชน์จากการทำนายค่าอัตราการไหลและความหนาแน่นแบบออนไลน์จะทำให้สามารถควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่เบี่ยงเบนไปจากมาตรฐานที่ต้องการได้ และช่วยลดปริมาณผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐานในระหว่างการเปลี่ยนเกรดการผลิตได้

ภาควิชา                      วิศวกรรมเคมี  
สาขาวิชา                    วิศวกรรมเคมี  
ปีการศึกษา                    2543

ลายมือชื่อนิสิต  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

นางลักษณีย์ พลรักษา  
ไพศาล กิตติศุภกร  
ไพรินทร์ ชูโชติถาวร

# # 4171437521 ; MAJOR : CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORD: NEURAL NETWORK / PROCESS MODEL

NONGLUK POLRUKSA: MELT FLOW RATE AND DENSITY PREDICTION OF  
POLYMER IN REACTOR USING NEURAL NETWORK. THESIS ADVISOR :

DR. PAISAN KITTISUPAKORN, THESIS CO-ADVISOR : DR. PAILIN

CHUCHOTTAWORN, 268 pp., ISBN 974-13-0656-3

A major difficulty affecting the control of product quality in industrial polymerization is the lack of suitable on-line polymer property measurements. The objective of this research work is to develop neural network process models of a polyethylene polymerization reactor based on input-output information. In this work, the neural network is applied to predict quality variables: melt flow rate and density, from available on-line temperature, pressure, flow rate, gas composition and other variables measurements of the reactor. Error backpropagation and Levenberg-Marquardt techniques are used to train the developed neural network models from actual operating data. Simulation results show that the developed neural network process models can successfully predict both melt flow rate and density. The developed neural network process models can also be used on-line to predict the melt flow rate and density. In the other words, the developed neural network model can give good prediction of melt flow rate and density on-line. This information is used in a control formulation to control product specifications as desired.

Department Chemical Engineering

Field of study Chemical Engineering

Academic year 2000.....

Student's signature

Advisor's signature

Co-advisor's signature

นางสาว นงนุช นามาน

Dr. Paisan Kittisupakorn  
Dr. Pailin Chuchottaworn

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้โดยได้รับความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. ไพศาล กิตติศุภกร อาจารย์ที่ปรึกษา และ ดร. ไพรินทร์ ชูโชติถาวร อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ทำให้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยความช่วยเหลือและแนะนำจากท่าน ตลอดจนข้อเสนอแนะและแนวคิดต่างๆ ของ การวิจัยด้วยดีมาตลอดจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. อูรา ปานเจริญ และ อาจารย์ ดร. มนต์รี วงศ์ศรี ที่กรุณามาร่วมเป็น กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งได้ให้ความสนใจและได้ให้ข้อคิดที่เป็นประโยชน์เพิ่มเติมต่องานวิจัยฉบับนี้ทำให้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบริษัทบางกอกโพลีเอททีลีนจำกัด (มหาชน) ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลที่ใช้สำหรับงานวิจัย เป็นผลทำให้การวิจัยของข้าพเจ้า สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ และน้องๆ ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือตลอดจนกำลังใจด้วยดี  
ตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และเป็นกำลังใจให้ตลอดมาจนสำเร็จการ  
ศึกษา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญภาพ .....	ญ
สารบัญตาราง .....	ต
คำอธิบาย .....	ถ

### บทที่

1	บทนำ .....	1
	1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย .....	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
	1.3 ขอบเขตงานวิจัย .....	3
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
	1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย .....	3
	1.6 เนื้อหาวิทยานิพนธ์ .....	4
2	ผลงานวิจัยที่ผ่านมา .....	5
	2.1 จุดกำเนิดผลงานด้านช่างงานนิวัล .....	5
	2.2 ผลงานของอัลกอริทึมแบบการกระจายความผิดพลาดย้อนกลับ .....	6
	2.3 งานที่เกี่ยวกับการปรับปรุงอัลกอริทึมการกระจายความผิดพลาดย้อนกลับ .....	8
	2.4 ผลงานด้านช่างงานนิวัลในทางวิศวกรรมเคมี .....	15
	2.5 ผลงานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย .....	18
3	ทฤษฎีเกี่ยวกับช่างงานนิวัล .....	19
	3.1 ชีวิตวิทยาของนิวัลและแบบจำลองของช่างงานนิวัลในยุคแรกๆ .....	19
	3.2 แบบจำลองของช่างงานนิวัลในปัจจุบัน .....	21
	3.2.1 องค์ประกอบและหน้าที่ของนิวัล .....	22
	3.2.2 พารามิเตอร์ที่มีความสำคัญสำหรับการทำงานของนิวัล .....	23
	3.2.2.1 น้ำหนัก .....	23
	3.2.2.2 ฟังก์ชันมูลฐาน .....	23

	หน้า
บทที่	
3.2.2.3 ฟังก์ชันกระตุ้น	24
3.2.2.4 ฟังก์ชันความผิดพลาด	30
3.3 การออกแบบข่ายงานนิวรัล	32
3.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการฝึกข่ายงานนิวรัล	33
3.3.2 ความรู้เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลอง	35
3.3.2.1 โครงสร้างของแบบจำลองและขนาดของโครงสร้าง	35
3.3.2.2 ชนิดของการเชื่อมโยงน้ำหนักในโครงสร้างของข่ายงานนิวรัล	37
3.3.2.3 ฟังก์ชันกระตุ้น	38
3.3.2.4 การกำหนดค่าน้ำหนักเริ่มต้น	38
3.3.2.5 การจำแนกการเรียนรู้ของข่ายงานนิวรัล	38
3.3.2.5.1 ข่ายงานนิวรัลที่มีการชี้หน้า	41
3.3.2.5.2 ข่ายงานนิวรัลที่ไม่มีการชี้หน้า	45
3.3.2.5.3 ข่ายงานนิวรัลที่ใช้แบบการกระจายความผิดพลาดย้อนกลับ	46
3.3.2.6 แบบจำลองกระบวนการของข่ายงานนิวรัล	60
3.3.2.7 วงจรการทำงานของอัลกอริธึมการกระจายความผิดพลาดย้อนกลับ	61
3.3.2.8 ปัญหาที่พบสำหรับการฝึกข่ายงาน	62
3.4 บทสรุป	65
4 กระบวนการผลิตโพลีเอททิลีน	66
4.1 กระบวนการผลิตโพลีเอททิลีน	66
4.2 ดัชนีที่ใช้เป็นตัวแปรในการวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์	67
5 การจำลอง ผลการจำลอง และการวิเคราะห์ผลการจำลอง	70
5.1 การเตรียมข้อมูลสำหรับข่ายงานนิวรัลในกระบวนการผลิตโพลีเอททิลีน	70
5.2 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง	78
5.3 ผลการจำลองและการวิเคราะห์ผลการจำลอง	81
6 สรุปผลการจำลองและข้อเสนอแนะ	126
รายการอ้างอิง	131
ภาคผนวก	
ก. โปรแกรมแม่ทแลบ	137



## บทที่

ข. ตัวอย่างโค้ดโปรแกรม	152
ค. การใช้โปรแกรม "Neural Network"	213
ง. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องชนิดคายความร้อน	223
จ. สรุปลงก์ชัน ตัวแปรและเครื่องหมายในโปรแกรมแมทแลบ	232
ฉ. คำนวณอัลกอริทึมแบบการกระจายความผิดพลาดย้อนกลับ	237
ช. ตัวอย่างวิธีการคำนวณอัลกอริทึมแบบการกระจายความผิดพลาดย้อนกลับ	244

## ประวัติผู้เขียน

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.1	โครงสร้างของเซลล์ประสาท 20
รูปที่ 3.2	แบบจำลองการทำงานของนิวรัลเสนอโดย McCulloch และ Pitts 21
รูปที่ 3.3	หน้าที่และการทำงานของนิวรอน 21
รูปที่ 3.4	ฟังก์ชันมูลฐานเชิงเส้นและฟังก์ชันมูลฐานรัศมี 24
รูปที่ 3.5	ฟังก์ชันกระตุ้น 25
รูปที่ 3.6	พื้นฐานการออกแบบข่ายงานนิวรัล 32
รูปที่ 3.7	โครงสร้างพื้นฐานของข่ายงานนิวรัลที่แสดงการเชื่อมโยงแบบต่างๆ 37
รูปที่ 3.8	การเรียนรู้ของข่ายงานนิวรัลในการปรับค่าน้ำหนัก 40
รูปที่ 3.9	ข่ายงานนิวรัลสามารถจำแนกเป็นแบบมีการชี้้นำและไม่มีชี้้นำ 40
รูปที่ 3.10	ข่ายงานเรียนรู้แบบเปอร์เซปตรอน 44
รูปที่ 3.11	การปรับหาขอบเขตแยกข้อมูล 2 ประเภท โดยข่ายงานเปอร์เซปตรอนเชิงเส้น 44
รูปที่ 3.12	การเรียนรู้แบบเดลตา (delta learning rule) 45
รูปที่ 3.13	แบบจำลองนิวรัลในชั้นที่ 1 47
รูปที่ 3.14	การปรับน้ำหนักสำหรับอัลกอริธึมการกระจายความผิดพลาดย้อนกลับ 51
รูปที่ 3.15	การเรียนรู้แบบการกระจายความผิดพลาดย้อนกลับที่มีการรวมค่าแฟกเตอร์ 55
รูปที่ 3.16	ขั้นตอนการเรียนรู้ของข่ายงานนิวรัล 55
รูปที่ 3.17	แบบจำลองไม่กลับกระแส 60
รูปที่ 3.18	แบบจำลองแบบกลับกระแส 61
รูปที่ 3.19	ข่ายงานมีการประมาณค่าระหว่างเส้นอย่างเหมาะสม 63
รูปที่ 3.20	ข่ายงานมีการประมาณค่าระหว่างเส้นอย่างเหมาะสม 63
รูปที่ 3.21	ข่ายงานมีการแบ่งประเภทผิดเนื่องจากมีการประมาณค่าระหว่างเส้นมากเกินไป (overfitting) 64
รูปที่ 4.1	แสดงกระบวนการผลิตโพลีเอทิลีน 69
รูปที่ 5.1	แสดงข้อมูลอินพุตต่างๆที่ใช้ในการฝึกข่ายงานและทดสอบข่ายงาน 77
รูปที่ 5.2	แผนผังแสดงการสร้างและการทดสอบข่ายงานนิวรัล 80
รูปที่ 5.3	การเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าอัตราการใช้ของพอลิเมอร์ในเครื่องปฏิบัติการที่ 1 (โครงสร้าง 11-11-1 , ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ , จำนวนรอบ : 1000 รอบ) 83

	หน้า	
รูปที่ 5.4	การเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าอัตราการใช้ของพอลิเมอร์ในเครื่อง ปฏิบัติการที่ 1 (โครงสร้าง 11-5-3-1 , ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ , จำนวนรอบ : 1000 รอบ)	83
รูปที่ 5.5	การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าอัตราการใช้ของพอลิเมอร์ในเครื่อง ปฏิบัติการที่ 1 (โครงสร้าง 11-11-1 , ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ , จำนวนรอบ = จำนวนรอบที่มีค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองต่ำที่สุด)	84
รูปที่ 5.6	การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าอัตราการใช้ของพอลิเมอร์ในเครื่อง ปฏิบัติการที่ 1 (โครงสร้าง 11-11-1 , ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ , จำนวนรอบ= จำนวนรอบที่มีค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองต่ำที่สุด)	84
รูปที่ 5.7	การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าอัตราการใช้ของพอลิเมอร์ในเครื่อง ปฏิบัติการที่ 1 (โครงสร้าง 11-11-1 , ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ , จำนวนรอบ : 1000 รอบ)	85
รูปที่ 5.8	การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าอัตราการใช้ของพอลิเมอร์ในเครื่อง ปฏิบัติการที่ 1 (โครงสร้าง 11-5-3-1 , ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ , จำนวนรอบ : 1000 รอบ)	85
รูปที่ 5.9	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดฝึกทำงานในโครงสร้าง 11-11-1	86
รูปที่ 5.10	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดฝึกทำงานในโครงสร้าง 11-11-1 ซึ่งขยายกราฟ 5.9 ในช่วงสเกล SSE Error = 0-10	86
รูปที่ 5.11	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดฝึกทำงานในโครงสร้าง 11-5-3-1 ของ เครื่องปฏิบัติการที่ 1	87
รูปที่ 5.12	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดฝึกทำงานในโครงสร้าง 11-5-3-1 ของเครื่องปฏิบัติการที่ 1 ซึ่งขยายกราฟ 5.11 ในช่วงสเกล SSE Error = 0-10	87
รูปที่ 5.13	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดทดสอบทำงานในโครงสร้าง 11-11-1	88
รูปที่ 5.14	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดทดสอบทำงานในโครงสร้าง 11-5-3-1 ของเครื่องปฏิบัติการที่ 1	88

		หน้า
รูปที่ 5.15	การเปรียบเทียบการกระจายตัวของค่าเอาท์พุทกับค่าเป้าหมายในสเกล 0-1 ในโครงสร้าง 11-11-1	89
รูปที่ 5.16	การเปรียบเทียบการกระจายตัวของค่าเอาท์พุทกับค่าเป้าหมายในสเกล 0-1 ของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 ในโครงสร้าง 11-5-3-1	89
รูปที่ 5.17	แสดงโครงสร้างข่ายงานนิวรัล 11-5-3-1 สำหรับการทำนายค่าอัตราการไหลของโพลิเมอร์ที่เครื่องปฏิกรณ์ที่ 1	90
รูปที่ 5.18	การเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าอัตราการไหลของโพลิเมอร์ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2 (โครงสร้าง 11-9-1 , ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ , จำนวนรอบ : 1000 รอบ)	92
รูปที่ 5.19	การเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าอัตราการไหลของโพลิเมอร์ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2 (โครงสร้าง 11-7-3-1 , ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ , จำนวนรอบ : 1000 รอบ)	93
รูปที่ 5.20	การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าอัตราการไหลของโพลิเมอร์ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2 (โครงสร้าง 11-9-1, ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์, จำนวนรอบ = จำนวนรอบที่มีค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองต่ำที่สุด)	93
รูปที่ 5.21	การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าอัตราการไหลของโพลิเมอร์ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2 (โครงสร้าง 11-7-3-1, ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์, จำนวนรอบ = จำนวนรอบที่มีค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองต่ำที่สุด)	94
รูปที่ 5.22	การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าอัตราการไหลของโพลิเมอร์ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2 (โครงสร้าง 11-9-1, ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์, จำนวนรอบ : 1000 รอบ)	95
รูปที่ 5.23	การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าอัตราการไหลของโพลิเมอร์ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2 (โครงสร้าง 11-7-3-1, ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ , จำนวนรอบ : 1000 รอบ)	95
รูปที่ 5.24	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดฝึกข่ายงานในโครงสร้าง 11-9-1	96
รูปที่ 5.25	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดฝึกข่ายงานในโครงสร้าง 11-9-1 ซึ่งขยายกราฟ 5.22 ในช่วงสเกล SSE Error = 0-10	96
รูปที่ 5.26	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดฝึกข่ายงานในโครงสร้าง 11-7-3-1 ของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2	97
รูปที่ 5.27	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดฝึกข่ายงานในโครงสร้าง 11-7-3-1 ของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2 ซึ่งขยายกราฟ 5.24 ในช่วงสเกล SSE Error = 0-10	97

		หน้า
รูปที่ 5.28	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดทดสอบข่ายงานในโครงสร้าง 11-9-1 ของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2	98
รูปที่ 5.29	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดทดสอบข่ายงานในโครงสร้าง 11-7-3-1 ของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2	98
รูปที่ 5.30	การเปรียบเทียบการกระจายตัวของค่าเอาท์พุทกับค่าเป้าหมายในสเกล 0-1 ของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2 ในโครงสร้าง 11-9-1	99
รูปที่ 5.31	การเปรียบเทียบการกระจายตัวของค่าเอาท์พุทกับค่าเป้าหมายในสเกล 0-1 ในโครงสร้าง 11-7-3-1 ของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2	99
รูปที่ 5.32	แสดงโครงสร้างข่ายงานนิวิรัล 27-7-3-1 สำหรับการทำนายค่าอัตราการไหลของโพลิเมอร์ที่เครื่องปฏิกรณ์ที่ 2	100
รูปที่ 5.33	การเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าอัตราการไหลของเม็ดพอลิเมอร์หลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด (โครงสร้าง 27-5-1 , ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ , จำนวนรอบ : 1000 รอบ)	103
รูปที่ 5.34	การเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าอัตราการไหลของเม็ดพอลิเมอร์หลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด (โครงสร้าง 27-7-3-1 , ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ , จำนวนรอบ : 1000 รอบ)	103
รูปที่ 5.35	การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าอัตราการไหลหลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด (โครงสร้าง 27-5-1, ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์, จำนวนรอบ=จำนวนรอบที่มีค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองต่ำที่สุด)	104
รูปที่ 5.36	การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าอัตราการไหลของพอลิเมอร์หลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด (โครงสร้าง 27-7-3-1, ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์, จำนวนรอบ = จำนวนรอบที่มีค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองต่ำที่สุด)	104
รูปที่ 5.37	การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าอัตราการไหลของเม็ดพอลิเมอร์หลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด (โครงสร้าง 27-5-1, ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์, จำนวนรอบ : 1000 รอบ)	105
รูปที่ 5.38	การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าอัตราการไหลของเม็ดพอลิเมอร์หลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด(โครงสร้าง 27-7-3-1 , ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ , จำนวนรอบ : 1000 รอบ)	105
รูปที่ 5.39	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดฝึกข่ายงานในโครงสร้าง 27-5-1 ของการทำนายค่าอัตราการไหลหลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด	106

		หน้า
รูปที่ 5.40	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดฝึกข่ายงานในโครงสร้าง 27-5-1 ของการทำนายค่าอัตราการไหลหลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ดซึ่งขยายกราฟ 5.36 ในช่วงสเกล SSE Error = 0-5	106
รูปที่ 5.41	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดฝึกข่ายงานในโครงสร้าง 27-7-3-1 ของการทำนายอัตราการไหลของพอลิเมอร์หลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด	107
รูปที่ 5.42	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดฝึกข่ายงานในโครงสร้าง 27-7-3-1 ของการทำนายอัตราการไหลของพอลิเมอร์หลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด ซึ่งขยายกราฟ 5.44 ในช่วงสเกล SSE Error = 0-5	107
รูปที่ 5.43	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดทดสอบข่ายงานในโครงสร้าง 27-5-1 ของการทำนายค่าอัตราการไหลหลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด	108
รูปที่ 5.44	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดทดสอบข่ายงานในโครงสร้าง 27-7-3-1 ของการทำนายอัตราการไหลของพอลิเมอร์หลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด	108
รูปที่ 5.45	การเปรียบเทียบการกระจายตัวของค่าเอาต์พุตกับค่าเป้าหมายในสเกล 0-1 ในโครงสร้าง 27-5-1 ของการทำนายค่าอัตราการไหลหลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด	109
รูปที่ 5.46	การเปรียบเทียบการกระจายตัวของค่าเอาต์พุตกับค่าเป้าหมายในสเกล 0-1 ในโครงสร้าง 27-7-3-1 ของการทำนายอัตราการไหลของพอลิเมอร์หลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด	109
รูปที่ 5.47	แสดงโครงสร้างข่ายงานนิวรัล 27-7-3-1 สำหรับการทำนายค่าอัตราการไหลของพอลิเมอร์หลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด	110
รูปที่ 5.48	การเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าความหนาแน่นของเม็ดพอลิเมอร์หลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด (โครงสร้าง 25-5-1 , ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ , จำนวนรอบ : 1000 รอบ)	112
รูปที่ 5.49	การเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าความหนาแน่นของเม็ดพอลิเมอร์หลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด (โครงสร้าง 25-11-9-1 , ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ , จำนวนรอบ : 1000 รอบ)	113
รูปที่ 5.50	การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าความหนาแน่นของพอลิเมอร์หลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด(โครงสร้าง 25-5-1, ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์, จำนวนรอบ=จำนวนรอบที่มีค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองต่ำที่สุด)	113

	หน้า	
รูปที่ 5.51	การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าความหนาแน่นของพอลิเมอร์หลังผ่านเครื่องตัดเม็ด(โครงสร้าง 25-11-9-1, ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์, จำนวนรอบ=จำนวนรอบที่มีค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองต่ำที่สุด)	114
รูปที่ 5.52	การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าความหนาแน่นของเม็ดพอลิเมอร์หลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด (โครงสร้าง 25-5-1 , ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ , จำนวนรอบ : 1000 รอบ)	114
รูปที่ 5.53	การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าความหนาแน่นของเม็ดพอลิเมอร์หลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด (โครงสร้าง 25-11-9-1 , ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ จำนวนรอบ : 1000 รอบ)	115
รูปที่ 5.54	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดฝึกทำงานในโครงสร้าง 25-5-1 ของการทำนายค่าความหนาแน่นของพอลิเมอร์หลังผ่านเครื่องตัดเม็ด	116
รูปที่ 5.55	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดฝึกทำงานในโครงสร้าง 25-5-1 ของการทำนายค่าความหนาแน่นของพอลิเมอร์หลังผ่านเครื่องตัดเม็ด ซึ่งขยายกราฟ 5.52 ในช่วงสเกล SSE Error = 0-5	116
รูปที่ 5.56	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดฝึกทำงานในโครงสร้าง 25-11-9-1 ของการทำนาย ค่าความหนาแน่นของพอลิเมอร์หลังผ่านเครื่องตัดเม็ด	117
รูปที่ 5.57	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดฝึกทำงานในโครงสร้าง 25-11-9-1 ของการทำนายค่าความหนาแน่นของพอลิเมอร์หลังผ่านเครื่องตัดเม็ด ซึ่งขยายกราฟ 5.54 ในช่วงสเกล SSE Error = 0-5	117
รูปที่ 5.58	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดทดสอบทำงานในโครงสร้าง 25-5-1 ของการทำนายค่าความหนาแน่นของพอลิเมอร์หลังผ่านเครื่องตัดเม็ด	118
รูปที่ 5.59	ค่าความผิดพลาดรวมกำลังสองของชุดทดสอบทำงานในโครงสร้าง 25-11-9-1 ของการทำนายค่าความหนาแน่นของพอลิเมอร์หลังผ่านเครื่องตัดเม็ด	118
รูปที่ 5.60	การเปรียบเทียบการกระจายตัวของค่าเอาต์พุตกับค่าเป้าหมายในสเกล 0-1 ในโครงสร้าง 25-5-1 ของการทำนายค่าความหนาแน่นของพอลิเมอร์หลังผ่านเครื่องตัดเม็ด	119
รูปที่ 5.61	การเปรียบเทียบการกระจายตัวของค่าเอาต์พุตกับค่าเป้าหมายในสเกล 0-1 ในโครงสร้าง 25-11-9-1 ของการทำนายค่าความหนาแน่นของพอลิเมอร์หลังผ่านเครื่องตัดเม็ด	119

	หน้า	
รูปที่ 5.62	แสดงโครงสร้างข่ายงานนิวิรัล 25-11-9-1 สำหรับการทำนายค่าความหนาแน่นของพอลิเมอร์หลังผ่านเครื่องตัดเม็ด	120
รูปที่ 5.63	การทดสอบแบบจำลองโดยนำมาใช้ทำนายแบบออนไลน์ของค่าอัตราการไหลของพอลิเมอร์ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 (โครงสร้าง 11-5-3-1 , ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ , จำนวนรอบ : 100 รอบ)	121
รูปที่ 5.64	การทดสอบแบบจำลองโดยนำมาใช้ทำนายแบบออนไลน์ของค่าอัตราการไหลของพอลิเมอร์ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2 (โครงสร้าง 11-7-3-1 , ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ , จำนวนรอบ : 100 รอบ)	122
รูปที่ 5.65	การทดสอบแบบจำลองโดยนำมาใช้ทำนายแบบออนไลน์ของค่าอัตราการไหลของพอลิเมอร์หลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด (โครงสร้าง 27-7-3-1 , ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ , จำนวนรอบ : 100 รอบ)	123
รูปที่ 5.66	การทดสอบแบบจำลองโดยนำมาใช้ทำนายแบบออนไลน์ของค่าความหนาแน่นของพอลิเมอร์หลังจากผ่านเครื่องตัดเม็ด (โครงสร้าง 25-11-9-1 , ฟังก์ชันกระตุ้น: ซิกมอยด์ , จำนวนรอบ : 100 รอบ)	124
รูปที่ ก.1	แสดงข่ายงานนิวิรัลแบบป้อนไปข้างหน้า 3 ชั้น	145
รูปที่ ค. 1	แสดงเมนูหลักของโปรแกรม Neural Network	213
รูปที่ ค. 2	แสดงผลการฝึกข่ายงานทุกครั้งที่มีการแสดงผลที่หน้าจอ	214
รูปที่ ค. 3	แสดง Network Information	217
รูปที่ ค. 4	แสดง Case Outputs/Targets (Training set)	218
รูปที่ ค. 5	แสดง Case Outputs/Targets (Test set)	218
รูปที่ ค. 6	แสดง Case Outputs/Targets (Training +Test set)	219
รูปที่ ค. 7	แสดง SSE Error history vs Iteration (Train set)	219
รูปที่ ค. 8	แสดง SSE Error history vs Iteration (Test set)	220
รูปที่ ค. 9	แสดง Node Weight and Deltas	220
รูปที่ ค.10	แสดง Scatter comparison Normalized Targets vs Net Outputs	221
รูปที่ ค.11	แสดง Targets/Output Information	221
รูปที่ ค. 12	แสดง Outputs/Targets Min Error Test	222
รูปที่ ง. 1	ระบบเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนต่อเนื่อง	223



	หน้า
รูปที่ ง. 2	การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น +/- 15 % ของค่าที่สภาวะคงตัว 227
รูปที่ ง. 3	ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์หลังจากทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น +/- 15 % ของค่าที่สภาวะคงตัว 227
รูปที่ ง. 4	การเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าความเข้มข้นของในเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องโดยให้มีอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น +/- 15 % ของค่าที่สภาวะคงตัว 228
รูปที่ ง. 5	การทดสอบกระบวนการทำนายค่าความเข้มข้นของในเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องโดยให้มีอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น +/- 15 % ของค่าที่สภาวะคงตัว 228
รูปที่ ง. 6	การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น +/- 15 % ของค่าที่สภาวะคงตัว และมีการรบกวนจากอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น +/- 10 % ของค่าที่สภาวะคงตัว 229
รูปที่ ง. 7	ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์หลังจากทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น +/- 15 % ของค่าที่สภาวะคงตัว และมีการรบกวนจากอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น +/- 10 % ของค่าที่สภาวะคงตัว 229
รูปที่ ง. 8	การเรียนรู้กระบวนการทำนายค่าความเข้มข้นของในเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องโดยให้มีอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น +/- 15 % ของค่าที่สภาวะคงตัว และมีการรบกวนจากอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น +/- 10 % ของค่าที่สภาวะคงตัว 230
รูปที่ ง. 9	การทดสอบกระบวนการทำนายค่าความเข้มข้นของในเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องโดยให้มีอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น +/- 15 % ของค่าที่สภาวะคงตัว และมีการรบกวนจากอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น +/- 10 % ของค่าที่สภาวะคงตัว 230
รูปที่ ฉ. 1	แสดงแบบจำลองนิวรัลในชั้นที่ i 237
รูปที่ ฉ. 2	แสดงการเรียนรู้การกระจายความผิดพลาดย้อนกลับ 238

## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 5.1	แสดงค่าผลรวมความผิดพลาดยกกำลังสองของแบบจำลองในการทำนายค่าอัตรา การไหลของพอลิเมอร์ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1	82
ตารางที่ 5.2	แสดงค่าผลรวมความผิดพลาดยกกำลังสองของแบบจำลองในการทำนายค่าอัตรา การไหลของพอลิเมอร์ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2	91
ตารางที่ 5.3	แสดงค่าผลรวมความผิดพลาดยกกำลังสองของแบบจำลองในการทำนายค่าอัตรา การไหลของพอลิเมอร์หลังผ่านเครื่องตัดเม็ด	102
ตารางที่ 5.4	แสดงค่าผลรวมความผิดพลาดยกกำลังสองของแบบจำลองในการทำนายค่าความ หนาแน่นของพอลิเมอร์หลังผ่านเครื่องตัดเม็ด	111
ตารางที่ 5.5	แสดงค่าผลรวมความผิดพลาดยกกำลังสองของการทดสอบแบบออนไลน์ในโรง งานโดยใช้ชุดข้อมูลที่ 3 สำหรับแบบจำลองทั้ง 4	125
ตารางที่ ก.1	การเปรียบเทียบความเร็วของอัลกอริทึมที่เป็นแบบชี้หน้า	151

## คำอธิบาย

นิวรอน	=	เซลล์ประสาทในระบบประสาทของมนุษย์หนึ่งเซลล์
เดนไดรต์ (dendrite)	=	เป็นส่วนประกอบหนึ่งของนิวรอนซึ่งแตกแขนงออกจากตัวเซลล์นิวรอนทำหน้าที่รับสัญญาณจากนิวรอนตัวอื่นเข้ามาแล้วส่งต่อให้กับเซลล์นิวรอน
เซลล์นิวรอน (Cell body)	=	เป็นส่วนประกอบหนึ่งของนิวรอนทำหน้าที่รวบรวมสัญญาณที่ได้รับมาจากเดนไดรต์และส่งสัญญาณที่ทำการรวบรวมนี้ไปให้กับแอกซอน
แอกซอน (Axon)	=	เป็นส่วนประกอบหนึ่งของนิวรอน ทำหน้าที่ในการรับสัญญาณจากเซลล์นิวรอนและส่งสัญญาณออกไปให้เซลล์เดนไดรต์ของนิวรอนตัวอื่น
ซินแนปส์ (Synapses)	=	เป็นรอยต่อระหว่างแอกซอนของนิวรอนปัจจุบันกับเดนไดรต์ของนิวรอนอื่น
เกรเดียนต์เดสเซนต์ (gradient descent)	=	วิธีการลดความผิดพลาดต่ำสุดโดยการปรับค่าน้ำหนัก ซึ่งใช้ค่าอนุพันธ์ย่อยของค่าผิดพลาดเทียบกับค่าน้ำหนัก
ตรรกะเทร็ลไฮลด์ (threshold logic)	=	ค่าเอาต์พุตจะเป็น 0 ถ้าอินพุตมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด และ ค่าเอาต์พุตจะเป็น 1 ถ้าอินพุตมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนด