

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทำนายการเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์  
โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก



T104343



นายชนทัต วงษ์สุวรรณ  
นางสาวปณตพร มีสมสาร  
นายศุภกรีย์ นิลมณี

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....104343  
วัน,เดือน,ปี.....2 พ.ย. 2552

b. 1211-1363  
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **Prediction of Defect on Duplex Paper Using Artificial Neural Networks and Binary Logistic Regression**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2008**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท

การทำนายการเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษเคลือบด้วยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก  
Prediction of Defect on Duplex Paper Using Artificial Neural Networks and Binary Logistic Regression

นักศึกษา

นายชนทัต วงษ์สุวรรณ	รหัสประจำตัว	48010339
นางสาวปณตพร มีสมสาร	รหัสประจำตัว	48010494
นายศุภกริช นิลมณี	รหัสประจำตัว	48010903

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท

(ผศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การทำนายการเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษเคลือบโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก
นักศึกษา	นายธนทัต วงษ์สุวรรณ นางสาวปณตพร มีสมสาร นายศุภกริชย์ นิลมณี
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2551
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษเคลือบโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก ซึ่งมีปัจจัยในการพิจารณา ได้แก่ ความหนืดของน้ำยาที่ถังพัก (Viscos E5) เปรอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถังพัก (Solid E5) อุณหภูมิที่ถังพัก (Temp E5) ความหนืดของน้ำยาเคลือบที่กระบะหัวเคลือบ (Viscos H) เปรอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่กระบะหัวเคลือบ (Solid H) อุณหภูมิที่กระบะหัวเคลือบ (Temp H) ตัวลดอุณหภูมิ (Chiller) อุณหภูมิอากาศ (Air Temp) และผลที่ต้องการพยากรณ์ คือ การเกิดและไม่เกิดตำหนิ โดยผลจากการพยากรณ์ของโครงข่ายประสาทเทียม และผลจากการพยากรณ์ของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก จะนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงที่เก็บข้อมูลมาจาก บริษัทกระดาษสหไทย จำกัด (มหาชน) ผลที่ได้จากการพยากรณ์จะแสดงเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง และปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาเกล็ดน้ำยามากที่สุด คือ ความหนืดของน้ำยาที่ถังพัก (Viscos E5) เปรอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถังพัก (Solid E5) จากนั้นทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมและวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง พบว่าผลที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม มีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องสูงกว่าผลที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติก จึงสรุปได้ว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษเคลือบได้ดีกว่าวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Thesis Title** Prediction of Defect on Duplex Paper Using Artificial Neural Networks and Binary Logistic Regression

**Student** Mr. Thanatat Wongsuwan  
Miss Panodporn Meesomsarn  
Mr. Sugree Nilmanee

**Degree** Bachelor of Engineering in Industrial Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

**Academic Year** 2008

**Thesis Advisor** Asst.Prof.Dr. Kannachai Kanlayasiri

### ABSTRACT

This thesis presented prediction of defect on Duplex paper using artificial neural networks and binary logistic regression. There were eight factors investigated including, the viscosity of coating color at the storage tank (Viscos E5), the percentage of concentrate coating color at the storage tank (Solid E5), the temperature at the storage tank (Temp E5), the viscosity of coating color at coating head (Viscos H), the percentage of concentrate coating color at coating head (Solid H), the temperature at the coating head (Temp H), the reduced temperature (Chiller), and temperature in the air (Air Temp). Results showed that the influential factors on the defect are the viscosity of coating color at the storage tank (Viscos E5) and the percentage of concentrate coating color at the storage tank (Solid E5). The prediction results of artificial neural networks and binary logistic regression were compared with the real data, and showed a decent agreement. The prediction results of both modeling techniques were then compared, and the result from artificial neural networks had a higher accuracy than that of binary logistic regression.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง การศึกษาการทำนายการเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษเคลือบผิวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่ช่วยให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ผศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และความเอาใจใส่ในทุกๆด้านตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

อาจารย์สกันธ์ คล่องบุญจิต กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการรับฟังปัญหา กำลังใจในการทำงาน ความเอาใจใส่ และความช่วยเหลือในทุกๆด้าน ตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

ดร.อนิรุท ไชยจรรูวณิช กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

อาจารย์กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือตลอดเวลาที่ผ่านมา

ผศ.ดร.สรรพลีสิทธิ์ ลิ้มบรรณรัตน์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

คุณวรสิทธิ์ วิมลประภาพร วิศวกร บริษัท กระดาษสหไทย จำกัด (มหาชน) กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับข้อมูล ความรู้ และความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

นายธนทัต วงษ์สุวรรณ  
นางสาวปณตพร มีสมสาร  
นายศุภกริช นิลมณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง .....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ

## บทที่ 1 บทนำ -

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ปริญญานิพนธ์ .....	1
1.3 ขอบเขตปริญญานิพนธ์.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	1

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตกระดาษคูเพลิกซ์.....	2
2.1.1 ขั้นตอนการเตรียมเยื่อ .....	2
2.1.2 ขั้นตอนการผลิตกระดาษคูเพลิกซ์ .....	2
2.1.2.1 กระดาษ ไม่เคลือบผิว .....	2
2.1.2.2 กระดาษเคลือบผิว .....	4
2.1.3 ขั้นตอนการแปรรูป .....	5
2.1.3.1 การแปรรูปเป็นกระดาษแผ่น .....	5
2.1.3.2 การแปรรูปเป็นกระดาษม้วน .....	5
2.2 โรงจ่ายกระดาษเทียม .....	5
2.2.1 ความเป็นมาของ โรงจ่ายกระดาษเทียม .....	6
2.2.1.1 ช่วงทศวรรษที่ 40 ยุคเริ่มต้นของ โรงจ่ายกระดาษเทียม.....	6
2.2.1.2 ช่วงทศวรรษที่ 50-60 ยุคทองของ โรงจ่ายกระดาษเทียม .....	6
2.2.1.3 ช่วงทศวรรษที่ 70 ยุคเงิบของ โรงจ่ายกระดาษเทียม.....	7
2.2.1.4 ช่วงทศวรรษที่ 80 ยุคความกระตือรือร้นกลับมาใหม่ของ โรงจ่ายกระดาษเทียม .....	7
2.2.2 เซลล์กระดาษทางชีววิทยา.....	7
2.2.2.1 นิเวศวิทยา .....	8
2.2.2.2 โครงสร้างของนิเวศวิทยาและไซแนปส์.....	8
2.2.2.3 การส่งผ่านกระแสประสาท.....	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.3 เซลล์ประสาทเทียม .....	9
2.2.3.1 เซลล์ประสาทเทียมอินพุตเดียว .....	10
2.2.3.2 เซลล์ประสาทเทียมหลายอินพุต .....	10
2.2.4 ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน .....	11
2.2.4.1 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Hard Limit .....	12
2.2.4.2 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิดเส้นตรง .....	12
2.2.4.3 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Log-sigmoid .....	13
2.2.4.4 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Tan-sigmoid .....	13
2.2.5 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม .....	13
2.2.5.1 Feedforward Networks .....	14
2.2.5.2 Recurrent Networks .....	15
2.2.6 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม .....	16
2.2.6.1 การเรียนรู้แบบควบคุม .....	16
2.2.6.2 การเรียนรู้แบบไม่มีการควบคุม .....	16
2.2.7 โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่มีหลายชั้น .....	16
2.2.8 กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ .....	18
2.2.8.1 การส่งไปข้างหน้า .....	18
2.2.8.2 การส่งย้อนกลับ .....	19
2.2.9 การ Normalization ชุดข้อมูล .....	23
2.3 การวิเคราะห์ป้จจัย .....	23
2.3.1 ประเภทของเทคนิคการวิเคราะห์ป้จจัย .....	24
2.3.1.1 การวิเคราะห์ป้จจัยเชิงสำรวจ .....	24
2.3.1.2 การวิเคราะห์ป้จจัยเชิงยืนยัน .....	24
2.3.2 กรณีที่มีป้จจัยร่วมมากกว่า 2 ป้จจัย .....	24
2.3.3 เงื่อนไขเทคนิคการวิเคราะห์ป้จจัย .....	24
2.3.4 การสกัดป้จจัย .....	25
2.3.4.1 วิธีความเป็นไปได้สูงสุด .....	25
2.3.4.2 วิธีการประมาณค่า .....	26
2.3.5 การหาป้จจัยร่วมที่เหมาะสม .....	27
2.3.6 การหมุนแกนป้จจัยร่วม .....	27
2.3.6.1 กราหมุนแกนป้จจัยร่วมให้ตั้งฉากกัน .....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.6.2 การหมุนแกนแบบเฉียง.....	28
2.3.7 การตรวจสอบความเหมาะสมในการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย.....	28
2.3.7.1 ตรวจสอบโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....	28
2.3.7.2 ตรวจสอบโดยใช้สถิติ Kaiser – Meyor – Olkin.....	29
2.3.7.3 ตรวจสอบโดยใช้ Bartlett’s Sphericity Test.....	29
2.4 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก.....	30
2.4.1 วัตถุประสงค์หลักของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก.....	30
2.4.2 เงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก.....	31
2.4.3 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยโลจิสติก.....	31
2.4.4 การปรับรูปแบบความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปเชิงเส้น.....	32
2.5 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกแบบไบนารี.....	33
2.5.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการการถดถอยโลจิสติก.....	34
2.5.1.1 การใช้สถิติทดสอบไคกำลังสอง.....	34
2.5.1.2 สถิติทดสอบความเหมาะสมของ Hosmer และ Lameshow.....	35
2.5.2 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์การถดถอยโลจิสติกของตัวแปรอิสระแต่ละตัว.....	35
2.5.2.1 สถิติทดสอบวอลด์.....	35
2.5.2.1 สถิติทดสอบอัตราส่วนความควรจะเป็น.....	36
2.5.3 การวัดระดับความสัมพันธ์.....	36
2.5.3.1 Cox & Snell R <sup>2</sup> .....	36
2.5.3.2 Negelkerki’s R <sup>2</sup> .....	37

### บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินงานของ โรงฆ่าประสาทยุติธรรม.....	38
3.1.1 ข้อมูลดิบทั้งหมด.....	38
3.1.2 การจัดเตรียมข้อมูล.....	42
3.1.3 การพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาดูเพล็กซ์โดยใช้โรงฆ่าประสาทยุติธรรม.....	49
3.1.3.1 จำนวนเซลล์ประสาทยุติธรรมและตัวแปรด้านเข้าและชั้นตัวแปรด้านออก.....	49
3.1.3.2 ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน.....	50
3.1.3.3 ชนิดของ โรงฆ่าประสาทยุติธรรม.....	51
3.1.3.4 จำนวนเซลล์ประสาทยุติธรรมของชั้นซ่อนที่ที่เหมาะสม.....	52
3.1.3.5 การปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัส.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.3.6 การหาค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง.....	53
3.2 วิธีการดำเนินงานของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก .....	54
3.2.1 การจัดเตรียมข้อมูล.....	54
3.2.2 การพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์โดยใช้	
การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก .....	61
3.2.2.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัจจัย .....	61
3.2.2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์การถดถอย โลจิสติก .....	62
<b>บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน</b>	
4.1 การพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม .....	64
4.2 การพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย โลจิสติก.....	71
4.2.1 ผลจากการวิเคราะห์ปัจจัย .....	71
4.2.1.1 การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย.....	71
4.2.1.2 การวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูล .....	72
4.2.1.3 การสกัดปัจจัย .....	72
4.2.1.4 การหมุนแกนปัจจัย.....	73
4.2.1.5 การหาค่า Factor Score.....	74
4.2.2 ผลจากการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกแบบ ไบนารี.....	75
4.2.2.1 การพิจารณาค่า Negelkerke R Square .....	75
4.2.2.2 การพิจารณาความเหมาะสมของสมการ .....	75
4.2.2.3 การตรวจสอบความเชื่อถือได้ของสมการ.....	75
4.2.2.4 การสร้างสมการเพื่อใช้พยากรณ์ .....	76
4.3 การพิจารณาค่าควบคุม.....	77
4.3.1 การพิจารณาค่าควบคุม โดยใช้ข้อมูลทั้งหมด .....	77
4.3.1.1 ค่าความหนืดของน้ำยาที่ถึงพัก.....	77
4.3.1.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถึงพัก.....	78
4.3.2 การพิจารณาค่าควบคุมโดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม.....	78
4.4 เปรียบเทียบผลการพยากรณ์ของการเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์	
โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและการวิเคราะห์การถดถอย โลจิสติก.....	82
4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง .....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	85
5.1.1 การพยากรณ์การเกิดคำหนิในการผลิตกระดาษดูลีทซ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม .....	85
5.1.2 การพยากรณ์การเกิดคำหนิในการผลิตกระดาษดูลีทซ์โดยใช้ การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก .....	85
5.2 สิ่งที่ควรพัฒนาต่อไป .....	86
หนังสืออ้างอิง .....	87



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาทเทียม และเซลล์ประสาทเทียมทางชีววิทยา .....	9
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลดิบทั้งหมด.....	39
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลที่ผ่านการทำ Normalization แล้ว .....	42
ตารางที่ 3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน .....	46
ตารางที่ 3.4 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ .....	48
ตารางที่ 3.5 ค่ามาตรฐานของข้อมูล.....	54
ตารางที่ 3.6 ข้อมูลสำหรับการดำเนินการ.....	58
ตารางที่ 3.7 ข้อมูลทดสอบ .....	60
ตารางที่ 4.1 ผลจากการฝึกสอนและทดสอบ โครงข่ายประสาทเทียมที่มี 1 ชั้นซ่อน.....	65
ตารางที่ 4.2 ผลจากการฝึกสอนและทดสอบ โครงข่ายประสาทเทียมที่มี 2 ชั้นซ่อน.....	66
ตารางที่ 4.3 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย.....	71
ตารางที่ 4.4 ค่าผลการทดสอบด้วยวิธี KMO and Bartlett's Test.....	72
ตารางที่ 4.5 ผล Total Variance Explained.....	72
ตารางที่ 4.6 ผล Rotated Component Matrix (a).....	73
ตารางที่ 4.7 ผล Component Score Coefficient Matrix.....	74
ตารางที่ 4.8 ค่า Model Summary.....	75
ตารางที่ 4.9 ค่า Hosmer and Lemeshow Test .....	75
ตารางที่ 4.10 ค่า Classification Table .....	76
ตารางที่ 4.11 ค่า Variables in the Equation.....	76
ตารางที่ 4.12 ค่าไม่ควบคุมของค่าความเหนียวของน้ำยาดังพัก .....	79
ตารางที่ 4.13 ค่าไม่ควบคุมของค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ดังพัก.....	80
ตารางที่ 4.14 ค่าที่ได้จากการพยากรณ์และค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม และการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก .....	82
ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบรูปแบบของข้อมูลและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ .....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการผลิตกระดาษในเครื่องผลิตกระดาษ (Paper Machine) .....	3
รูปที่ 2.2 รอยตำหนิจากเครื่องทดสอบรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	4
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการเคลือบผิวกระดาษ.....	5
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างของนิรอนที่มีสองขั้ว .....	8
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของประสาท.....	8
รูปที่ 2.6 (a) เซลล์ประสาทเทียมแบบไม่มีค่าไบอัส.....	10
รูปที่ 2.6 (b) เซลล์ประสาทเทียมแบบมีค่าไบอัส.....	10
รูปที่ 2.7 เซลล์ประสาทเทียมที่มีหลายอินพุท.....	11
รูปที่ 2.8 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Hard Limit.....	12
รูปที่ 2.9 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิดเส้นตรง.....	12
รูปที่ 2.10 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Log-sigmoid.....	13
รูปที่ 2.11 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Tan-sigmoid.....	13
รูปที่ 2.12 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว.....	14
รูปที่ 2.13 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น.....	15
รูปที่ 2.14 (a) Elman Network.....	15
รูปที่ 2.14 (b) Hopfield Network.....	15
รูปที่ 2.15 โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่มีสองชั้น.....	17
รูปที่ 3.1 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการพยากรณ์.....	51
รูปที่ 3.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น.....	52
รูปที่ 4.1 การกระจายตัวระหว่างค่าความหนืดของน้ำยาที่ถึงพิกัดกับผลของการเกิดตำหนิ.....	77
รูปที่ 4.2 การกระจายตัวระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถึงพิกัดกับผลของการเกิดตำหนิ.....	78
รูปที่ 4.3 ค่าไม่ควบคุมของค่าความหนืดของน้ำยาที่ถึงพิกัดกับผลของการเกิดตำหนิ.....	81
รูปที่ 4.4 ค่าไม่ควบคุมของค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถึงพิกัดกับผลของการเกิดตำหนิ.....	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กระดาษที่ได้จากกระบวนการผลิตของเครื่อง PM5 (Paper Machine 5) ณ. บริษัท กระดาษสหไทย จำกัด (มหาชน) เป็นกระดาษจำพวกกระดาษแข็งดูเพล็กซ์ โดยส่วนมากจะนำไปใช้ในการทำกล่องบรรจุภัณฑ์ ซึ่งคุณสมบัติหนึ่งที่ลูกค้าต้องการ คือ ความสวยงามของกระดาษ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและตอบสนองความต้องการของลูกค้า จึงได้มีการเคลือบผิวหน้ากระดาษด้วยน้ำยาเคลือบ แต่ในการเคลือบกระดาษมักจะมีปัญหาหนึ่งเกิดขึ้น นั่นคือ ปัญหาเกล็ดน้ำยา ซึ่งเกิดจากการที่น้ำยาเคลือบเกิดการแข็งตัวเป็นก้อนที่มีขนาดเล็กและกลมติดที่ผิวหน้ากระดาษซึ่งยากที่จะสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และเมื่อนำไปพิมพ์งานก็จะส่งผลกระทบต่อความสวยงาม โดยทุกครั้งที่ลูกค้าพบปัญหาดังกล่าวลูกค้าจะคืนกระดาษกลับมา ทำให้บริษัทเสียรายได้ต่อเนื่องเป็นมูลค่ามหาศาล ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญและความจำเป็นที่จะทำการศึกษาเพื่อหาคำควบคุมตัวแปรต่างๆ เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาเกล็ดน้ำยาของกระดาษดูเพล็กซ์

### 1.2 วัตถุประสงค์ปริญญานิพนธ์

1. เพื่อทำนายการเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์ โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกแบบไบนารี (Binary Logistic Regression) และ โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks)
2. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการทำนายการเกิดตำหนิของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกแบบไบนารี และ โครงข่ายประสาทเทียม
3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอิสระที่มีผลต่อการเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์

### 1.3 ขอบเขตปริญญานิพนธ์

ทำนายการเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์ของเครื่อง PM5 ของบริษัท กระดาษสหไทย จำกัด (มหาชน)

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาการเกิดตำหนิบนกระดาษดูเพล็กซ์ของเครื่อง PM5
2. สามารถนำความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกแบบไบนารี และแบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียม ไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาอื่นๆ ในทางอุตสาหกรรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กระบวนการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์

กระบวนการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์ มีขั้นตอนหลักๆอยู่ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเตรียมเยื่อ ขั้นตอนการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์ และขั้นตอนการแปรรูป ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

##### 2.1.1 ขั้นตอนการเตรียมเยื่อ

ขั้นตอนการเตรียมเยื่อเป็นขั้นตอนที่ต้องนำเยื่อกระดาษมาผสมกับน้ำและสารเคมี และตีให้เข้ากัน โดยให้มีสัดส่วนของเยื่อ น้ำ และสารเคมีที่เหมาะสมตามที่ต้องการ และเมื่อได้เยื่อกระดาษที่พร้อมจะนำไปผลิตกระดาษแล้ว ก็จะเริ่มเข้าสู่ขั้นตอนการผลิตกระดาษในเครื่องผลิตกระดาษ (Paper Machine) ในลำดับต่อไป

##### 2.1.2 ขั้นตอนการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์

ขั้นตอนการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์ สามารถอธิบายโดยแบ่งเป็น 2 กรณี คือ กระดาษไม่เคลือบผิว และ กระดาษเคลือบผิว ซึ่งมีขั้นตอนหลักๆดังนี้

###### 2.1.2.1 กระดาษไม่เคลือบผิว

###### 1. การปล่อยเยื่อกระดาษ

การปล่อยเยื่อกระดาษ เป็นขั้นตอนหลังจากเตรียมเยื่อกระดาษที่มีส่วนผสม และความเข้มข้นของสารเคมีตามที่ต้องการแล้ว จะเริ่มขั้นตอนของการผลิตกระดาษโดยเริ่มจากการนำเยื่อดังกล่าวมาปล่อยลงสู่ลวดเดินแผ่น เพื่อให้เยื่อเกิดการกระจายตัวและเรียงตัวซ้อนกันเป็นแผ่นกระดาษ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการปล่อยเยื่อกระดาษลงสู่ลวดเดินแผ่น เรียกว่า Head Box

###### 2. ชุดลวดเดินแผ่น

การปล่อยเยื่อกระดาษลงสู่ลวดเดินแผ่น (Wire Part) นอกจากจะเป็นการทำให้เยื่อเกิดการกระจายตัว และเรียงตัวซ้อนกันเป็นแผ่นกระดาษแล้ว ในช่วงของลวดเดินแผ่นนี้ น้ำและสารเคมีที่อยู่ในเยื่อกระดาษจะถูกระบายออกจนเหลือความชื้นประมาณ 70 – 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

###### 3. ชุดลูกกด

เมื่อกระดาษผ่านชุดลวดเดินแผ่นแล้ว กระดาษจะถูกส่งเข้าสู่ชุดลูกกด (Press Part) โดยผ้าสักหลาดซึ่งผ้าสักหลาดนอกจากจะทำหน้าที่พาดกระดาษ ไปยังขั้นตอนต่างๆของกระบวนการผลิตกระดาษแล้ว ยังทำหน้าที่ดูดซับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำออกจากกระดาษบางส่วนด้วย ซึ่งเมื่อกระดาษเข้าสู่ชุดลูกกด ชุดลูกกดจะทำหน้าที่รีดเอาน้ำออกจากกระดาษ โดยการ  
ใช้แรงในการกดและบีบน้ำให้ออกจากกระดาษให้มากที่สุด และเมื่อกระดาษผ่านออกจากชุดลูกกด กระดาษจะมี  
ความชื้นเหลือประมาณ 55 – 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ก่อนที่จะเดินทางเข้าสู่กระบวนการในชุดลูกอบต่อไป

#### 4. ชุดลูกอบ

เมื่อกระดาษเดินทางมาถึงชุดลูกอบ (Dryer Press) กระดาษจะถูกทำให้แห้งมากขึ้น โดยการใช้ความร้อนจากไอน้ำ ซึ่งกระดาษที่ผ่านออกจากชุดลูกอบจะค่อนข้างแห้ง และเหลือความชื้นประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดย  
น้ำหนัก

#### 5. ชุดฉายผิว

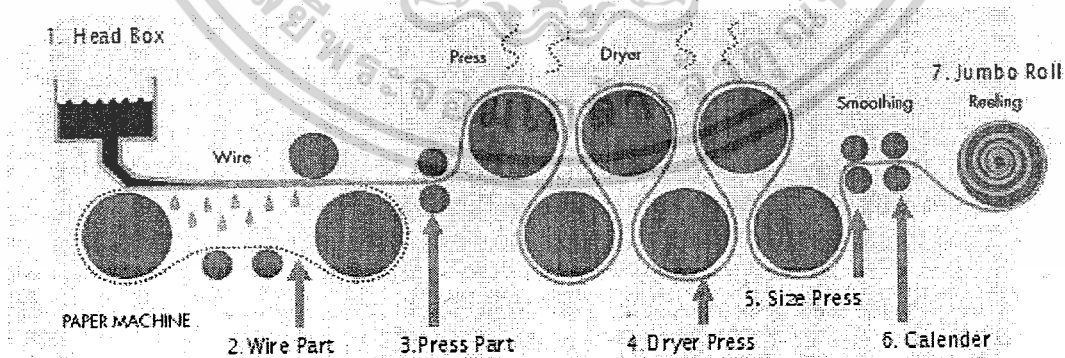
ชุดฉายผิว (Size Press) มีหน้าที่เพื่อให้กระดาษมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นและเหมาะกับการนำไปใช้งาน  
เช่น สามารถต้านทานการฉีกขาดได้ดีขึ้น (Picking Resistance) สามารถต้านทานการดูดซึมน้ำได้ดีขึ้น (Water  
Resistance) และมีความเรียบดีขึ้น (Smoothness) ดังนั้น กระดาษจะผ่านการฉายด้วยสารเคมี

#### 6. ชุดขัดผิว

เมื่อกระดาษมาถึงชุดขัดผิว (Calender) จะยังมีผิวหน้าที่ค่อนข้างหยาบ และยังไม่แน่นตัว ดังนั้นเมื่อ  
มาถึงชุดขัดผิว กระดาษจะถูกส่งผ่านลูกกลิ้งโลหะที่ใช้แรงกดสูง เพื่อควบคุมความหนาของกระดาษ และควบคุมความ  
เรียบของกระดาษให้ได้ตามที่ต้องการ

#### 7. การเข้าม้วน

เมื่อผ่านขั้นตอนของชุดขัดผิวแล้ว กระดาษจะถูกกรอเข้าม้วนใหญ่ (Jumbo Roll) ดังแสดงในรูปที่  
2.1 ต่อจากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนการแปรรูปต่อไป

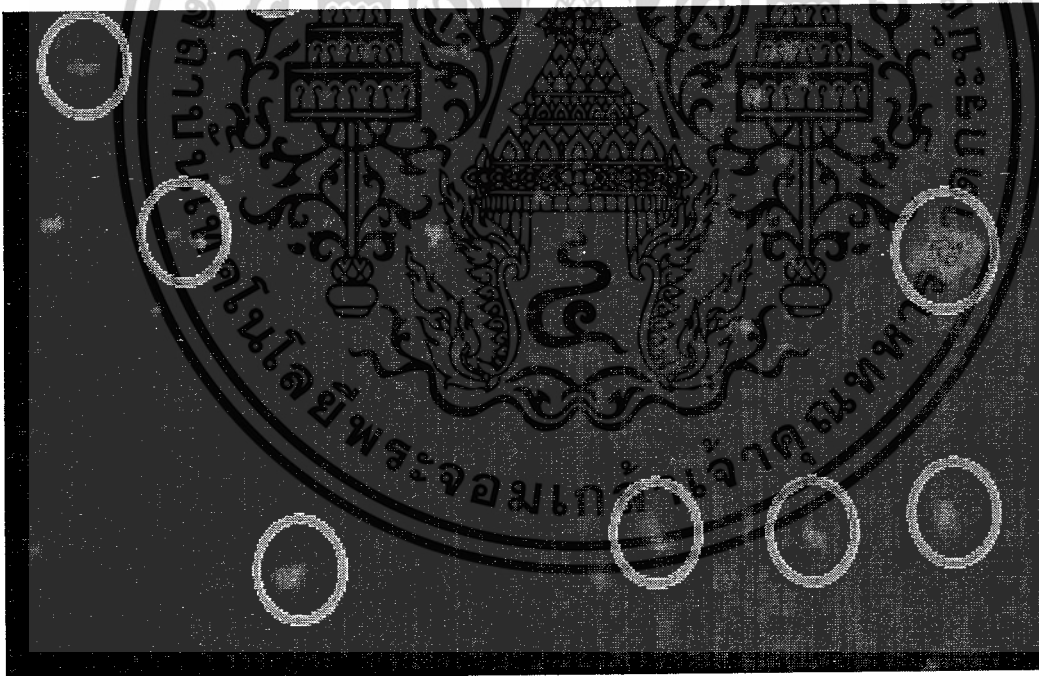


รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการผลิตกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

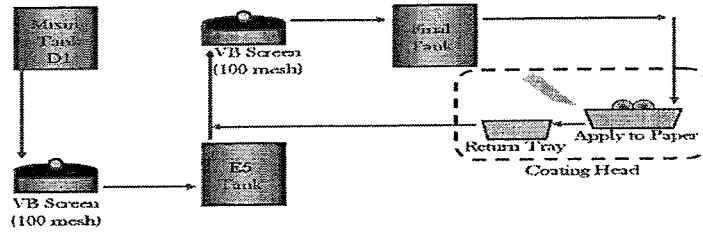
### 2.1.2.2 กระดาษเคลือบผิว

ในกรณีที่เป็นกระดาษเคลือบผิว จะนำกระดาษที่ได้จากขั้นตอนการผลิตกระดาษไม่เคลือบผิว มาทำการเคลือบด้วยน้ำยาเคลือบ โดยเริ่มจากการผสมสารเคมีต่างๆ ในปริมาณและลำดับขั้นตอนที่ถูกต้องที่ถังผสม (Mixing Tank D1) หลังจากเตรียมน้ำยาเคลือบเสร็จ จึงปั้มน้ำยาเคลือบไปที่ตะแกรงต้นกรองแรก (Vibration Screen) เพื่อทำการกรองน้ำยาเคลือบครั้งที่ 1 น้ำยาเคลือบที่ผ่านการกรองจะไหลลงไปที่ถังเก็บ (Storage Tank E5) เพื่อทำการพักก่อนนำน้ำยาเคลือบไปใช้เคลือบ และเมื่อต้องการใช้น้ำยาเคลือบ จึงได้มีการปั้มจากถังเก็บ ขึ้นไปที่ตะแกรงต้นกรอง เพื่อทำการกรองน้ำยาเคลือบครั้งที่ 2 แล้วจึงส่งไปที่ถังสุดท้าย (Final Tank) ก่อนจะไหลเข้าสู่กระบวนการนำยาตรงหัวเคลือบ (Coating Head) โดยน้ำยาที่เหลือจากการเคลือบผิวกระดาษจะนำกลับไปใช้อีกครั้ง โดยการปั้มไปที่ตะแกรงต้นกรองที่สอง (Vibration Screen) แล้วจึงส่งต่อไปที่ถังสุดท้าย ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยที่บริเวณกระบวนการนำยาตรงหัวเคลือบ ในส่วนนี้จะเกิดปัญหาเกล็ดน้ำยาขึ้น ซึ่งเกิดจากการที่น้ำยาเคลือบเกิดการแข็งตัวเป็นก้อนที่มีขนาดเล็กและกลมคืดที่ผิวหน้ากระดาษซึ่งยากที่จะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จึงต้องตรวจสอบรอยตำหนิด้วยเครื่องทดสอบรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งจะเห็นรอยตำหนิเป็นจุดๆดังรูปที่ 2.2 หลังจากนั้น นำมาอบให้แห้ง และนำไปขัดผิวโดยเครื่องมือที่เรียกว่า Super Calender เพื่อให้ผิวกระดาษเรียบ และเกิดความมันเงาเหมาะกับการพิมพ์งานคุณภาพ และเมื่อกระดาษผ่าน Super Calender แล้วจะถูกกรอเข้าม้วนใหญ่ (Jumbo Roll) เพื่อเข้าสู่กระบวนการแปรรูปต่อไป



รูปที่ 2.2 รอยตำหนิจากเครื่องทดสอบรังสีอัลตราไวโอเล็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการเคลือบผิวกระดาษ

## 2.1.3 ขั้นตอนการแปรรูป

เมื่อได้กระดาษ Jumbo Roll แล้ว โรงงานจะนำไปแปรรูปได้ 2 ชนิด ดังนี้

### 2.1.3.1 การแปรรูปเป็นกระดาษแผ่น

ทางโรงงานจะนำม้วน Jumbo Roll ขึ้นเครื่องตัด (Cutter) เพื่อตัดกระดาษให้เป็นแผ่น ตามขนาดที่ลูกค้าต้องการ

### 2.1.3.2 การแปรรูปเป็นกระดาษม้วน

กระดาษ Jumbo Roll จะถูกนำขึ้นเครื่อง Slitter เพื่อกรอเป็นม้วนกระดาษใหม่ ให้ได้หน้ากว้างและเส้นผ่านศูนย์กลางตามขนาดที่ลูกค้าต้องการ

## 2.2 โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks, (ANNs)) เป็นแขนงหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ซึ่งมีโครงสร้างเชิงสถาปัตยกรรมและการทำงานคล้ายคลึงกับการทำงานของเซลล์สมอง โดยสามารถเรียนรู้และปรับตัวตามข้อมูลที่ได้รับจากสภาพแวดล้อมภายนอก และให้คำตอบในปัญหาที่ซับซ้อนได้น่าเชื่อถือ

เนื่องจากคุณสมบัติที่สำคัญ คือความยืดหยุ่นในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้า (Input) และผลลัพธ์ (Output) ที่มีความซับซ้อนและสามารถตอบสนองกับข้อมูลที่ไม่เคยเห็นได้ดี ทำให้มีการนำทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาทางจริงหลายด้านอย่างกว้างขวาง เช่น การเงินการธนาคาร อวกาศ ระบบป้องกันประเทศ ระบบรักษาความปลอดภัย การแพทย์ ระบบสื่อสาร ระบบขนส่ง การบันเทิง รวมทั้งงานด้านวิศวกรรม โดยนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการจดจำรูปแบบ (Recognition) การจัดกลุ่ม (Clustering) การจัดหมวดหมู่ (Classification) และการพยากรณ์ (Forecasting) เป็นต้น (อนันต์ วิริยะกิจชัย, 2549) ในบทนี้จะอธิบายเกี่ยวกับหลักการของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการพยากรณ์ค่าเงินที่เกิดขึ้นบนกระดาษคูเพิลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.1 ความเป็นมาของโครงข่ายประสาทเทียม

ความพยายามที่จะทำความเข้าใจการทำงานของสมองมนุษย์ได้มีมานานนับศตวรรษแล้ว เริ่มต้นในปี ค.ศ. 1890 William James นักสรีรศาสตร์ชาวอเมริกันได้แต่งหนังสือชื่อ Psychology (Briefer Course) ซึ่งอธิบายหลักการการทำงานของสมอง และยังคงกล่าวถึงทฤษฎีที่มีอยู่ในปัจจุบันไว้ล่วงหน้าอีกด้วย (กูริสตันท์ ถักขจร, 2548)

### 2.2.1.1 ช่วงทศวรรษที่ 40 ยุคเริ่มต้นของโครงข่ายประสาทเทียม

ในปี ค.ศ.1936 Alan Turing ได้นำสมองไปใช้เป็นแบบอย่างของการคำนวณใน A way of looking at the world of computing ในปี ค.ศ.1943 Warren McCulloch นักประสาทวิทยา และ Walter Pitts นักคณิตศาสตร์ ซึ่งมีอายุเพียง 18 ปี ในขณะนั้น ได้ออกแบบและเป็นที่ทำให้ความสนใจโดยทั่วไปว่าเป็นโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแรก นักวิจัยเหล่านั้นยอมรับว่า การรวมหลายๆ นิวรอนที่ไม่ซับซ้อนเข้าสู่ระบบโครงข่ายให้เป็นการเพิ่มกำลังในการคำนวณ ค่าถ่วงน้ำหนักของนิวรอน McCulloch-Pitts ได้กำหนดให้มีค่าคงที่ ดังนั้นนิวรอนของ McCulloch-Pitts ประกอบด้วยชั้นของโครงข่ายจำนวน 2 ชั้น คือชั้นอินพุตและเอาต์พุต โครงข่ายจะมีการเชื่อมโยงจากชั้นอินพุตไปยังชั้นเอาต์พุต โดยผ่านค่าน้ำหนัก (Weight) สำหรับความคิดของค่าขีดจำกัด (Threshold) กล่าวคือ ถ้าโครงข่ายอินพุตถึงนิวรอนมีค่าใหญ่กว่าค่าขีดจำกัดแล้ว โหนดกระตุ้น เป็นลักษณะอย่างหนึ่งในนิวรอน McCulloch-Pitts ต่อมาในปี ค.ศ. 1949 Donald Habb นักจิตวิทยาของมหาวิทยาลัย McGill ได้ออกแบบบทกฏการเรียนรู้ชนิดแรกสำหรับโครงข่ายประสาทเทียม บทกฏการเรียนรู้นี้ คือ ถ้าสองนิวรอนถูกกระตุ้นพร้อมกันแล้ว ความแข็งแรงของการเชื่อมโยงระหว่างพวกมันควรจะเพิ่มขึ้น และได้แต่งหนังสือชื่อ The organization of behavior ซึ่งกล่าวถึงการเชื่อมโยงกันของจิตวิทยาและสรีรศาสตร์

### 2.2.1.2 ช่วงทศวรรษที่ 50-60 ยุคทองของโครงข่ายประสาทเทียม

การพัฒนาด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ในช่วงทศวรรษที่ 1950 ทำให้การวิจัยด้านต่างๆ เข้าสู่ยุคของการสร้างแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นผลให้การทดลองทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายประสาทมีความเป็นไปได้มากยิ่งขึ้น ในปี ค.ศ.1956 Dartmouth Summer ได้เริ่มทำงานวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งเป็นแรงผลักดันให้เกิดการศึกษาทั้งในด้านปัญญาประดิษฐ์และโครงข่ายประสาทมากขึ้น ในปี ค.ศ.1958 John Von Neumann เขียนหนังสือเรื่อง The Computer and The Brain ซึ่งได้นำเสนอ ฟังก์ชันการทำงานของเซลล์ประสาท โดยใช้รีเลย์ที่ใช้สำหรับส่งโทรเลข และ หลอดสุญญากาศ (Vacuum Tube) ในปี ค.ศ.1957 Frank Rosenblatt ได้เริ่มศึกษาและพัฒนาประเภทใหม่ของโครงข่ายประสาทเทียมที่เรียกว่า Perceptron ซึ่งเป็นรูปแบบที่สำคัญรูปแบบหนึ่งของโครงข่ายประสาทเทียม โดยส่วนมากสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้ จะประกอบด้วยชั้นอินพุตเชื่อมโยงผ่านด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก เพื่อเป็นตัวเชื่อมกับนิวรอนที่ชั้นเอาต์พุต ค่าถ่วงน้ำหนักบนทางผ่านเชื่อมโยงถูกปรับเปลี่ยนตามบทกฏการเรียนรู้ของ Perceptron ปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักซ้ำๆ กัน ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่ากฏของ Habb การเรียนรู้ของ Perceptron สามารถแสดงให้เห็นการรู้ค่าถ่วงน้ำหนักที่ถูกต้อง และต่อมางานของ Frank Rosenblatt ได้อธิบาย Perceptron หลายๆ ชนิดว่า เหมือนนิวรอนที่ได้พัฒนาจาก McCulloch และ Pitts และจาก Habb โครงข่ายประสาทเทียมชนิด Perceptron ใช้ค่าเริ่มต้นจากฟังก์ชันเอาต์พุต

ในปี ค.ศ.1959 Bernard Widrow และนักศึกษาของเขา Marcian Hoff ได้พัฒนาบทกฏการเรียนรู้ซึ่งใกล้เคียงกับบทกฏการเรียนรู้ของ Perceptron โดยการเรียนรู้ของ Perceptron ปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงที่โหนดเมื่อผลตอบสนองของโหนดไม่ถูกต้อง กฏ Della เป็นการปรับค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อลดความแตกต่างระหว่างโครงข่ายอินพุตถึงโหนดเอาต์พุต และค่าเอาต์พุตที่ต้องการ สิ่งเหล่านี้จะสรุปในรูปแบบของค่าผิดพลาดยกกำลังสองเพื่อการคำนวณค่าผิดพลาด ซึ่งเป็นการคำนวณค่าผิดพลาดที่สงวนไว้สำหรับใช้ในช่วงเวลาเพื่อลดความแตกต่างไปเรื่อยๆ โดยไม่ต้องมีการคำนวณค่าผิดพลาดใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยที่สุด (Smallest Mean Squared Error : SMS) และนำสิ่งต่างๆเหล่านี้ ไปใช้ในสร้างแบบจำลองของ MADALINE (Multiple Adaptive Linear Element) ซึ่งเป็นการนำเอาโครงข่ายประสาทมาใช้งานในทางปฏิบัติครั้งแรก โดยนำมาใช้ในการลดเสียงก้องในสายโทรศัพท์

### 2.2.1.3 ช่วงทศวรรษที่ 70 ยุคเงียบของโครงข่ายประสาทเทียม

ในปี ค.ศ.1969 Martin Minsky และ Seymour Papert ได้ตีพิมพ์หนังสือ Perceptron ซึ่งกล่าวถึงข้อจำกัดของ Perceptron ว่าไม่สามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาหลายๆปัญหาที่มีความน่าสนใจได้ ซึ่งจุดนี้เองที่ทำให้นักวิจัยหลายคนกลับไปให้ความสนใจด้านปัญญาประดิษฐ์ (AI) มากขึ้น แต่ยังมีนักวิจัยบางกลุ่มที่ไม่ย่อท้อและยังคงทำงานวิจัยด้านโครงข่ายประสาทต่อไป John Anderson ของมหาวิทยาลัย Brown เริ่มงานวิจัยของเขาในปี ค.ศ.1968 โดยทำการวิจัยโครงข่ายประสาทเทียม ด้วยโครงข่ายรวมกลุ่มความสามารถในการจดจำ (Associative Memory Nets) เขาได้พัฒนาแบบจำลองของโครงข่ายประสาทขึ้นมา และให้ชื่อว่า Brian-State-in-A-Box (BSB) งานประยุกต์ที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้คือ การวินิจฉัยทางการแพทย์ (Medical Diagnosis)

ในปี ค.ศ.1972 งานเริ่มต้นของ Teuvo Kohonen ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี Helsinki วิศวกรไฟฟ้าชาวฟินแลนด์ ได้จัดการกับโครงข่ายประสาทรวมกลุ่มความสามารถในการจดจำ และต่อมาได้พัฒนากลายเป็น Self Organization Map ขึ้นมา สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Self Organization Map นี้ ประกอบด้วยจำนวนชั้น 2 ชั้น คือ ชั้นอินพุตและเอาต์พุต การเชื่อมโยงที่ชั้นอินพุตไปยังนิวรอนที่ชั้นเอาต์พุตนั้นจะต่อผ่านน้ำหนักข้อแตกต่างจากโครงข่ายอื่นๆ คือ กระบวนการเรียนรู้ที่สามารถจัดกลุ่มข้อมูลอินพุตได้ด้วยตัวเอง และเรียกการเรียนรู้นี้ว่า การเรียนรู้แบบคอมพิทิทีฟ (Competitive Learning) โครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้ ถูกนำไปใช้เกี่ยวกับการจดจำคำพูด (Speech Recognition) การแก้ปัญหาของ "Traveling Salesman Problem" เป็นต้น

### 2.2.1.4 ช่วงทศวรรษที่ 80 ยุคความกระตือรือร้นกลับมาใหม่ของโครงข่ายประสาทเทียม

ในปี ค.ศ. 1982 สหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น ได้ร่วมมือกันจัด Conference on Cooperative / Competitive Neural Network ขึ้นที่ญี่ปุ่น ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการประชุมสัมมนาทางด้านโครงข่ายประสาท ในปี ค.ศ. 1985 American Institute of Physics ได้จัดงาน Neural Network for Computing Meeting ในปี ค.ศ. 1987 Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) ได้จัดประชุมนานาชาติเกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นเป็นครั้งแรก โดยมีผู้ร่วมงานมากกว่า 1,800 คน ในปีเดียวกัน International Neural Network Society (INNS) ถูกก่อตั้งขึ้น โดยมี Grossberg จาก สหรัฐอเมริกา Kohonen จากฟินแลนด์ และ Amari จากญี่ปุ่นเป็นผู้นำในการก่อตั้ง โดยหลังจากที่ INNS ก่อตั้งได้ 2 ปี ก็มีสมาชิกเข้าร่วมมากกว่า 3,000 คน จากทั่วโลก

## 2.2.2 เซลล์ประสาททางชีววิทยา

สมองมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neuron) จำนวนมากประมาณ  $10^{11}$  ยูนิตที่มีการเชื่อมต่อกันอย่างแน่นหนา (การเชื่อมโยงของแต่ละเซลล์ประสาทประมาณ  $10^4$  ยูนิต) โดยแต่ละเซลล์ประสาทจะประกอบด้วยเดนไดรต์ (Dendrites) ซึ่งทำหน้าที่รับความรู้สึกจากเส้นใยประสาท โดยส่งข้อมูลเป็นสัญญาณไฟฟ้า (Electrical Signal) มาที่เดนไดรต์ และที่เดนไดรต์แต่ละกิ่งจะรับรู้ด้วยค่าน้ำหนัก (Weight) ที่ต่างกัน และการแทนค่าถ่วงน้ำหนักด้วยความแข็งแรง (Strength) ของแต่ละไซแนปส์ (Synapse) จากนั้นจึงส่งข้อมูลตัวเซลล์ (Cell Body) ซึ่งทำหน้าที่รวบรวมเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

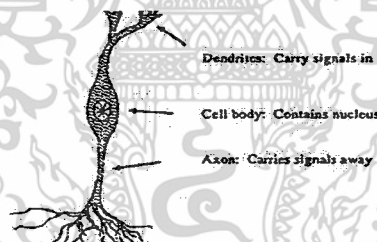
สิ่งที่ได้รับรู้แล้วส่งให้แอกซอน (Axon) แอกซอนจะส่งสัญญาณออกไป โดยสัญญาณที่ส่งออกมาจะเป็นฟังก์ชันของผลรวมของสิ่งที่ได้รับจากตัวเซลล์

### 2.2.2.1 นิวรอน

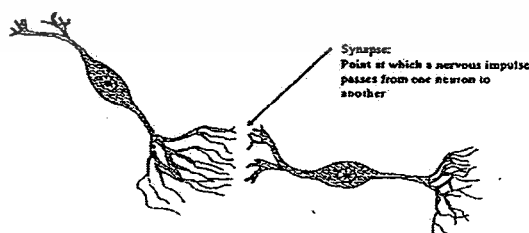
นิวรอน หมายความว่า เซลล์ประสาทและกระบวนการทั้งหมดของเซลล์ประสาท (รูปที่ 2.3) แสดงตัวอย่างของนิวรอนที่สามารถพบได้ในเรตินา เป็นนิวรอนที่มีสองขั้ว (Bipolar Neural) ในตัวเซลล์ (Cell Body) ของนิวรอนจะมีนิวเคลียส (Nucleus) อยู่ตรงกลางเซลล์และมีแขนงอย่างน้อย 1 เส้นเชื่อมต่อกับเซลล์ แขนงที่ทำหน้าที่นำกระแสประสาท ซึ่งมีลักษณะเป็นสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse Signal) เข้ามายังตัวเซลล์นั้น เรียกว่า เดนไดรต์ (Dendrite) ส่วนแขนงที่ทำหน้าที่นำกระแสประสาทออกจากตัวเซลล์เรียกว่า แอกซอน (Axon)

### 2.2.2.2 โครงสร้างของนิวรอนและไซแนปส์

เมื่อนิวรอนมากกว่า 1 นิวรอน อยู่รวมด้วยกันมีการจัดเรียงเป็นโครงสร้างของประสาทดังแสดงในรูปที่ 2.5 จะมีการส่งกระแสประสาทจากนิวรอนหนึ่งไปยังนิวรอนอื่น โดยผ่านจุดเชื่อมระหว่างปลายแอกซอนของนิวรอนหนึ่งกับตัวเซลล์หรือเดนไดรต์ของอีกนิวรอนหนึ่ง หรือ เรียกว่า ไซแนปส์ (Synapse) ซึ่งเป็นช่องว่างที่เล็กมากระหว่างนิวรอนสองนิวรอนที่อยู่ติดกันแต่ไม่ได้สัมผัสกันโดยตรง ไซแนปส์จะเป็นบริเวณที่ควบคุม ให้มีการส่งผ่านกระแสประสาทต่อไป หรือยับยั้งการส่งกระแสประสาท รวมถึงเปลี่ยนแปลงลักษณะของกระแสประสาทอีกด้วย



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างของนิวรอนที่มีสองขั้ว



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของประสาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2.3 การส่งผ่านกระแสประสาท

ในสภาวะปกติ เมื่อนิวรอนกระแสประสาทที่ได้รับจากอวัยวะที่ทำหน้าที่รับรู้ (อาทิเช่น ตา หรือ หู) ไปยังอวัยวะที่ทำหน้าที่ตอบสนอง (อาทิเช่น กล้ามเนื้อ หรือ คอัมต่างๆภายในร่างกาย) กระแสประสาทจะถูกส่งผ่านจากนิวรอนหนึ่ง ไปยังอีกนิวรอนหนึ่งโดยผ่านไซแนปส์ เมื่อกระแสผ่านเข้าไปในไซแนปส์ (เสมือนเป็นอินพุตของไซแนปส์) สารเคมีในไซแนปส์จะมีผลต่อกระแสประสาทได้สองลักษณะ คือ การกระตุ้นให้กระแสประสาทมีขนาดเพิ่มขึ้น หรือยับยั้งให้กระแสประสาทขนาดลดลง ซึ่งทั้งสองลักษณะดังกล่าว เปรียบได้กับการที่สัญญาณอินพุตถูกถ่วงน้ำหนักให้มีความมากขึ้นหรือลดลง เมื่อผ่านออกจากไซแนปส์ กระแสประสาทที่ถูกกระตุ้นและกระแสประสาทที่ถูกยับยั้งจะถูกรวมเข้าด้วยกัน หากผลรวมของกระแสประสาทดังกล่าว มีค่ามากกว่า หรือ เท่ากับ ศักคาที่นิวรอนของนิวรอนถัดไป หรือเชอร์โฮลด์ (Threshold) กระแสประสาทดังกล่าวก็จะสามารถไหลผ่านเข้าไปนิวรอนได้ หากผลรวมของกระแสประสาทมีค่าน้อยกว่าค่าเชอร์โฮลด์ กระแสประสาทก็จะถูกยับยั้งไม่ให้ผ่านเข้าไปในนิวรอนนั้น การไหลของกระแสประสาทจะเป็นไปในทิศทางเดียว (One Directions) และมีความเร็วอยู่ระหว่าง 10 ถึง 120 เมตรต่อวินาที เมื่อการส่งกระแสประสาทครั้งหนึ่งสิ้นสุดลง ส่วนต่างๆของนิวรอน จะกลับเข้าสู่สภาวะเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับส่งกระแสประสาทครั้งต่อไป (ภุริสัณห์ ลักขร, 2549)

### 2.2.3 เซลล์ประสาทเทียม

เมื่อทราบหลักการการทำงานของเซลล์ประสาททางชีววิทยาแล้ว สามารถสร้างแบบจำลองเซลล์ประสาท ที่เรียกว่าเซลล์ประสาทเทียม (Artificial Neuron) ยูนิต (Unit) หรือ โหนด (Node) ซึ่งเซลล์ประสาทที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นจะประมวลผลข้อมูล โดยอาศัยหลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์ประสาททางชีววิทยาที่สามารถรวบรวมความรู้ได้ด้วยการทำงานผ่านกระบวนการเรียนรู้ และจะเก็บความรู้เหล่านั้นไว้ในโครงข่าย ในรูปของค่าน้ำหนักและค่าไบอัส ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้เมื่อมีการเรียนรู้สิ่งใหม่ โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะมีความเร็วในการประมวลผลที่สูงกว่าโครงข่ายประสาทเทียมทางชีววิทยามาก อย่างไรก็ตาม สมอมนมนุษย์สามารถทำงานหลายๆงานที่ซับซ้อนพร้อมๆกัน ได้เร็วกว่าคอมพิวเตอร์ เป็นเพราะโครงข่ายประสาททางชีววิทยานั้น มีโครงสร้างที่ขนานกันอย่างมากมาย จึงสรุปได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมเป็นอัลกอริทึมที่เลียนแบบการเรียนรู้ของสมอมนมนุษย์ โดยมีองค์ประกอบของโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญดังนี้คือยูนิต (Unit) ตัวแปรอินพุต (Input Layer) ตัวแปรเอาต์พุต (Output Layer) และ ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weighted Value) ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาทเทียม ดังแสดง ในตารางที่ 2.1

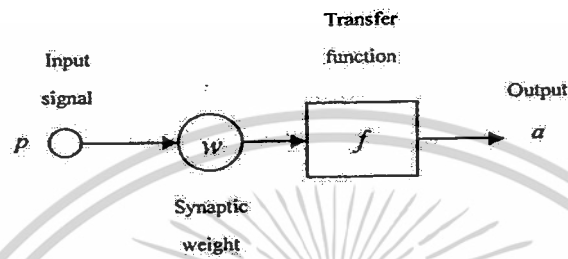
ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาทเทียม และเซลล์ประสาทเทียมทางชีววิทยา

เซลล์ประสาทเทียมทางชีววิทยา	เซลล์ประสาทเทียม
ตัวเซลล์ (Cell Body)	ยูนิต (Unit)
เดนไดรต์ (Dendrite)	ตัวแปรด้านเข้า (Input)
แอกซอน (Axon)	ตัวแปรด้านออก (Output)
ไซแนปส์ (Synapse)	ค่าน้ำหนัก (Weight)

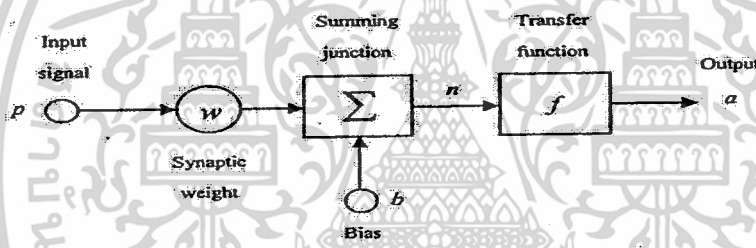
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3.1 เซลล์ประสาทเทียมอินพุทเดียว

เซลล์ประสาทเทียมอินพุทเดียวดังแสดงในรูปที่ 2.6 (a) จะเป็นแบบไม่มีค่าไบอัส ส่วนในรูปที่ 2.6 (b) จะเป็นแบบที่มีค่าไบอัส โดยตัวแปรด้านเข้า  $p$  จะถูกส่งผ่านเข้าไปรวมกับค่าน้ำหนัก ( $w$ ) และค่าไบอัส ( $b$ ) ซึ่งสามารถปรับค่าได้ โดยใช้กฎการเรียนรู้ (Learning Rule) จากนั้นก็จะส่งสัญญาณ  $n$  ผ่านฟังก์ชันถ่ายโอน ( $f$ ) เพื่อคำนวณค่าตัวแปรด้านออกของเซลล์ประสาทเทียม หรือ ยูนิท  $a$



รูปที่ 2.6 (a) เซลล์ประสาทเทียมแบบไม่มีค่าไบอัส



รูปที่ 2.6 (b) เซลล์ประสาทเทียมแบบมีค่าไบอัส

### 2.2.3.2 เซลล์ประสาทเทียมหลายอินพุท

จากรูปที่ 2.6 ตัวแปรด้านเข้า  $p_i$  โดยที่  $i = 1, 2, \dots, R$  จะถูกส่งผ่านเข้าไปรวมกับค่าน้ำหนัก ( $w$ ) และค่าไบอัส ( $b$ ) ที่สามารถปรับค่าได้โดยใช้กฎการเรียนรู้ ซึ่งจะได้ผลรวมเป็นสมการที่ 2.1

$$\begin{aligned} n_k &= w_{k1}p_1 + w_{k2}p_2 + w_{kR}p_R \dots + b_k \\ &= \sum_{i=1}^R w_{ki}p_i + b_k \end{aligned} \quad (2.1)$$

หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณ  $n_k$  ผ่านฟังก์ชันถ่ายโอน ( $f$ ) เพื่อคำนวณค่าตัวแปรด้านออกของเซลล์ประสาทเทียม หรือ ยูนิท  $a_k$

$$a_k = f \left[ \sum_{i=1}^R w_{ki}p_i + b_k \right] \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

$p_i$  คือ ตัวแปรด้านเข้า โดยที่  $i = 1, 2, \dots, R$

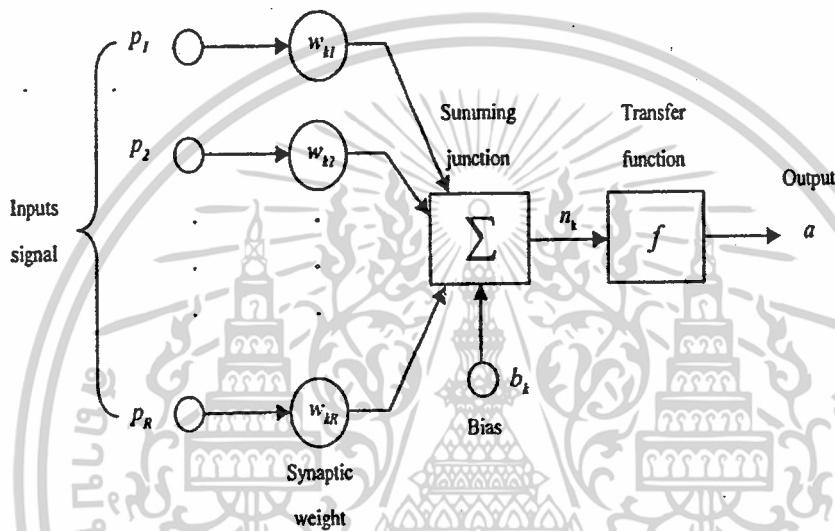
$n_k$  คือ ผลรวมของตัวแปรด้านเข้าของยูนิตที่  $k$

$w_{ki}$  คือ ค่าน้ำหนักระหว่างยูนิตที่  $i$  และ  $k$

$b_k$  คือ ค่าไบอัสของยูนิตที่  $k$

$f$  คือ ฟังก์ชันถ่ายโอน

$a_k$  คือ ตัวแปรด้านออกของเซลล์ประสาทเทียมของยูนิตที่  $k$



รูปที่ 2.7 เซลล์ประสาทเทียมที่มีหลายอินพุต

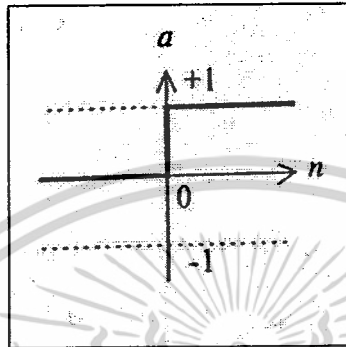
#### 2.2.4 ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน

ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) จะเป็นตัวกำหนดเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม โดยปกติฟังก์ชันถ่ายโอนที่จะนำไปใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมนั้น จะเลือกโดยผู้ออกแบบ ซึ่งอาจเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นหรือไม่เชิงเส้นก็ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟังก์ชันถ่ายโอนที่เลือกมาใช้งานนั้น จะต้องเพียงพอกับลักษณะของปัญหาที่โครงข่ายประสาทเทียม กำลังพยายามหาคำตอบอยู่ ฟังก์ชันถ่ายโอนนั้นมีอยู่หลายชนิด แต่นิยมใช้กันมากจะมีอยู่ 4 ชนิด ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.1 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Hard Limit

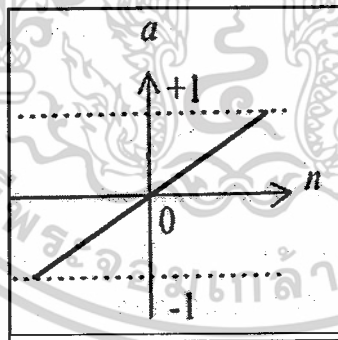
$$a(n) = \begin{cases} 0 & ; n < 0 \\ 1 & ; n \geq 0 \end{cases} \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.8 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Hard Limit

2.2.4.2 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิดเส้นตรง

$$a(n) = n \quad (2.4)$$

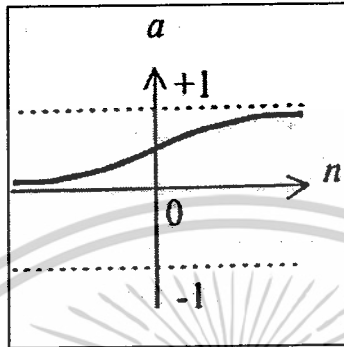


รูปที่ 2.9 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิดเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.3 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Log-sigmoid

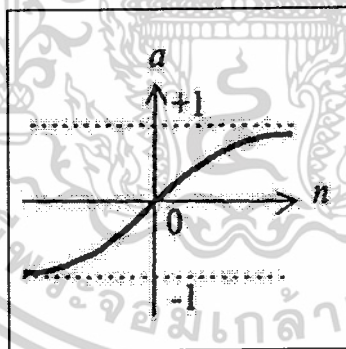
$$a(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}} \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.10 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Log-sigmoid

2.2.4.4 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Tan-sigmoid

$$a(n) = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}} \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.11 ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Tan-sigmoid

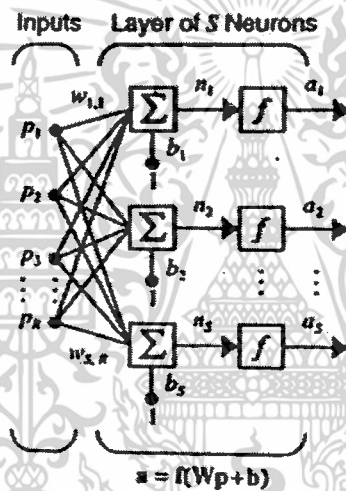
2.2.5 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลย่อยที่เรียกว่า เซลล์ประสาทเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่าย ซึ่งเป็นลักษณะการเชื่อมต่อกันของเซลล์ประสาทนี้ จะเป็นตัวกำหนดโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม การเชื่อมต่อกันระหว่างเซลล์ประสาทระนั้นจะมีค่าน้ำหนักเข้ามาเกี่ยวข้องหรือไม่ก็ได้ โดยที่ค่าน้ำหนักนี้จะสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมของกฎการเรียนรู้ (Learning Rules) ซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมอาจพิจารณาได้จาก ทิศทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณข้อมูล (โอพาร ธรรมานนท์, 2548) จำแนกความแตกต่างที่สำคัญได้ 2 ชนิดดังนี้ เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.5.1 Feedforward Networks

โครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้ อาจจะมีจำนวนเซลล์ประสาทตั้งแต่ 2 เซลล์ขึ้นไป ประกอบอยู่ในแต่ละชั้นและสามารถมีจำนวนชั้นได้มากกว่า 1 ชั้นขึ้นไป โดยเซลล์ประสาทจะถูกจัดกลุ่มลงในชั้น (Layer) ที่เชื่อมต่อกันในลักษณะจากชั้นก่อนหน้าไปยังชั้นถัดไป การเชื่อมต่อของแต่ละชั้นจะเป็นแบบถึงกันหมด (Fully Connect) จึงทำให้สัญญาณข้อมูลเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวเท่านั้นคือ เคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Feedforward) จากชั้นอินพุทไปสู่ชั้นเอาต์พุท (Output Layer) ตัวอย่างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้มี 2 แบบดังนี้

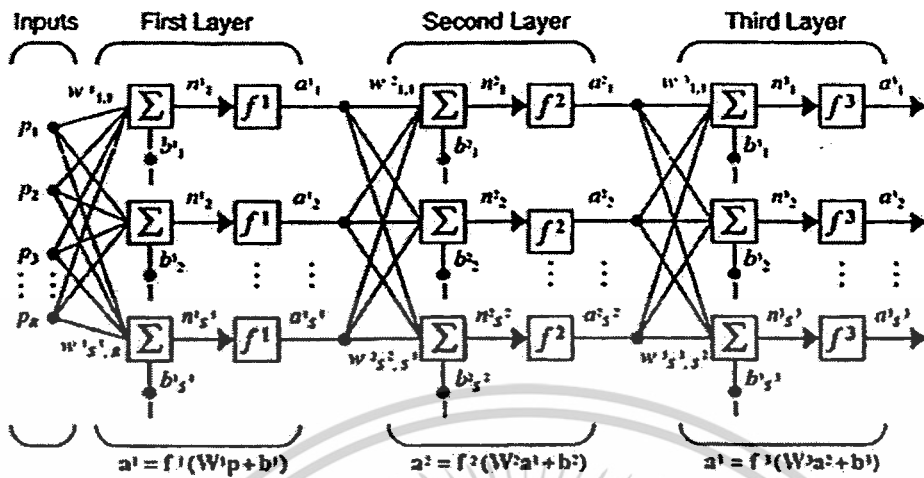
1. โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งประกอบด้วย ชั้นอินพุท (Input Layer) และ ชั้นเอาต์พุท (Output Layer) ในชั้นอินพุทนั้น เราจะไม่นับเนื่องจากเป็นชั้นที่ไม่มีการประมวลผลใดๆ โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวนี้จะมีความสามารถในการคำนวณที่ค่อนข้างน้อยแต่เวลาที่ใช้ในการคำนวณจะเร็ว



รูปที่ 2.12 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว

2. โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.13 จะมีชั้นที่เพิ่มขึ้นมาจากโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวที่มีแค่ชั้นอินพุทและชั้นเอาต์พุท นั่นคือจะมีชั้นซ่อน (Hidden Layer) เพิ่มขึ้นมา โดยในชั้นซ่อนนี้สามารถมีได้ตั้งแต่ 1 ชั้นขึ้นไป ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหาที่นำมาให้โครงข่ายประสาทเทียมทำการวิเคราะห์ แต่โดยทั่วไปแล้วก็มักจะมีชั้นซ่อนไม่เกิน 2 ชั้น เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการคำนวณ เพราะถ้าจำนวนชั้นซ่อนมาก เวลาที่ใช้ในการคำนวณก็จะมากตามไปด้วย แต่จะมีความสามารถในการคำนวณมากกว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว

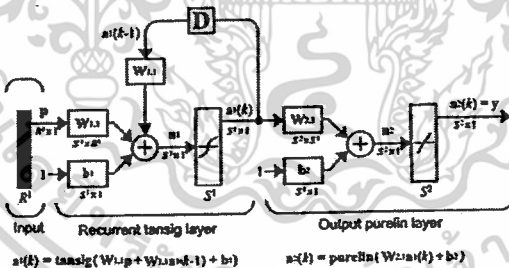
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



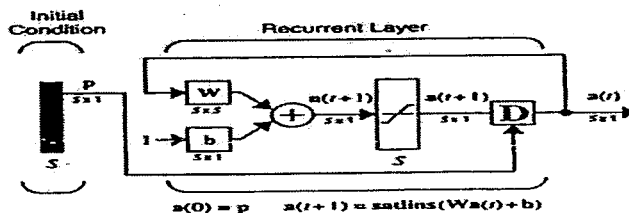
รูปที่ 2.13 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

### 2.2.5.2 Recurrent Networks

โครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้ ลักษณะเอาที่พุทของเซลล์ประสาทจะมีการเคลื่อนที่ย้อนกลับไปยังชั้นก่อนหน้า หรือย้อนกลับไปเป็นอินพุทของตัวเอง จึงทำให้ลักษณะสัญญาณข้อมูลมีการเคลื่อนที่ 2 ทิศทาง คือ เคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Feedforward) และเคลื่อนที่ย้อนกลับ (Feedback) ซึ่งตัวอย่างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้ได้แก่ Elman Network และ Hopfield Network สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.14 (a) และ 2.14 (b) ตามลำดับ



รูปที่ 2.14 (a) Elman Network



รูปที่ 2.14 (b) Hopfield Network

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.6 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมจะใช้กฎการเรียนรู้เพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมให้แก่โครงข่ายนั้นๆ ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการเรียนรู้ คือ การเรียนรู้แบบควบคุม (Supervised Learning) และการเรียนรู้แบบไม่มีการควบคุม (Unsupervised Learning)

### 2.2.6.1 การเรียนรู้แบบควบคุม

การเรียนรู้วิธีนี้จะมีข้อมูลที่เราเรียกว่าชุดฝึกสอน โดยในชุดฝึกสอนนี้จะมีข้อมูลอินพุตและเอาต์พุต ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกฝึกสอนจากข้อมูลในชุดฝึกสอน เพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสม โดยนำเอาต์พุตที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมไปเปรียบเทียบกับเอาต์พุตของชุดฝึกสอน จากนั้น ค่าผิดพลาดที่ได้จากความแตกต่างของเอาต์พุตจากโครงข่ายประสาทเทียม และเอาต์พุตจากชุดฝึกสอนก็จะถูกป้อนกลับไปใหม่ แล้วคำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนักใหม่ เพื่อให้ค่าผิดพลาดระหว่าง เอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม กับเอาต์พุตของชุดฝึกสอนมีค่าน้อยที่สุด

### 2.2.6.2 การเรียนรู้แบบไม่มีการควบคุม

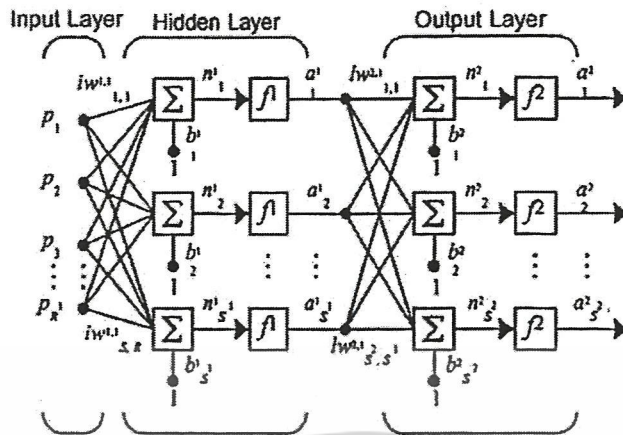
การเรียนรู้วิธีนี้จะป้อนข้อมูลอินพุตเข้าสู่โครงข่ายและภายในโครงข่าย จะมีโหนดเอาต์พุตจำนวนหลายโหนดด้วยกัน โดยแต่ละโหนดจะแทนกลุ่มของข้อมูลที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน เมื่อป้อนข้อมูลอินพุตเข้าสู่โครงข่าย โครงข่ายจะคำนวณค่าความสัมพันธ์ที่มีอยู่ภายในเซตของอินพุต โดยอาศัยค่าน้ำหนัก เป็นตัวแยกความแตกต่างของข้อมูลอินพุตไปเก็บไว้ในโหนดเอาต์พุตของโครงข่าย การสอนโดยวิธีนี้ จะไม่สามารถรู้ได้ว่าข้อมูลเอาต์พุตโหนดใดเป็นข้อมูลกลุ่มไหน ผู้ใช้ต้องกำหนดเอง ซึ่งต่างจากการสอนแบบชี้หน้าที่โครงข่ายสามารถระบุกลุ่มของข้อมูลเอาต์พุตได้อย่างแน่นอน

## 2.2.7 โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่มีหลายชั้น

โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่มีหลายชั้น ประกอบด้วย ตัวแปรด้านเข้า (Inputs) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) ที่สามารถมีได้มากกว่า 1 ชั้นขึ้นไปและชั้นตัวแปรด้านออก (Output Layer) โดยเซลล์ประสาทตั้งแต่ 2 เซลล์ขึ้นไปจะถูกจัดกลุ่มลงในชั้นที่เชื่อมต่อกันในลักษณะจากชั้นก่อนหน้าไปยังชั้นถัดไป ทุกเซลล์ประสาทในตัวแปรด้านเข้าจะส่งสัญญาณไปยังทุกเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน และทุกเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนจะส่งสัญญาณไปยังทุกเซลล์ประสาทในชั้นตัวแปรด้านออก ดังแสดงในรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.15 โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่มีสองชั้น

จากรูปที่ 2.15 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่มีสองชั้น โดยมีตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ  $R$  มีเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนเท่ากับ  $S^1$  และในชั้นตัวแปรด้านออกเท่ากับ  $S^2$

โดยตัวแปรด้านเข้า  $p$  จะถูกเชื่อมต่อกับแต่ละเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน ด้วยค่าน้ำหนัก  $w^1$  ที่เป็นเมทริกซ์ขนาด  $S^1 \times R$  จากนั้นก็ส่งสัญญาณ  $n^1$  ที่เป็นเมทริกซ์ขนาด  $S^1 \times 1$  ผ่านฟังก์ชันถ่ายโอน  $f^1$  ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ของชั้นซ่อน  $a^1$  เป็นเมทริกซ์ขนาด  $S^1 \times 1$  จะไปเป็นอินพุตของชั้นข้อมูลเอาต์พุต ซึ่งจะเชื่อมต่อกับแต่ละเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลเอาต์พุตด้วยค่าน้ำหนัก  $w^2$  ที่เป็นเมทริกซ์ขนาด  $S^2 \times S^1$  และจะถูกรวมกับค่าไบอัส  $b^2$  ที่เป็นเมทริกซ์ขนาด  $S^2 \times 1$  จากนั้นก็จะส่งสัญญาณ  $n^2$  ที่เป็นเมทริกซ์ขนาด  $S^2 \times 1$  ผ่านฟังก์ชันถ่ายโอน  $f^2$  ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมดังแสดงในสมการ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ

$$a^1 = f^1(W^1 p + b^1) \tag{2.7}$$

$$a^2 = f^2(W^2 a^1 + b^2) \tag{2.8}$$

หลังจากนั้นจะใช้การเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ มาทำการปรับสอนโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วย การส่งข้อมูลระหว่างชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมสองแบบ คือ ส่งไปข้างหน้า (Forward Pass) และการส่งย้อนกลับ (Backward Pass) การส่งไปข้างหน้าข้อมูลจะถูกป้อนเข้าโครงข่ายประสาทเทียมทางตัวแปรด้านเข้าไปยังชั้นซ่อนเพื่อทำการคำนวณ และจะได้ผลลัพธ์ออกมายังตัวแปรด้านออก โดยที่ค่าน้ำหนักและค่าไบอัสที่เชื่อมต่อกันระหว่างชั้นของตัวแปรในโครงข่ายประสาทเทียมทั้งหมดจะยังไม่ถูกเปลี่ยนแปลง ส่วนการส่งย้อนกลับก็จะตรงกันข้ามคือ ค่าน้ำหนักและค่าไบอัสที่เชื่อมต่อกันระหว่างชั้นของโครงข่ายประสาทเทียม จะถูกปรับเปลี่ยนไปตามกฎการเรียนรู้ ซึ่งค่าความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมกับเอาต์พุตเป้าหมาย หรือเรียกว่าค่าผิดพลาด (Error) จะถูกส่งกลับไปยังโครงข่ายประสาทเทียม ตามทิศทางของการเชื่อมต่อ เพื่อนำไปใช้ปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัส โดยมีจุดประสงค์เพื่อทำให้ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม เข้าใกล้กับ ค่าเอาต์พุตเป้าหมาย กล่าวคือ ทำให้ค่าผิดพลาดที่เกิดจากโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลข้างต้นไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าผิดพลาด  $e$  ที่เกิดขึ้น ในชั้นข้อมูลเอาต์พุต ซึ่งเป็นความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่ได้ของโครงข่ายประสาทเทียม  $a^2$  กับเอาต์พุตเป้าหมาย  $t$  ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ 2.9

$$e_k = t_k - a_k^2 \quad (2.9)$$

สำหรับการแก้ปัญหาทั่วไปที่ไม่มีควมซับซ้อนมากนัก โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้การเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับมักนิยมใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน Log-sigmoid ในชั้นซ่อน แต่ถ้าหากปัญหาที่ซับซ้อนมากขึ้นก็จะต้องใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Tan-sigmoid ส่วนในชั้นข้อมูลเอาต์พุตมักนิยมใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน Linear เหตุผลที่นิยมนำฟังก์ชันถ่ายโอนทั้งสองชนิดมาใช้ก็เพราะสามารถหาอนุพันธ์ได้ และสร้างขอบเขตการตัดสินใจในลักษณะโค้งมนได้ โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบนี้ จะสามารถนำไปใช้กับปัญหาที่มีความซับซ้อน และมีลักษณะไม่เชิงเส้นได้ดี โดยงานวิจัยปริญาานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Hard-Limit ในชั้นข้อมูลเอาต์พุต เพราะข้อมูลในชั้นเอาต์พุตของปริญาานิพนธ์ฉบับนี้มีค่าเป็น 0 กับ 1 เท่านั้น ในกรณีที่ปัญหามีลักษณะเชิงเส้นหรือไม่ซับซ้อน การใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อนเพียงชั้นเดียวก็เพียงพอสำหรับการแก้ปัญหานั้น แต่ถ้าหากปัญหานั้นมีความซับซ้อน และไม่เชิงเส้นมาก การแก้ปัญหาดังกล่าวก็จำเป็นต้องใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เพราะว่าการเพิ่มชั้นซ่อนหนึ่งชั้นหรือ มากกว่าจะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถที่จะแยก High-order Statistics ได้ซึ่งมีประโยชน์มากเมื่อตัวแปรด้านเข้ามีขนาดใหญ่ขึ้น

### 2.2.8 กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ

กฎการเรียนรู้ที่ใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นมีหลายชนิด แต่จะกล่าวถึงเฉพาะกฎการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับปริญาานิพนธ์ฉบับนี้เท่านั้น

กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back-propagation Algorithm) ในที่นี้จะพิจารณาโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อน ไปข้างหน้าที่มีสองชั้น ซึ่งประกอบด้วย ชั้นตัวแปรด้านออก 1 ชั้น, ชั้นซ่อน 1 ชั้น และตัวแปรด้านเข้าที่ไม่นับเป็นชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.14

#### 2.2.8.1 การส่งไปข้างหน้า

การส่งไปข้างหน้า (Forward Pass) เกิดขึ้นเมื่อตัวแปรด้านเข้า  $p_i$  โดยที่  $i=1,2,\dots,R$  ได้ถูกส่งผ่านเข้าไปรวมกับค่าน้ำหนัก  $w_{ji}^1$  และค่าไบอัส  $b_j^1$  โดยที่  $j=1,2,S^1$  ซึ่งจะได้ผลรวมของข้อมูลด้านเข้าของชั้นซ่อนที่  $j$  ดังสมการที่ 2.10

$$n_j^1 = \sum_{i=1}^R w_{ji}^1 p_i + b_j^1 \quad (2.10)$$

หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณ  $n_j^1$  ผ่านฟังก์ชันถ่ายโอน  $f^1$  เพื่อคำนวณค่าข้อมูลด้านออกของชั้นซ่อนที่  $j$  หรือ ยูนิต  $a_j^1$  เป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a_j^1 = f^1(n_j^1) = f^1 \left[ \sum_{i=1}^R w_{ji}^1 p_i + b_j^1 \right] \quad (2.11)$$

ข้อมูลด้านออกของชั้นซ่อนที่  $j$  หรือยูนิต  $a_j^1$  ที่ได้จะถูกส่งผ่านไปรวมกับค่าน้ำหนัก  $w_{kj}^2$  และค่าไบอัส  $b_k^2$  โดยที่  $k = 1, 2, \dots, S^2$  ซึ่งจะได้ผลรวมของข้อมูลด้านเข้าของชั้นซ่อนที่  $k$  เป็นดังนี้

$$n_k^2 = \sum_{j=1}^{S^1} w_{kj}^2 a_j^1 + b_k^2 \quad (2.12)$$

หลังจากนั้นก็ส่งสัญญาณ  $n_k^2$  ผ่านฟังก์ชันถ่ายโอน  $f^2$  เพื่อคำนวณค่าข้อมูลด้านออกของชั้นซ่อนที่  $k$  หรือยูนิต  $a_k^2$  เป็นดังนี้

$$a_k^2 = f^2(n_k^2) = f^2 \left[ \sum_{j=1}^{S^1} w_{kj}^2 a_j^1 + b_k^2 \right] \quad (2.13)$$

#### 2.2.8.2 การส่งย้อนกลับ

การส่งย้อนกลับ (Backward Pass) โดยจะนิยามค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นในชั้นข้อมูลของตัวแปรด้านออกที่  $k$  ด้วยฟังก์ชันค่าผิดพลาดดังนี้

$$E = \frac{1}{2} (e_k)^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{S^2} (t_k - a_k^2)^2 \quad (2.14)$$

ฟังก์ชันค่าผิดพลาด  $E$  เป็นสมการกำลังสองที่อยู่ในรูปของค่าน้ำหนักและค่าผิดพลาด ซึ่งมีพื้นผิวเป็นรูปพาราโบลาที่ประกอบด้วยค่าต่ำสุดค่าหนึ่ง และจะใช้กฎ Gradient descent ทำการปรับค่าเวกเตอร์ของค่าน้ำหนักในทิศทางของเวกเตอร์ตัวแปรด้านเข้าโดย  $E$  จะมีค่าเป็นบวกลบเสมอ ถ้าค่าน้ำหนักและค่าไบอัสถูกปรับเข้าสู่ค่าที่ต้องการ ค่าของฟังก์ชันก็จะค่อยๆ ลดลงในลักษณะที่ลู่อเข้าสู่ศูนย์ เมื่อผ่านกระบวนการทำซ้ำไปเรื่อยๆ ซึ่งกระบวนการปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัสนี้จะทำการปรับค่าฟังก์ชันลงมายังจุดต่ำสุดบนพื้นผิวที่นิยามใน  $w$  space และ  $b$  space สมการที่ 2.14 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{S^2} \left[ t_k - f^2 \left( \sum_{j=1}^{S^1} w_{kj}^2 a_j^1 + b_k^2 \right) \right]^2 \quad (2.15)$$

จากนั้นใช้กฎลูกโซ่ (Chain Rule) เพื่อคำนวณหาค่า Gradient ซึ่งที่ตัวแปรด้านออกจะได้

$$\frac{\partial E}{\partial w_{kj}^2} = -(t_k - a_k^2) f^2(n_k^2) a_j^1 \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ  $\frac{\partial E}{\partial w_{kj}^2}$  ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และชั้นซ่อนจะได้ 
$$\frac{\partial E}{\partial b_k^2} = -(t_k - a_k^2) f^2(n_k^2) a_j^1 \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ji}^1} = -\sum_{k=1}^{S^2} [(t_k - a_k^2) f^2(n_k^2) w_{kj}^2] f^1(n_j^1) p_1 \quad (2.18)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b_j^1} = -\sum_{k=1}^{S^2} [(t_k - a_k^2) f^2(n_k^2) w_{kj}^2] f^1(n_j^1) \quad (2.19)$$

กำหนดให้

$$\delta_k = (t_k - a_k^2) f^2(n_k^2) \quad (2.20)$$

$$\delta_j = f^1(n_j^1) \sum_{k=1}^{S^2} (\delta_k w_{kj}^2) \quad (2.21)$$

ถ้า E เป็นฟังก์ชันที่สามารถหาอนุพันธ์ได้อย่างต่อเนื่อง ในทุกค่าของน้ำหนัก และค่าไบอัสจะสามารถคำนวณหาค่าน้ำหนักและค่าไบอัสที่เหมาะสมโดยใช้กฎ Gradient Descent ได้ดังนี้  
ที่เซลล์ประสาทของตัวแปรด้านออกจะได้

$$\Delta w_{kj}^2 = -\alpha \frac{\partial E}{\partial w_{kj}^2} = \alpha \delta_k a_j^1 \quad (2.22)$$

$$\Delta b_k^2 = -\alpha \frac{\partial E}{\partial b_k^2} = \alpha \delta_k \quad (2.23)$$

และที่เซลล์ประสาทของชั้นซ่อนจะได้

$$\Delta w_{ji}^1 = -\alpha \frac{\partial E}{\partial w_{ji}^1} = \alpha \delta_j \quad (2.24)$$

$$\Delta b_j^1 = -\alpha \frac{\partial E}{\partial b_j^1} = \alpha \delta_j \quad (2.25)$$

ดังนั้น การปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัสของตัวแปรด้านออก (Weight Update) จะได้

$$w_{kj}^{2(new)} = w_{kj}^{2(old)} + \Delta w_{kj}^2 = w_{kj}^{2(old)} + \alpha \delta_k a_j^1 \quad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$b_k^{2(new)} = b_k^{2(old)} + \Delta b_k^2 = b_k^{2(old)} + \alpha \delta_k \quad (2.27)$$

และการปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัสของชั้นซ่อนจะได้

$$w_{ji}^{1(old)} = w_{ji}^{1(old)} + \Delta w_{ji}^1 = w_{ji}^{1(old)} + \alpha \delta_j p_i \quad (2.28)$$

$$b_{ji}^{1(new)} = w_j^{1(old)} + \Delta b_j^1 = b_j^{1(old)} + \alpha \delta_j \quad (2.29)$$

โดยที่  $\alpha$  คือ อัตราการเรียนรู้ (Learning Rule)

กระบวนการนี้จะนำค่าผิดพลาด ( $t_k - a_k^2$ ) ที่ได้ในชั้นตัวแปรด้านนอกกลับมาคำนวณหาค่าที่ใช้ในการปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัสของแต่ละเซลล์ประสาท โดยจะเริ่มต้นจากเซลล์ประสาทในชั้นตัวแปรด้านนอก จนถึงเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนแรก ซึ่งจะเรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการแพร่ค่าผิดพลาดย้อนกลับ ซึ่งค่าน้ำหนักและค่าไบอัสของแต่ละเซลล์ประสาทจะถูกปรับด้วยค่า  $\Delta w$  และค่า  $\Delta b$  จนกระทั่งฟังก์ชันค่าผิดพลาดมีค่าลดลงจนถึงจุดที่ยอมรับได้ โดยค่า  $\alpha$  ที่ใช้มีค่าน้อยก็จะทำให้การคำนวณใช้เวลานาน ในทางตรงกันข้ามหากค่า  $\alpha$  มีค่ามากก็จะทำให้การคำนวณใช้เวลาเร็วขึ้น แต่อาจเกิดการแกว่งขึ้นได้ เมื่อต้องปรับค่าฟังก์ชันมายังจุดต่ำสุดบน Flat Surface (โอพาร ธรรมานนท์, 2548)

ในขั้นตอนการปรับค่าน้ำหนักที่กล่าวมาข้างต้น เป็นหลักการเรียนรู้แบบดั้งเดิม ซึ่งต่อมาได้รับการปรับปรุงให้สามารถรู้เข้าคำตอบได้เร็วยิ่งขึ้น เกิดเป็นหลายวิธีซึ่งปริญญาวิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้ Levenberg-Marquardt Algorithm เนื่องจากพบว่าเป็นกฎการเรียนรู้ ที่สามารถปรับ โครงข่ายประสาทเทียม ให้เหมาะสมกับชนิดของข้อมูลที่มีอยู่

Levenberg-Marquardt Algorithm เป็นกฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับที่ปรับปรุงมาจาก วิธี Gauss-Newton Nonlinear Least Squares Optimization Algorithm โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัสซึ่งอยู่ในรูปเมตริกซ์ ดังสมการที่ 2.30 และ 2.31

$$w^{new} = w^{old} + [J^T(w) \cdot J(w) + \mu I]^{-1} J^T(w) \cdot e \quad (2.30)$$

$$b^{new} = b^{old} + [J^T(b) \cdot J(b) + \mu I]^{-1} J^T(b) \cdot e \quad (2.31)$$

โดยที่  $\mu$  คือ Learning Factor ซึ่งมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.001

$I$  คือ Identity Matrix

$J(w)$  คือ จาโคเบียนเมตริกซ์ (Jacobian Matrix) ของอนุพันธ์ค่าผิดพลาดเทียบกับค่าน้ำหนัก (ดังสมการที่ 2.32)

$J^T(w)$  คือ Transpose matrix ของ  $J(w)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

w คือ ค่าน้ำหนัก

b คือ ค่าไบอัส

$J(b)$  คือ จาคอบีเนียนเมทริกซ์ (Jacobian Matrix) ของอนุพันธ์ค่าผิดพลาดเทียบกับค่าไบอัส (ดังสมการที่ 2.33)

$J^T(b)$  คือ Transpose Matrix ของ  $J(b)$

e คือ เมทริกซ์ของค่าผิดพลาดระหว่างเอาต์พุตเป้าหมายกับตัวแปรด้านออก (ดังสมการที่ 2.34)

$$J(w) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,1}^2} & \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,2}^2} & \cdots & \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,s^1}^2} \\ \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,1}^2} & \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,2}^2} & \cdots & \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,s^1}^2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial e_{s^2}}{\partial w_{s^2,1}^2} & \frac{\partial e_{s^2}}{\partial w_{s^2,1}^2} & \cdots & \frac{\partial e_{s^2}}{\partial w_{s^2,s^1}^2} \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

$$J(b) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial b_1^2} \\ \frac{\partial e_2}{\partial b_2^2} \\ \vdots \\ \frac{\partial e_{s^2}}{\partial b_{s^2}^2} \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_{s^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 - a_1^2 \\ t_2 - a_2^2 \\ \vdots \\ t_{s^2} - a_{s^2}^2 \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

ค่า Learning Factor ( $\mu$ ) จะมีค่าเริ่มต้นของการฝึกสอนด้วยค่าน้อยๆเช่นเท่ากับ 0.001 และจะปรับเปลี่ยนในช่วงเวลาระหว่างกระบวนการเรียนรู้ ขณะเริ่มกระบวนการเรียนรู้ อินพุตทั้งหมดจะเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งในทุกรอบของการเรียนรู้ โครงข่ายประสาทเทียมจะคำนวณหาค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้น และนำมาปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักและค่าไบอัส ถ้าค่า E ใหม่มีน้อยกว่าค่า E เก่า ก็จะปรับลดค่า  $\mu$  โดยคูณด้วย Decreased Factor ที่มีค่าเท่ากับ 0.1 และทำการฝึกสอนต่อไป แต่ถ้าค่า E ใหม่มากกว่าค่า E เก่า ค่า  $\Delta w$  และค่า  $\Delta b$  ในสมการที่ 2.30 และ 2.31 ก็จะถูกปรับเพิ่มค่า  $\mu$  โดยการคูณด้วย Increase Factor ที่มีค่าเท่ากับ 10 จนกระทั่งค่า E มีค่าลดลง การเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมจะสิ้นสุดลง ถ้าหากค่า Gradient Factor (ค่า  $J'(w) \cdot e$  หรือ  $J'(b) \cdot e$ ) มีค่าน้อยกว่าค่าต่ำสุดที่กำหนดไว้ เช่น  $1e^{-10}$  หรือ เมื่อค่า  $\mu$  มีค่ามากกว่าค่าสูงสุดที่กำหนดไว้ เช่น  $1e^{10}$

โครงข่ายประสาทเทียม แบบแพร่ค่าย้อนกลับนั้น จะมีจำนวนนิวรอน ในชั้นอินพุต และชั้นเอาต์พุตคงที่ ซึ่งเท่ากับจำนวนอินพุต และเอาต์พุตของปัญหานั้นเอง ส่วนจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน สามารถปรับค่าได้ตามความเหมาะสม และไม่มีจำนวนที่เป็นสูตรสำเร็จ ดังนั้น ในการฝึกสอนจึงต้องมีการปรับเปลี่ยนจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน เพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสมให้ค่าผิดพลาดระหว่างค่าตอบที่แท้จริง และ ผลลัพธ์ที่ได้จาก โครงข่ายประสาทเทียมนั้นมีค่าน้อยที่สุด จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน นอกจากจะมีผลต่อประสิทธิภาพของ โครงข่ายประสาทเทียมแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการฝึกสอนอีกด้วย นั่นคือ ถ้ามีจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนมาก เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนก็จะมาก จึงไม่สามารถสรุปได้ว่า โครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนมาก จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าในโครงข่ายประสาทเทียม ที่มีจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนน้อย ซึ่งต้องทำการลองปรับเปลี่ยน เพื่อหาโครงข่ายที่เหมาะสมที่สุด (ฉัตรชัย สานติสุขรัตน์, 2548)

### 2.2.9 การ Normalization ชุดข้อมูล

การ Normalization หรือการจัดระเบียบข้อมูล เป็นวิธีการที่นำมาใช้เพิ่มความแม่นยำของผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม และลดเวลาในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม การทำ Normalization ต้องทำก่อนเริ่มกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้ค่าข้อมูลที่ได้อยู่บนพื้นฐานการแจกแจงแบบปกติ โดยการเลือกขอบเขตของการ Normalization ขึ้นอยู่กับฟังก์ชันถ่ายโอน โดยสมการที่ใช้ในการปรับค่าในช่วง a-b ดังแสดงในสมการที่ 2.35

$$f_i(x) = \left[ (x - Min_i) \times \left( \frac{b - a}{Max_i - Min_i} \right) \right] + a \quad (2.35)$$

โดยที่  $Max_i$  คือ ค่าที่มากที่สุดของแต่ละตัวแปร

$Min_i$  คือ ค่าที่น้อยที่สุดของแต่ละตัวแปร

$x$  คือ ค่าของตัวแปรที่จะทำการ Normalization

$f_i(x)$  คือ ค่าของตัวแปรที่ผ่านการ Normalization โดยมีค่าอยู่ในช่วง [0,1]

### 2.3 การวิเคราะห์ปัจจัย

การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หลายตัวแปรที่ใช้ในการลดจำนวนตัวแปร โดยการศึกษาลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และสร้างตัวแปรใหม่เรียกว่าปัจจัย (Factor) โดยปัจจัยที่สร้างขึ้น เป็นการนำตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันหรือมีความร่วมกันสูงมารวมกันเป็นปัจจัยเดียวกัน ส่วนตัวแปรที่อยู่คนละปัจจัยกัน จะมีความร่วมกันน้อย หรือมีความสัมพันธ์กันน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. ปัจจัยร่วมไม่มีความสัมพันธ์กัน นั่นคือ ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยร่วม  $F_i$  และ  $F_j$  เป็นศูนย์ ( $\text{Corr}(F_i, F_j) = 0; i \neq j$ )
2. ค่าเฉพาะของค่า  $e_i$  และ  $e_j$  ไม่มีความสัมพันธ์กัน ( $\text{Corr}(e_i, e_j) = 0; i \neq j$ )
3. ปัจจัยร่วม  $F_i$  และ ค่าเฉพาะ  $e_j$  ไม่มีความสัมพันธ์กัน ( $\text{Corr}(F_i, e_j) = 0; i \neq j$ )

### 2.3.4 การสกัดปัจจัย

การสกัดปัจจัย เป็นการสร้างหรือหาปัจจัยร่วมจำนวนหนึ่งซึ่งมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนตัวแปร โดยให้ปัจจัยร่วมสามารถแทนตัวแปรเดิม หรือสามารถสกัดความผันแปรต่างๆ ของตัวแปรเดิมไว้ในปัจจัยร่วม ทำให้ปัจจัยร่วมแต่ละปัจจัยเป็นตัวแทนที่ดีของตัวแปรเดิมหลายๆตัวที่มีส่วนร่วมในปัจจัยหลักแต่ละปัจจัยมาก วิธีการสกัดปัจจัยมีหลายวิธี โดยจะเลือกใช้วิธีความเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Method : MLM) และ วิธีการประมาณค่า (Communality)

#### 2.3.4.1 วิธีความเป็นไปได้สูงสุด

วิธีความเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Method: MLM) เป็นวิธีการที่ประมาณเมทริกซ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้ให้ใกล้เคียงเมทริกซ์ที่ได้จากข้อมูล โดยวิธีนี้มีสมมติฐานว่าเวกเตอร์ตัวแปร  $x$  จะสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติหลายตัวแปรที่มีเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และเมทริกซ์ค่าแปรปรวนร่วม  $\sum (x \sim N_p(0, \sum))$  และเมทริกซ์ค่า Factor Loading  $L$  มีขนาด  $p \times m$  โดยที่  $m$  เป็นจำนวนปัจจัยร่วมที่ต้องกำหนดก่อนที่จะสกัดปัจจัย

$$\begin{aligned}
 \text{โดยที่} \quad x &= LF + e \\
 \text{ฟังก์ชันความควรจะเป็น} &= L(\mu, \sum) \\
 \text{และเมทริกซ์ค่าแปรปรวนร่วม} &= \sum \\
 &= LL' + \theta
 \end{aligned} \tag{2.37}$$

ต้องการประมาณค่า  $\hat{L}$  และ  $\hat{\theta}$  ที่ทำให้ฟังก์ชันความควรจะเป็น  $L(\mu, \sum)$  มีค่ามากที่สุด โดยตัวประมาณความควรจะเป็นสูงสุด (MLE) คือ  $\hat{L}$ ,  $\hat{\theta}$  และ  $\hat{\mu} = \bar{x}$  โดยมีเงื่อนไข  $\hat{L}$ ,  $\hat{\theta}$ ,  $\hat{L}$  จะอยู่บนเส้นทแยงของเมทริกซ์

ค่าประมาณความควรจะเป็นสูงสุดของค่าความร่วมกัน คือ  $h_{ij}^2$  โดยที่

$$h_{ij}^2 = l_{i1}^2 + l_{i2}^2 + l_{im}^2 \quad ; i = 1, 2, \dots, p \tag{2.38}$$

$$\text{สัดส่วนค่าแปรปรวนของปัจจัยที่ } j = \frac{l_{1j}^2 + l_{2j}^2 + l_{pj}^2}{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_p^2} \tag{2.39}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาที่เกิดขึ้นของวิธีความเป็นไปได้สูงสุด คือ ค่าประมาณที่ได้ไม่แน่นอน ซึ่งหมายความว่า  
ได้หลายค่า เนื่องจากค่าต่างๆ ในเมทริกซ์  $L$  และ  $\theta$  ไม่เป็นอิสระกัน

### 2.3.4.2 วิธีการประมาณค่า

1. การประมาณค่าความสัมพันธ์ของตัวแปร  $X_i$  ด้วยค่าสหสัมพันธ์สูงสุดของตัวแปร  $X_i$  กับตัวแปรอื่นๆ อีก  $p - 1$  ตัว เช่น มีตัวแปร 3 ตัว ( $p = 3$ )  $X_1, X_2, X_3$  ค่าความสัมพันธ์ของ  $X_1 = \max (|r_{12}|, |r_{13}|)$  หรือเป็นค่าสูงสุดของค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง  $X_1$  กับ  $X_2$  และ  $X_1$  กับ  $X_3$  โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย เช่น ถ้าในที่นี้ได้  $|r_{12}| > |r_{13}|$  จะนำค่า  $|r_{12}|$  ซึ่งเป็นค่าความสัมพันธ์ของ  $X_2$  ไปใส่ในเส้นทแยงมุมของเมทริกซ์สหสัมพันธ์

2. ค่าความสัมพันธ์ของ

$$X_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^p \left( \frac{r_{ij}}{p-1} \right) \quad (2.40)$$

ค่าความสัมพันธ์ในสมการ 2.40 เป็นค่าเฉลี่ยของค่าสหสัมพันธ์ของตัวแปร

ค่าความสัมพันธ์มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

ถ้าค่าความสัมพันธ์ของตัวแปร  $X_i$  เป็นศูนย์ แสดงว่า  $X_i$  ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรอื่นๆเลย

ถ้าค่าความสัมพันธ์ของตัวแปร  $X_i$  เป็นหนึ่ง แสดงว่าความแปรปรวนของตัวแปร  $X_i$  แทนด้วยปัจจัยร่วมได้อย่างดี

จากสูตรค่าความสัมพันธ์ ในสมการที่ 2.40 อาจทำให้ค่าความสัมพันธ์มากกว่า 1 ในกรณีเช่นนี้ให้กำหนดค่าความสัมพันธ์เป็น 1 หรือ 0.99 แทน

วิธีการประมาณค่าความสัมพันธ์ 2 วิธีข้างต้น จะใช้ค่าสหสัมพันธ์เพียงบางค่า ไม่ได้ใช้ค่าสหสัมพันธ์ในเมทริกซ์สหสัมพันธ์ทั้งหมด จึงมีการคิดวิธีการประมาณค่าความสัมพันธ์ ที่ใช้ค่าสหสัมพันธ์ทุกค่าจากเมทริกซ์สหสัมพันธ์ 2 วิธีดังนี้

#### 1. การใช้ค่าสหสัมพันธ์เชิงพหุคูณกำลังสอง (Square Multiple Correlation : SMC )

ในที่นี้ขอเรียกวินี้ว่า วิธี SMC เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในการประมาณค่าความสัมพันธ์ การหาค่าสหสัมพันธ์เชิงพหุคูณกำลังสองจะทำได้ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย

ถ้าต้องการหาค่าความสัมพันธ์ของตัวแปร  $X_i$  จะกำหนดให้  $X_i$  เป็นตัวแปรตาม ส่วนตัวแปร  $X$  อีก  $p - 1$  ตัวที่เหลือเป็นตัวแปรอิสระหาค่า SMC ของสมการดังกล่าวซึ่งเป็นค่าความสัมพันธ์ ของ  $X_i$  ค่า SMC แสดงสัดส่วนของความผันแปรของตัวแปร  $X_i$  ซึ่งอธิบายได้ด้วยอีก  $p - 1$  ตัวที่เหลือ

ค่า SMC จะเป็นค่าที่แสดงขีดต่ำสุด (Lower bound) ของค่าความสัมพันธ์

#### 2. การใช้วิธีการทำซ้ำ

ในปัจจุบันนิยมใช้วิธีนี้ในการประมาณค่าความสัมพันธ์ เนื่องจากสามารถใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณได้รวดเร็วขึ้น วิธีจะหาค่าเริ่มต้นที่จะใส่ในตำแหน่งทแยงมุมของเมทริกซ์สหสัมพันธ์  $R$  แล้วปรับเมทริกซ์ค่าสหสัมพันธ์ใหม่ โดยการประมาณค่าความสัมพันธ์ในแต่ละรอบการทำงาน ค่าความสัมพันธ์จะเปลี่ยนแปลงไปและจะหยุดประมาณค่าความสัมพันธ์ เมื่อค่าประมาณที่ได้ผู้เข้าสู่ค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.5 การหาจำนวนปัจจัยร่วมที่เหมาะสม

ในการวิเคราะห์ปัจจัย เพื่อหาจำนวนปัจจัยร่วมซึ่งเป็นตัวแทนของตัวแปรต่างๆ โดยปัจจัยร่วมดังกล่าวจะใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลายๆตัว การพิจารณาว่าควรมีปัจจัยร่วมกี่ปัจจัยนั้น จะคล้ายๆกับการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก นั่นคือพิจารณาจาก

1. ค่าไอเกน ปัจจัยร่วมแต่ละปัจจัยควรมีไอเกนมากกว่า 1
2. ใช้กราฟ Scree Plot

Velicer (1986) ได้เสนอวิธีพิจารณาหาจำนวนปัจจัยร่วมที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วน ถ้ามีจำนวนปัจจัยร่วม  $m$  ปัจจัย แล้วทำให้ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์บางส่วนต่ำสุด แสดงว่าควรมีปัจจัยร่วม  $m$  ปัจจัย โดยวิธีนี้จะใช้ได้กรณีที่จำนวนตัวแปรในแต่ละปัจจัยร่วมมาก

### 2.3.6 การหมุนแกนปัจจัยร่วม

เนื่องจากกรณีที่ค่า Loading ของตัวแปรต่างๆในปัจจัยร่วมไม่ชัดเจน คือ ไม่มีค่า Loading ของตัวแปรใดที่มีค่ามาก (ค่ามาก หมายถึง มีค่าใกล้ +1 หรือ -1) ในปัจจัยร่วมหนึ่ง และมีค่าน้อย(ค่าน้อยหมายถึง มีค่าใกล้ 0) ในปัจจัยร่วมอื่นๆทำให้ไม่สามารถให้ความหมายของปัจจัยร่วมได้ชัดเจน จึงต้องทำการหมุนแกนของปัจจัยร่วม โดยวัตถุประสงค์การหมุนแกนปัจจัยร่วม คือเพื่อทำให้ค่า Loading ของตัวแปรแต่ละตัวมีค่าเพิ่มขึ้นในปัจจัยร่วมใดปัจจัยหนึ่ง และ มีค่าลดลงในปัจจัยอื่นๆ จึงทำให้ทราบว่าตัวแปรใดมีส่วนร่วมกับตัวแปรอื่นๆ ตัวใดบ้างในปัจจัยร่วมแต่ละปัจจัย หรือ การหมุนแกนปัจจัยเพื่อที่จะทำให้เห็น โครงสร้างของปัจจัยร่วม ได้ชัดเจน จนสามารถให้ความหมายหรือ อธิบายความหมายของปัจจัยร่วมแต่ละปัจจัยได้ วิธีการหมุนแกนปัจจัยร่วม มี 2 วิธีดังนี้

#### 2.3.6.1 การหมุนแกนปัจจัยร่วมให้ตั้งฉากกัน

การหมุนแกนปัจจัยร่วมให้ตั้งฉากกัน (Orthogonal Rotation) เป็นวิธีการหมุนแกนปัจจัยร่วมที่เมื่อหมุนแกนปัจจัยร่วมแล้ว ทำให้แกนปัจจัยร่วมตั้งฉากกันหรือ เป็นอิสระกันเพื่อให้ค่า Loading เพิ่มขึ้นในปัจจัยร่วมบางปัจจัยและลดลงในปัจจัยร่วมอื่นๆ

วิธีการหมุนแกนปัจจัยร่วมให้ตั้งฉากกันหรือให้ปัจจัยร่วมเป็นอิสระกันมีวิธีย่อยหลายวิธี ในที่นี้ขอกล่าวถึงวิธีย่อย 3 วิธี ดังนี้

##### 1. วิธี Varimax

การหมุนแกนปัจจัยร่วมโดยวิธี Varimax มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ตัวแปรแต่ละตัวมีค่า Loading สูงในปัจจัยร่วมเพียงปัจจัยเดียว และมีค่า Loading ต่ำมากหรือใกล้ศูนย์ในปัจจัยร่วมอื่นๆหรือกล่าวได้ว่าเป็นวิธีที่ทำให้มีจำนวนตัวแปรน้อยที่สุดที่มีค่า Loading สูงในปัจจัยร่วม 1 ปัจจัย วิธี Varimax เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและมักจะใช้กับวิธีตัวประกอบหลัก

##### 2. วิธี Quartimax

วิธี Quartimax จะทำการหมุนแกนปัจจัยร่วมเพื่อให้ได้ Factor Loading ที่มีคุณสมบัติดังนี้ ตัวแปรแต่ละตัวควรมีค่า Loading สูง 1 ค่าใน 1 ปัจจัยร่วม และมีค่าใกล้ศูนย์ในปัจจัยร่วมที่เหลือ หรือกล่าวได้ว่าตัวแปรแต่ละตัวควรมีค่า Loading เข้าใกล้ +1 หรือ -1 ในปัจจัยร่วมปัจจัยใดปัจจัยหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคุณสมบัติของ Quartimax ข้างต้นจะทำให้มีปัจจัยร่วมหนึ่งที่เป็นปัจจัยร่วมของทุกตัวแปร ส่วนปัจจัยร่วมที่เหลือจะเป็นค่าเฉพาะ ดังนั้นวิธี Varimax จึงเหมาะสมในกรณีที่ผู้ศึกษาคาดว่ามีปัจจัยหนึ่งซึ่งเป็นปัจจัยร่วมของทุกตัวแปรซึ่งเรียกว่าเป็นปัจจัยทั่วไป (General Factor)

### 3. วิธี Equamax

Equamax เป็นวิธีหมุนแกนปัจจัยร่วมที่พิจารณาทั้งแกนอนและแกวค้งของเมทริกซ์ค่า Loading การหมุนแกนแบบตั้งฉากทั้ง 3 วิธีข้างต้นจะมีคุณสมบัติดังนี้

- ถ้าสกัดปัจจัยด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก ปัจจัยที่ได้จากการหมุนแกนจะยังคงไม่มีความสัมพันธ์กัน
- ค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรก่อนหมุนแกนและหลังหมุนแกนจะไม่เปลี่ยนแปลง
- สัดส่วนความผันแปรของตัวแปรหนึ่งๆที่ร่วมกับตัวแปรอื่นๆ ในปัจจัยร่วมหนึ่งๆจะเปลี่ยนแปลงไป แต่สัดส่วนรวม
- สัดส่วนความผันแปรของปัจจัยร่วมหนึ่งๆจะเปลี่ยนแปลงแต่ความผันแปรของตัวแปรในปัจจัยร่วมจะไม่เปลี่ยนแปลง

#### 2.3.6.2 การหมุนแกนแบบเฉียง

การหมุนแกนแบบเฉียง (Oblique Rotation) เป็นการหมุนแกนปัจจัยร่วมแล้วไม่ทำให้แกนปัจจัยร่วมตั้งฉากกัน ซึ่งมีหลายวิธี วิธีที่นิยมได้แก่ Oblimax, และ Covarimin

##### 1. วิธี Oblimax

เป็นการหมุนแกนปัจจัยร่วมที่ทำให้จำนวนค่า Loading ที่มีค่ามากและมีค่าน้อยเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะเป็นการลดค่า Loading ที่มีค่ากลางๆ ซึ่งทำให้จัดตัวแปรหรือให้ความหมายกับปัจจัยร่วมทำได้ง่ายขึ้น

##### 2. วิธี Covarimin

เป็นวิธีการแบบ Varimax แต่แกนปัจจัยร่วมไม่ตั้งฉากกัน

#### 2.3.7 การตรวจสอบความเหมาะสมในการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย

การที่จะสร้างปัจจัยร่วม ซึ่งเป็นตัวแทนของตัวแปรหลายๆ ตัวได้นั้น แสดงว่า ตัวแปรเหล่านั้นจะต้องมีความสัมพันธ์กัน ดังที่กล่าวไว้แล้วว่า การวิเคราะห์ปัจจัยร่วม เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม ดังนั้นถ้าตัวแปรไม่มีความสัมพันธ์กันจะทำให้ไม่สามารถสร้างปัจจัยร่วมได้ จึงต้องมีการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรก่อนที่จะทำการสร้างปัจจัยร่วม การตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปร ในที่นี้จะกล่าวถึง 3 วิธีดังนี้

##### 2.3.7.1 ตรวจสอบโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยใช้ค่าเมทริกซ์ค่าสหสัมพันธ์ ซึ่งเป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรทุกคู่

ถ้าตัวแปรใดมีค่ามากคือเข้าใกล้ + 1 หรือ - 1 แสดงว่า ตัวแปรคู่นั้นมีความสัมพันธ์กันมากหรือมีส่วนร่วมกันมากในปัจจัยเดียวกัน ดังนั้นตัวแปรหลายๆตัวที่มีความสัมพันธ์กันมาก ควรจะมีความผันแปรร่วมกันมาก ทำให้ปัจจัยร่วมสามารถอธิบายหรือเป็นตัวแทนของตัวแปรกลุ่มที่มีความสัมพันธ์กันมากได้ดี

ถ้าตัวแปรคู่ใดมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำ หรือ เข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือกล่าวได้ว่าไม่มีส่วนที่ร่วมกัน จึงอาจจะมีเฉพาะส่วนของค่าเฉพาะ

ถ้ามีตัวแปรใดที่ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นๆเลย ก็ควรที่จะตัดตัวแปรนั้นออก ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ปัจจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยเป็นเทคนิคที่ทำการแยกหรือ แบ่งกลุ่มตัวแปร โดยให้ตัวแปรที่อยู่กลุ่มเดียวกันมีส่วนที่ร่วมกันมาก หรือมีความสัมพันธ์กันมาก และเรียกแต่ละกลุ่มว่าปัจจัยร่วม การตรวจสอบโดยใช้เมทริกซ์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะยุ่งยากกรณีที่มีจำนวนตัวแปรมาก และเป็นวิธีที่ผู้ศึกษาจะต้องตัดสินใจเองว่า ข้อมูลชุดที่อยู่สมควรที่จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยหรือไม่

### 2.3.7.2 ตรวจสอบโดยใช้สถิติ Kaiser – Meyor – Olkin

Kaiser (1970) ได้เสนอสถิติ Kaiser – Meyor – Olkin (KMO) โดยที่ KMO เป็นสถิติที่ใช้วัดความเหมาะสมของข้อมูลว่าสมควรที่จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยหรือไม่

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum_{i \neq j} r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} \sum_{i \neq j} r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} \sum_{i \neq j} a_{ij}^2} \quad (2.41)$$

โดยที่  $r_{ij}$  = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร  $X_i$  และ  $X_j$ ;  $i \neq j$

$a_{ij}$  = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนระหว่างตัวแปร  $X_i$  และ  $X_j$  เมื่อควบคุมผลกระทบของตัวแปรอื่นๆ

ถ้าค่า  $\sum_{i \neq j} \sum_{i \neq j} a_{ij}^2$  ในสมการที่ 2.41 หรือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนใกล้เคียงศูนย์จะทำให้ KMO มีค่าใกล้ 1 ทำให้สามารถนำการวิเคราะห์ปัจจัยมาใช้กับข้อมูลชุดนั้นได้ แต่ถ้าค่า  $\sum_{i \neq j} \sum_{i \neq j} a_{ij}^2$  มีค่าสูง หรือกล่าวได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนมีค่ามาก (เข้าใกล้  $\pm 1$ ) จะทำให้ KMO มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่าข้อมูลไม่เหมาะสมกับการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย

### 2.3.7.3 ตรวจสอบโดยใช้ Bartlett's Sphericity Test

Bartlett (1950) ได้พัฒนาการทดสอบที่เรียกว่า Sphericity Test เพื่อตรวจสอบว่าเมทริกซ์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปร  $p$  ตัว สามารถแบ่งเป็นปัจจัยร่วมหรือกลุ่มที่มีตัวแปรที่มีส่วนร่วมกันหรือสัมพันธ์กันหรือไม่ โดยที่ Bartlett's Sphericity Test จะมีการแจกแจงโดยประมาณแบบไคกำลังสอง ( $\chi^2$ ) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่าดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R$ )

$$\chi^2 = - \left[ (n-1) - \frac{(2p+5)}{6} \right] \ln|R| \quad (2.42)$$

โดยที่  $(\chi^2)$  มีค่าองศาอิสระเท่ากับ  $\frac{1}{2} p(p-1)$

$\ln|R|$  = ค่าล็อกของดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์สหสัมพันธ์  $R$

$p$  = จำนวนตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าดีเทอร์มิแนนต์ของ R สามารถใช้ค่าไอเก้นได้ดังนี้

$$R = \prod_{i=1}^p \lambda_i \quad (2.43)$$

โดยที่  $\lambda_i$  = ค่าไอเก้นของตัวแปรที่  $i$ ;  $i = 1, 2, \dots, p$

สมมติฐาน

$H_0$ : เมทริกซ์สหสัมพันธ์เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์หรือ  $R = I$

$H_1$ : เมทริกซ์สหสัมพันธ์ไม่เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์ หรือ  $R \neq I$

สถิติทดสอบ  $\chi^2$  ในสมการที่ 2.42

ถ้าตัวแปรไม่มีความสัมพันธ์กัน จะได้ว่า  $R = I$  ซึ่งทำให้ค่าไอเก้นของตัวแปรมีค่าเข้าใกล้ 1 หรือ  $|R|$  มีค่าใกล้ 1 ซึ่งมีผลทำให้  $\ln R$  เข้าสู่ศูนย์ ค่า  $\chi^2$  จะต่ำจึงไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  ได้ นั่นคือไม่ควรใช้การวิเคราะห์ปัจจัยกับตัวแปรชุดดังกล่าว

แต่ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่ามาก หรือตัวแปรมีความสัมพันธ์กัน จะทำให้ค่าไอเก้นของบางตัวแปรมีค่ามากกว่าหนึ่ง ขณะที่ค่าไอเก้นของบางตัวแปรมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ จะทำให้  $\ln R$  มีค่าติดลบมาก ซึ่งมีผลให้ค่า  $\chi^2$  สูง จึงปฏิเสธ  $H_0$  ได้ จึงสมควรที่จะใช้การวิเคราะห์ปัจจัยได้

การสรุปผลการทดสอบ

จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้า  $\chi^2 > \chi^2$  ที่องศาอิสระ  $\frac{1}{2} p(p-1)$  โดยที่  $\alpha$  = ระดับนัยสำคัญ

ข้อสมมติฐานของ Barlett's Sphericity Test

ตัวแปรจะต้องมีการแจกแจงปกติหลายตัวแปร นั่นคือ  $x \sim N_p(\mu, \Sigma)$

## 2.4 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก

การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression Analysis) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ Binary Logistic Regression (ตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงกลุ่มที่มีค่าได้เพียง 2 ค่า) และ Multinomial Logistic Regression (ตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงกลุ่มที่มีค่ามากกว่า 2 ค่า) ซึ่งในปริยญาณพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึง วิธี Binary Logistic Regression เท่านั้น

### 2.4.1 วัตถุประสงค์หลักของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระ พร้อมทั้งศึกษาระดับความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม หรือศึกษาว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีอิทธิพลหรือมีผลกระทบต่อตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระตัวใดที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตามมาก เช่น ศึกษาว่าปัจจัยใดบ้างเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้มีโอกาasเป็นโรคหัวใจ หรือ ปัจจัยใดเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เด็กวัยรุ่นมีโอกาสติดยาเสพติด
2. เพื่อพยากรณ์โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่สนใจ โดยการใส่สมการที่สร้างขึ้นด้วยปัจจัยหรือตัวแปรอิสระ ที่มีผลต่อตัวแปรตามที่ได้จากการศึกษาในวัตถุประสงค์ในข้อที่ 1 เมื่อทราบค่าตัวแปรอิสระจะทำให้สามารถพยากรณ์โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.2 เงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก

การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก จะมีเงื่อนไขหลายข้อดังนี้

1. ตัวแปรอิสระ  $X$ 's อาจจะเป็นข้อมูลชนิด Dichotomus (มีได้ 2 ค่า) หรือเป็นสเกลอันตรภาค (Interval Scale) และสเกลอัตราส่วน (Ratio Scale) ก็ได้
2. ค่าคาดหวังของความคลาดเคลื่อนเป็น 0 หรือ  $E(e) = 0$
3.  $e_i$  และ  $e_j$  เป็นอิสระกัน
4.  $e_i$  และ  $X_i$  เป็นอิสระกัน
5. ตัวแปรอิสระไม่ควรมีความสัมพันธ์กัน หรือ ไม่ควรเกิดปัญหา Multicollinearity

### 2.4.3 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยโลจิสติก

กรณีที่ใช้ข้อมูลตัวอย่าง เป้าหมายของการวิเคราะห์คือการประมาณค่า  $\beta_0$  และ  $\beta_1$  เนื่องจาก  $Y_i$  มีการแจกแจงแบบเบอร์นูลลีซึ่งมีฟังก์ชันความควรจะเป็น และข้อมูลตัวอย่าง  $n$  หน่วยเป็นอิสระกัน ฟังก์ชันความควรจะเป็น (Likelihood Function) ดังสมการที่ 2.44

$$L = \prod_{i=1}^n p^{Y_i} (1-p)^{1-Y_i} = \prod_{i=1}^n \left\{ \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 X)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 X)} \right\}^{Y_i} \left\{ 1 - \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 X)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 X)} \right\}^{1-Y_i} \quad (2.44)$$

$$P\{\text{ไม่เกิดเหตุการณ์}\} = P\{Y=0\} = 1-p = 1 - \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}} = \frac{1 + e^w - e^w}{1 + e^w} = \frac{1}{1 + e^w} \quad (2.45)$$

โดยที่  $w = \beta_0 + \beta_1 x$

เมื่อแทนค่าจากสมการที่ 2.45 ลงในสมการที่ 2.44 จะเป็นดังสมการที่ 2.46

$$L = \prod_{i=1}^n \left\{ \frac{e^w}{1 + e^w} \right\}^{Y_i} \left\{ \frac{1}{1 + e^w} \right\}^{1-Y_i} \quad (2.46)$$

หาค่า  $\log$  ของสมการที่ 2.44 จะได้  $\log_e(L)$  ซึ่งเรียกว่า log-likelihood function

$$\log(L) = \ln L = \sum_{i=1}^n [Y_i \ln[P(Y_i)] + (1 - Y_i) \ln[1 - P(Y_i)]] \quad (2.47)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมาณค่า  $\beta_0$  และ  $\beta_1$  จะใช้หลักการของความควรจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood) หรือประมาณค่า  $\beta_0$  และ  $\beta_1$  ที่ทำให้  $\ln L$  ในสมการที่ 2.47 มีค่ามากที่สุด โดยการหาค่าอนุพันธ์ลำดับที่ 1 ของสมการที่ 2.47 เทียบกับ  $\beta_0$  และ  $\beta_1$  แล้วให้เท่ากับศูนย์ อย่างไรก็ตามไม่สามารถหาค่า  $\beta_0$  และ  $\beta_1$  ได้โดยตรง เนื่องจากสมการไม่ได้อยู่ในรูปเชิงเส้น จึงใช้เทคนิคการทำซ้ำ (Iteration Techniques) Harberman (1978) ได้ศึกษาโดยใช้วิธีการของนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson Method) และพบว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นส่วนใหญ่จึงมักใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ เช่น SAS , SPSS, JMP ฯลฯ ในการประมาณค่า  $\beta_0$  และ  $\beta_1$  โดยที่ค่าประมาณของ  $\beta_0$  คือ  $b_0$  และค่าประมาณของ  $\beta_1$  คือ  $b_1$  และเรียก  $b_0$  และ  $b_1$  ว่าตัวประมาณความควรจะเป็นสูงสุด (Maximum likelihood Estimator : MLE)

#### 2.4.4 การปรับรูปแบบความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปเชิงเส้น

กำหนดให้ Odd Ratio (OR) เป็นอัตราส่วนระหว่างโอกาสที่เหตุการณ์จะเกิดกับโอกาสที่เหตุการณ์จะไม่เกิด

$$\begin{aligned} \therefore \text{Odd Ratio} = \text{OR} &= \frac{P\{\text{เกิดเหตุการณ์}\}}{P\{\text{ไม่เกิดเหตุการณ์}\}} \\ &= \frac{P\{Y=1\}}{P\{Y=0\}} = \frac{p}{1-p} \\ &= \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}} \\ &= \frac{1}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}} \\ &= \frac{P\{Y=1\}}{P\{Y=0\}} = \frac{p}{1-p} \\ &= \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}} \end{aligned}$$

$$\therefore \text{OR} = e^{\beta_0 + \beta_1 x} \tag{2.48}$$

ดังนั้น OR จึงเป็นค่าที่แสดงถึงโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ว่าเป็นกี่เท่าของโอกาสที่จะไม่เกิดเหตุการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกแบบไบนารี

การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกแบบไบนารี (Binary Logistic Regression) เป็นการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก ที่มีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัว ในรูปทั่วไป กำหนดให้มี  $p$  ตัว คือ  $X_1, X_2, \dots, X_p$  ส่วนตัวแปรตาม  $Y$  จะมีได้เพียง 2 ค่า คือ

$$Y = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าเกิดเหตุการณ์} \\ 0 & \text{ถ้าไม่เกิดเหตุการณ์} \end{cases}$$

และ  $Y$  ยังคงมีการแจกแจงแบบเบอร์นูลลี ที่มีความน่าจะเป็น  $p$

$$P = E(Y) = P\{Y=1\} = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p}} \quad (2.49)$$

$$\text{หรือ } P\{\text{เกิดเหตุการณ์}\} = P\{Y=1\} = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p)}} \quad (2.50)$$

$$\begin{aligned} P\{\text{ไม่เกิดเหตุการณ์}\} &= 1 - P\{Y=1\} = 1 - p \\ &= \frac{1}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p}} \end{aligned} \quad (2.51)$$

$$\text{Odd Ratio} = \text{OR} = \frac{p}{1-p} = e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p} \quad (2.52)$$

ความหมายของค่า Odd Ratio

ถ้าค่า OR มากกว่า 1 แสดงว่า โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์มากกว่าโอกาสที่จะไม่เกิดเหตุการณ์

ถ้าค่า OR เท่ากับ 1 แสดงว่า โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์และไม่เกิดเหตุการณ์เท่ากัน

ถ้าค่า OR น้อยกว่า 1 แสดงว่า โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ต่ำกว่าโอกาสที่จะไม่เกิดเหตุการณ์

นำสมการที่ 2.48 มาหาค่า  $\log_e(\text{OR})$

$$\begin{aligned} \log_e(\text{OR}) &= \log_e(e^{\beta_0 + \beta_1 x_1}) \\ &= \beta_0 + \beta_1 x_1 \end{aligned} \quad (2.53)$$

จะพบว่าค่าทางขวามือของสมการที่ 2.49 อยู่ในรูปเชิงเส้น โดยเรียกสมการที่ 2.49 ว่า ฟังก์ชันคอบสนองโลจิท (Logit Response Function) หรือกรณีที่ใช้ข้อมูลตัวอย่าง สมการที่ 2.49 จะเปลี่ยนเป็นดังสมการที่ 2.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\log_e(\widehat{OR}) = \ln(\widehat{OR}) = b_0 + b_1 X \quad (2.54)$$

ฟังก์ชันตอบสนองโลจิท

$$\log_e(OR) = \ln(OR) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p \quad (2.55)$$

หรือกรณีที่ใช้ข้อมูลตัวอย่าง สมการที่ (2.51)  $\log_e(OR)$  จะเป็น

$$\log_e(OR) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_p x_p \quad (2.56)$$

### 2.5.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการการถดถอยโลจิสติก

การตรวจสอบความเหมาะสมหรือความคล่องจอง (Goodness of Fit Test) ของสมการการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก ทำได้ 2 วิธีดังนี้

#### 2.5.1.1 การใช้สถิติทดสอบไคกำลังสอง

##### 1. กรณีที่ตัวแปรอิสระเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ

การตรวจสอบความเหมาะสมหรือความคล่องจอง (Goodness of Fit) ของรูปแบบหรือสมการการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก จะใช้สถิติทดสอบไคกำลังสองของเพียร์สัน (Pearson Chi-Square) หรือสถิติไคกำลังสองความควรจะเป็น (Likelihood Ratio Chi-Square)

$$H_0 : \text{model} : P\{Y=1\} = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x)}} \quad \text{เหมาะสมกับข้อมูล}$$

$$H_1 : \text{model} : P\{Y=1\} = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x)}} \quad \text{ไม่เหมาะสมกับข้อมูล}$$

โดยที่สถิติไคกำลังสองของเพียร์สัน ( $\chi^2$ )

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^c (O_{ij} - E_{ij})^2 \quad (2.57)$$

หรือ สถิติไคกำลังสองความควรจะเป็น ( $G^2$ )

$$G^2 = 2 \sum_i \sum_j O_{ij} \log \left( \frac{O_{ij}}{E_{ij}} \right) \quad (2.58)$$

โดยที่  $O_{ij}$  = ความถี่หรือจำนวนใน cell (ij) ที่ได้จากข้อมูล  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$E_{ij}$  = ความถี่หรือจำนวนใน cell (i,j) ที่คาดว่าจะเกิดเมื่อสมมติฐาน  $H_0$  จริง

กรณีที่ตัวแปรอิสระเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ

กรณีที่ตัวแปรอิสระ  $X$  เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ เมื่อจะใช้สถิติไคกำลังสองตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบความสัมพันธ์จะต้องทำการแบ่งค่า  $X$  ออกเป็นช่วงๆ

### 2.5.1.2 สถิติทดสอบความเหมาะสมของ Hosmer และ Lemeshow

สถิติทดสอบความเหมาะสมของ Hosmer และ Lemeshow (Hosmer and Lemeshow's Goodness of Fit Test) โดย Hosmer และ Lemeshow (1980) ได้ศึกษาการตรวจสอบความเหมาะสมของสมการความถดถอยโลจิสติก โดยใช้สถิติทดสอบไคกำลังสองของเพียร์สัน โดยการแบ่งข้อมูลออกเป็น  $g$  กลุ่มย่อย และ กำหนดให้

$Y_{ij}$  = ค่าตัวแปรตามของหน่วยตัวอย่างที่  $j$  ในกลุ่มที่  $i$ ;  $i = 1, 2, \dots, g$  และ  $j = 1, 2, \dots, n$

$$\text{สถิติทดสอบของ Hosmer และ Lemeshow} = H-L = \sum_{i=1}^{10} \frac{\left( \sum_j y_{ij} - \sum_j \hat{p}_{ij} \right)^2}{\left( \sum_j \hat{p}_{ij} \right) \left[ \frac{1 - \left( \sum_j \hat{p}_{ij} \right)}{n_i} \right]} \quad (2.59)$$

โดย H-L มีการแจกแจงโดยประมาณแบบไคกำลังสองที่องศาอิสระ  $g-2$  ซึ่ง Hosmer และ Lemeshow ได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 10 กลุ่มย่อย ( $g = 10$ )

### 2.5.2 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์การถดถอยโลจิสติกของตัวแปรอิสระแต่ละตัว

ในการทดสอบสมมติฐาน

$$H_0 : \beta_0 = 0$$

$$H_1 : \beta_1 \neq 0$$

สถิติทดสอบที่ใช้มี 2 ตัว คือ

#### 2.5.2.1 สถิติทดสอบวอลด์

โดยสถิติทดสอบวอลด์ (Wald Test) มีการแจกแจงแบบไคกำลังสองที่องศาอิสระเท่ากับ 1

$$\text{สถิติทดสอบ คือ Wald} = \left[ \frac{b_i}{SE(b_i)} \right]^2 \quad (2.60)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Menard (2002) ได้ศึกษาการใช้สถิติทดสอบวอลด์และพบว่า กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์  $b_i$  มีค่ามาก จะทำให้ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE ( $b_i$ ) มีค่ามากด้วย ซึ่งจะทำให้ค่าสถิติวอลด์มีค่าน้อยทำให้ผลสรุปของการทดสอบเป็น ยอมรับ  $H_0$  ทั้งที่ความจริง  $\beta_i$  อาจจะไม่เท่ากับศูนย์หรือเกิดความผิดพลาดในการทดสอบประเภทที่ 2 ขึ้น

ดังนั้นกรณีที่  $b_i$  มีค่ามากหรือตัวแปรอิสระเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ ซึ่งทำให้ต้องแปลงตัวแปรคุณภาพให้อยู่ในรูปตัวแปรหุ่น (Dummy Variable) ไม่ควรจะใช้สถิติทดสอบวอลด์ แต่ควรใช้สถิติทดสอบอัตราส่วนความควรจะเป็น

### 2.5.2.2 สถิติทดสอบอัตราส่วนความควรจะเป็น

Huck และ Donner (1977) ศึกษาการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม และ ตัวแปรอิสระครั้งละ 1 ตัว โดยใช้สถิติทดสอบอัตราส่วนความควรจะเป็น

ในที่นี้จะใช้ Block Chi - Square โดยที่ block ที่ 2 ไม่รวมตัวแปร  $X_i$  ในขณะที่ block ที่ 1 รวมตัวแปรอิสระ  $X_i$  ไว้ในสมการ

$$\begin{aligned} \text{Block Chi - Square} &= [-2LL(\text{block2})] - [-2LL(\text{block1})] \\ &= [-2LL(X_1, X_2, \dots, X_{i-1}, X_{i+1}, \dots, X_p)] - [-2LL(X_1, X_2, \dots, X_p)] \end{aligned} \quad (2.61)$$

หมายเหตุ องศาอิสระ = 1

Arresti (2002) ได้ศึกษาเปรียบเทียบสถิติทดสอบวอลด์ และอัตราส่วนความควรจะเป็นและสรุปว่า กรณีที่ขนาดตัวอย่างเล็ก สถิติทดสอบอัตราส่วนความควรจะเป็นจะเชื่อถือได้มากกว่า สถิติทดสอบวอลด์

### 2.5.3 การวัดระดับความสัมพันธ์

ในการวิเคราะห์การถดถอย การวัดระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระ จะใช้สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) หรือกล่าวได้ว่า ค่า  $R^2$  เป็นค่าที่ระบุถึงสัดส่วนของความผันแปรของตัวแปรตามที่อธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก ค่า  $R^2$  ที่ได้ไม่ใช่ค่าสัดส่วนที่แท้จริงของความผันแปรของตัวแปรตามที่อธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ แต่อย่างไรก็ตาม มีการหาค่า  $R^2$  สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกเพื่อวัดระดับความสัมพันธ์ดังนี้

#### 2.5.3.1 Cox & Snell $R^2$ ( $R_{cs}^2$ )

$$R_{cs}^2 = 1 - \left[ \frac{L(0)}{L(B)} \right]^{2/n} \quad (2.62)$$

โดยที่  $L(0)$  = ฟังก์ชันความควรจะเป็นของฟังก์ชันที่มีค่าคงที่ เท่านั้น

$L(B)$  = ฟังก์ชันความควรจะเป็นของฟังก์ชันที่มีตัวแปรอิสระที่กำหนด

จะพบว่าค่า  $R_{cs}^2$  จะน้อยกว่า 1 เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.2 Nagelkerke's  $R^2$  ( $R_N^2$ )

$$R_N^2 = \frac{R_{CS}^2}{R_{CS:MAX}^2} \quad (2.63)$$

$$R_{CS:MAX}^2 = 1 - [L(0)]^{2/n}$$

และ  $0 \leq R_N^2 \leq 1$

โดยที่  $R_N^2$  จะมากกว่า  $R_{CS}^2$  เสมอ แต่มักจะมีค่าต่ำกว่าค่า  $R^2$  ของเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณค่าสถิติ  $R$  หรือเรียกว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วน ซึ่งเป็นค่าที่ใช้วัดความสำคัญของตัวแปรอิสระ

$$R = \pm \sqrt{\frac{Wald - (2DF)}{-2LL(0)}} \quad (2.64)$$

โดยที่  $-1 < R < 1$

จะพบว่า ค่า  $R$  ในสมการที่ 2.60 ขึ้นกับสถิติวอลด์ กรณีที่ ค่า  $b_j$  มีค่ามาก จะทำให้  $SE(b_j)$  มีค่ามากด้วย ซึ่งส่งผลทำให้ค่า Wald ค่า และ ค่า  $R$  ก็จะมีค่าต่ำ

ถ้า  $R$  เป็นบวก หมายถึง เมื่อตัวแปรอิสระมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์เพิ่มขึ้นด้วย

ถ้า  $R$  เป็นลบ หมายถึง เมื่อตัวแปรอิสระมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ลดลง

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินงานสองส่วน ส่วนแรก คือ การนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการทำนายการเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า (Feedforward Networks) และใช้กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับของ Levenberg-Marquardt Algorithm ในโปรแกรม MATLAB R2007a โดยมีกระบวนการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็นสองกลุ่มคือ ชุดข้อมูลฝึกสอนและชุดข้อมูลทดสอบ ส่วนที่สองคือ การใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย โลจิสติกมาใช้ในการทำนายการเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์ โดยทำการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม SPSS 16.0 for Windows

#### 3.1 วิธีการดำเนินงานของโครงข่ายประสาทเทียม

วิธีการดำเนินงานของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเป็นระบบการคำนวณที่เลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์เพื่อใช้ประโยชน์ในการคาดคะเนจากข้อมูลที่มีอยู่ โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการปรับข้อมูลดิบให้อยู่ในรูปแบบ Normalization
2. ทำการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อหาโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งผลจากการฝึกสอนและทดสอบ จะออกมาในรูปแบบของ ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
3. ทำการเลือก โครงสร้างที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทดสอบที่มากที่สุด

##### 3.1.1 ข้อมูลดิบทั้งหมด

ข้อมูลดิบทั้งหมดที่นำมาใช้ในการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมมี 94 ข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลดิบทั้งหมด

ลำดับ ที่	Case	pH E5	Viscos E5 (Cps.)	Solid E5 (%)	Temp E5 (C°)	pH H	Viscos H (Cps.)	Solid H (%)	Temp H (C°)	Chiller (C°)	Air Temp (C°)
1	เกิด	8.5	275	53.16	34	8.4	350	56.09	31	20.250	122.75
2	เกิด	8.5	273	53.02	34	8.4	395	56.15	31	19.425	119.25
3	เกิด	8.5	282	52.71	35	8.4	355	55.62	31	20.050	121.75
4	เกิด	8.5	290	52.67	34	8.4	320	55.69	32	20.033	116.67
5	เกิด	8.4	286	52.35	33	8.3	255	54.88	31	19.675	114.00
6	เกิด	8.5	275	52.41	34	8.4	292	55.08	31	19.800	116.50
7	เกิด	8.5	275	52.00	34	8.4	406	57.00	31	19.400	118.50
8	เกิด	8.5	267	52.61	37	8.4	376	56.70	32	19.725	117.50
9	เกิด	8.6	288	54.00	37	8.5	369	57.00	31	19.200	118.50
10	เกิด	8.5	281	53.00	35	8.4	370	56.00	33	21.000	110.25
11	ไม่เกิด	8.5	280	54.71	34	8.4	385	53.73	31	19.950	119.75
12	ไม่เกิด	8.5	264	53.22	33	8.4	312	54.00	31	19.850	117.25
13	ไม่เกิด	8.5	287	53.06	36	8.4	331	55.95	33	19.925	116.25
14	ไม่เกิด	8.5	266	52.83	34	8.4	299	55.55	31	20.400	117.00
15	ไม่เกิด	8.5	260	52.94	32	8.4	312	56.14	31	19.700	110.75
16	ไม่เกิด	8.5	270	52.63	32	8.4	364	55.81	31	20.250	102.25
17	ไม่เกิด	8.5	262	51.92	34	8.4	343	57.69	31	19.700	102.50
18	ไม่เกิด	8.5	272	54.54	33	8.4	348	58.18	31	19.750	102.75
19	ไม่เกิด	8.5	260	52.72	34	8.4	292	55.35	31	19.450	117.00
20	ไม่เกิด	8.5	290	52.94	33	8.4	300	54.54	31	19.400	117.75
21	ไม่เกิด	8.5	261	52.28	35	8.4	328	56.36	33	19.833	103.00
22	ไม่เกิด	8.5	260	52.00	34	8.4	351	56.00	31	20.575	112.50
23	ไม่เกิด	8.5	265	52.63	35	8.4	277	53.65	31	19.825	117.50
24	ไม่เกิด	8.5	260	51.35	35	8.4	299	55.55	31	18.325	118.75
25	ไม่เกิด	8.5	260	52.54	33	8.4	315	55.93	31	20.600	117.50
26	ไม่เกิด	8.5	275	53.48	34	8.4	325	55.55	31	19.600	115.25
27	ไม่เกิด	8.5	296	52.63	33	8.4	303	55.35	31	19.500	105.00
28	ไม่เกิด	8.5	260	52.11	37	8.4	358	57.65	33	19.950	102.75
29	ไม่เกิด	8.5	260	52.00	34	8.4	269	53.00	31	21.000	102.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลดิบทั้งหมด (ต่อ)

ลำดับ ที่	Case	pH E5	Viscos E5 (Cps.)	Solid E5 (%)	Temp E5 (C°)	pH H	Viscos H (Cps.)	Solid H (%)	Temp H (C°)	Chiller (C°)	Air Temp (C°)
30	ไม่เกิด	8.5	258	54.05	32	8.4	292	56.57	31	19.966	101.67
31	ไม่เกิด	8.5	281	51.94	37	8.4	314	54.45	33	20.050	102.00
32	ไม่เกิด	8.5	290	54.16	32	8.4	300	56.16	31	20.010	102.75
33	ไม่เกิด	8.5	282	55.07	37	8.4	355	57.22	33	20.040	101.75
34	ไม่เกิด	8.5	274	51.69	34	8.4	370	56.06	31	18.975	102.25
35	ไม่เกิด	8.5	260	52.35	35	8.4	340	56.74	31	20.400	102.00
36	ไม่เกิด	8.5	287	53.06	37	8.4	324	56.19	33	19.825	102.25
37	ไม่เกิด	8.5	272	53.00	34	8.4	333	56.00	31	19.475	101.75
38	ไม่เกิด	8.5	265	53.21	35	8.4	342	55.69	31	20.750	101.25
39	ไม่เกิด	8.5	292	53.17	37	8.4	360	56.75	33	19.950	101.75
40	ไม่เกิด	8.5	279	51.66	36	8.4	322	52.89	31	19.975	101.50
41	ไม่เกิด	8.5	268	52.61	35	8.4	358	56.34	31	21.050	114.00
42	ไม่เกิด	8.5	292	53.05	36	8.4	313	52.06	33	19.950	117.75
43	ไม่เกิด	8.5	267	51.60	35	8.4	318	56.52	31	20.250	116.50
44	ไม่เกิด	8.5	260	52.05	34	8.4	285	55.02	31	20.400	111.00
45	ไม่เกิด	8.5	272	52.63	32	8.4	371	55.90	31	19.550	107.00
46	ไม่เกิด	8.5	260	52.70	33	8.4	349	52.53	31	20.025	107.25
47	ไม่เกิด	8.5	260	52.49	33	8.4	293	55.46	31	20.400	107.67
48	ไม่เกิด	8.5	290	53.00	33	8.4	320	55.63	31	19.275	112.00
49	ไม่เกิด	8.5	269	53.35	37	8.4	346	56.31	33	19.500	117.00
50	ไม่เกิด	8.5	262	51.50	33	8.4	314	58.78	31	19.975	116.00
51	ไม่เกิด	8.5	266	52.62	37	8.4	395	57.35	33	20.400	112.25
52	ไม่เกิด	8.5	281	53.35	37	8.4	339	56.60	33	20.525	111.25
53	ไม่เกิด	8.5	260	50.94	35	8.4	280	53.97	31	20.266	115.67
54	ไม่เกิด	8.5	285	51.85	33	8.4	279	53.03	31	25.250	112.25
55	ไม่เกิด	8.5	280	52.28	37	8.4	356	56.72	33	29.725	115.75
56	ไม่เกิด	8.5	260	52.32	34	8.4	245	54.84	31	29.975	116.25
57	ไม่เกิด	8.5	268	51.83	35	8.4	335	55.58	31	20.275	115.50
58	ไม่เกิด	8.5	280	52.77	37	8.4	319	46.62	33	21.050	119.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลดิบทั้งหมด (ต่อ)

ลำดับ ที่	Case	pH E5	Viscos E5 (Cps.)	Solid E5 (%)	Temp E5 (C°)	pH H	Viscos H (Cps.)	Solid H (%)	Temp H (C°)	Chiller (C°)	Air Temp (C°)
59	ไม่เกิด	8.5	332	53.16	33	8.4	373	58.43	31	20.550	117.25
60	ไม่เกิด	8.5	268	52.77	32	8.4	354	55.66	31	20.900	121.00
61	ไม่เกิด	8.5	262	52.00	32	8.4	276	54.00	31	20.275	121.75
62	ไม่เกิด	8.5	287	53.02	34	8.4	290	55.75	31	19.550	121.00
63	ไม่เกิด	8.5	290	52.81	36	8.4	327	55.95	35	19.975	110.25
64	ไม่เกิด	8.5	273	51.76	33	8.4	269	52.73	31	18.700	113.00
65	ไม่เกิด	8.5	260	51.75	32	8.4	279	53.77	31	19.850	122.25
66	ไม่เกิด	8.5	260	52.31	34	8.4	272	54.93	31	20.600	122.00
67	ไม่เกิด	8.5	262	53.30	37	8.4	298	56.24	32	20.100	121.00
68	ไม่เกิด	8.5	260	51.84	32	8.4	315	54.65	31	18.900	121.50
69	ไม่เกิด	8.5	260	51.90	33	8.4	287	56.87	31	19.750	117.25
70	ไม่เกิด	8.5	276	53.07	37	8.4	290	55.44	32	19.825	117.25
71	เกิด	8.5	290	52.94	33	8.4	300	54.54	31	20.075	117.75
72	เกิด	8.5	280	52.85	33	8.4	318	55.88	31	18.700	116.50
73	เกิด	8.5	266	51.75	37	8.4	306	55.66	33	19.950	101.50
74	เกิด	8.5	260	54.05	34	8.4	354	56.76	31	20.450	119.25
75	เกิด	8.5	260	52.54	33	8.4	266	55.17	31	20.375	120.00
76	เกิด	8.5	264	52.83	37	8.4	269	57.39	33	19.925	117.00
77	เกิด	8.5	260	52.08	35	8.4	285	54.13	31	21.000	112.50
78	เกิด	8.5	295	53.54	34	8.4	377	57.51	31	19.100	121.25
79	เกิด	8.5	262	52.78	37	8.4	245	55.50	33	20.200	121.25
80	เกิด	8.5	269	52.59	37	8.4	382	58.31	32	22.000	104.50
81	ไม่เกิด	8.5	244	47.54	32	8.4	224	54.41	31	19.675	118.00
82	ไม่เกิด	8.5	260	52.56	34	8.4	280	54.06	31	19.875	117.00
83	ไม่เกิด	8.5	286	53.87	37	8.4	307	55.39	33	20.050	105.75
84	ไม่เกิด	8.5	279	53.89	32	8.4	290	55.72	31	19.700	106.00
85	ไม่เกิด	8.5	272	53.37	34	8.4	315	55.93	31	19.625	102.75
86	ไม่เกิด	8.5	250	53.18	33	8.4	315	55.97	31	20.450	115.75
87	ไม่เกิด	8.5	275	53.22	35	8.4	340	56.80	31	20.100	118.75

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลดิบทั้งหมด (ต่อ)

ลำดับ ที่	Case	pH E5	Viscos E5 (Cps.)	Solid E5 (%)	Temp E5 (C°)	pH H	Viscos H (Cps.)	Solid H (%)	Temp H (C°)	Chiller (C°)	Air Temp (C°)
88	ไม่เกิด	8.5	285	53.36	33	8.4	324	56.50	31	21.750	117.25
89	ไม่เกิด	8.5	286	53.17	37	8.4	296	55.55	32	20.375	121.25
90	ไม่เกิด	8.5	260	52.43	34	8.4	275	53.76	31	20.067	114.00
91	ไม่เกิด	8.5	254	52.61	33	8.4	387	56.65	31	19.325	112.75
92	ไม่เกิด	8.5	282	53.45	37	8.4	390	57.16	32	20.075	111.50
93	ไม่เกิด	8.5	279	53.04	37	8.4	346	57.97	32	20.067	113.00
94	ไม่เกิด	8.5	259	52.96	33	8.4	328	56.00	31	20.000	117.75

3.1.2 การจัดเตรียมข้อมูล

ข้อมูลทั้งหมดจะถูกทำ Normalization (แสดงในตารางที่ 3.2) เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในช่วงของฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Hard Limit (มีค่าอยู่ในช่วงศูนย์ถึงหนึ่ง) ก่อนที่จะทำการฝึกสอนและทดสอบ ซึ่งจะทำให้กระบวนการฝึกสอนเร็วขึ้นและมีความแม่นยำสูงขึ้น จากนั้นทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วน คือ ข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน 70 ข้อมูล และ ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ 24 ข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และ 3.4

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลที่ผ่านการทำ Normalization แล้ว

ลำดับ ที่	Case	pH E5	Viscos E5 (Cps.)	Solid E5 (%)	Temp E5 (C°)	pH H	Viscos H (Cps.)	Solid H (%)	Temp H (C°)	Chiller (C°)	Air Temp (C°)
1	1	0.5	0.352273	0.746348	0.4	0.5	0.692308	0.778783	0	0.165236	1.000000
2	1	0.5	0.329545	0.727756	0.4	0.5	0.939560	0.783717	0	0.094421	0.837209
3	1	0.5	0.431818	0.686587	0.6	0.5	0.719780	0.740132	0	0.148069	0.953488
4	1	0.5	0.522727	0.681275	0.4	0.5	0.527473	0.745888	0.25	0.146609	0.717209
5	1	0	0.477273	0.638778	0.2	0	0.170330	0.679276	0	0.115880	0.593023
6	1	0.5	0.352273	0.646746	0.4	0.5	0.373626	0.695724	0	0.126609	0.709302
7	1	0.5	0.352273	0.592297	0.4	0.5	1.000000	0.853618	0	0.092275	0.802326
8	1	0.5	0.261364	0.673307	1.0	0.5	0.835165	0.828947	0.25	0.120172	0.755814
9	1	1.0	0.500000	0.857902	1.0	1.0	0.796703	0.853618	0	0.075107	0.802326
10	1	0.5	0.420455	0.725100	0.6	0.5	0.802198	0.771382	0.50	0.229614	0.418605
11	0	0.5	0.409091	0.952191	0.4	0.5	0.884615	0.584704	0	0.139485	0.860465
12	0	0.5	0.227273	0.754316	0.2	0.5	0.483516	0.606908	0	0.130901	0.744186
13	0	0.5	0.488636	0.733068	0.8	0.5	0.587912	0.767270	0.50	0.137339	0.697674

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลที่ผ่านการทำ Normalization แล้ว (ต่อ)

ลำดับ ที่	Case	pH E5	Viscos E5 (Cps.)	Solid E5 (%)	Temp E5 (C°)	pH H	Viscos H (Cps.)	Solid H (%)	Temp H (C°)	Chiller (C°)	Air Temp (C°)
14	0	0.5	0.250000	0.702523	0.4	0.5	0.412088	0.734375	0	0.178112	0.732558
15	0	0.5	0.181818	0.717131	0	0.5	0.483516	0.782895	0	0.118026	0.441860
16	0	0.5	0.295455	0.675963	0	0.5	0.769231	0.755757	0	0.165236	0.046512
17	0	0.5	0.204545	0.581673	0.4	0.5	0.653846	0.910362	0	0.118026	0.058140
18	0	0.5	0.318182	0.929615	0.2	0.5	0.681319	0.950658	0	0.122318	0.069767
19	0	0.5	0.181818	0.687915	0.4	0.5	0.373626	0.717928	0	0.096567	0.732558
20	0	0.5	0.522727	0.717131	0.2	0.5	0.417582	0.651316	0	0.092275	0.767442
21	0	0.5	0.193182	0.629482	0.6	0.5	0.571429	0.800987	0.50	0.129442	0.081395
22	0	0.5	0.181818	0.592297	0.4	0.5	0.697802	0.771382	0	0.193133	0.523256
23	0	0.5	0.238636	0.675963	0.6	0.5	0.291209	0.578125	0	0.128755	0.755814
24	0	0.5	0.181818	0.505976	0.6	0.5	0.412088	0.734375	0	0	0.813953
25	0	0.5	0.181818	0.664011	0.2	0.5	0.500000	0.765625	0	0.195279	0.755814
26	0	0.5	0.352273	0.788845	0.4	0.5	0.554945	0.734375	0	0.109442	0.651163
27	0	0.5	0.590909	0.675963	0.2	0.5	0.434066	0.717928	0	0.100858	0.174419
28	0	0.5	0.181818	0.606906	1.0	0.5	0.736264	0.907072	0.50	0.139485	0.069767
29	0	0.5	0.181818	0.592297	0.4	0.5	0.247253	0.524671	0	0.229614	0.034884
30	0	0.5	0.159091	0.864542	0	0.5	0.373626	0.818257	0	0.140858	0.019535
31	0	0.5	0.420455	0.584329	1.0	0.5	0.494505	0.643914	0.50	0.148069	0.034884
32	0	0.5	0.522727	0.879150	0	0.5	0.417582	0.784539	0	0.144635	0.069767
33	0	0.5	0.431818	1.000000	1.0	0.5	0.719780	0.871711	0.50	0.147210	0.023256
34	0	0.5	0.340909	0.551129	0.4	0.5	0.802198	0.776316	0	0.055794	0.046512
35	0	0.5	0.181818	0.638778	0.6	0.5	0.637363	0.832237	0	0.178112	0.034884
36	0	0.5	0.488636	0.733068	1.0	0.5	0.549451	0.787007	0.50	0.128755	0.046512
37	0	0.5	0.318182	0.725100	0.4	0.5	0.598901	0.771382	0	0.098712	0.023256
38	0	0.5	0.238636	0.752988	0.6	0.5	0.648352	0.745888	0	0.208155	0
39	0	0.5	0.545455	0.747676	1.0	0.5	0.747253	0.833059	0.50	0.139485	0.023256
40	0	0.5	0.397727	0.547145	0.8	0.5	0.538462	0.515625	0	0.141631	0.011628
41	0	0.5	0.272727	0.673307	0.6	0.5	0.736264	0.799342	0	0.233906	0.593023
42	0	0.5	0.545455	0.731740	0.8	0.5	0.489011	0.447368	0.50	0.139485	0.767442
43	0	0.5	0.261364	0.539177	0.6	0.5	0.516484	0.814145	0	0.165236	0.709302
44	0	0.5	0.181818	0.598938	0.4	0.5	0.335165	0.690789	0	0.178112	0.453488

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลที่ผ่านการทำ Normalization แล้ว (ต่อ)

ลำดับ ที่	Case	pH E5	Viscos E5 (Cps.)	Solid E5 (%)	Temp E5 (C°)	pH H	Viscos H (Cps.)	Solid H (%)	Temp H (C°)	Chiller (C°)	Air Temp (C°)
45	0	0.5	0.318182	0.675963	0	0.5	0.807692	0.763158	0	0.105150	0.267442
46	0	0.5	0.181818	0.685259	0.2	0.5	0.686813	0.486020	0	0.145923	0.279070
47	0	0.5	0.181818	0.657371	0.2	0.5	0.379121	0.726974	0	0.178112	0.298605
48	0	0.5	0.522727	0.725100	0.2	0.5	0.527473	0.740954	0	0.081545	0.500000
49	0	0.5	0.284091	0.771580	1.0	0.5	0.670330	0.796875	0.50	0.100858	0.732558
50	0	0.5	0.204545	0.525896	0.2	0.5	0.494505	1.000000	0	0.141631	0.686047
51	0	0.5	0.250000	0.674635	1.0	0.5	0.939560	0.882401	0.50	0.178112	0.511628
52	0	0.5	0.420455	0.771580	1.0	0.5	0.631868	0.820724	0.50	0.188841	0.465116
53	0	0.5	0.181818	0.451527	0.6	0.5	0.307692	0.604441	0	0.166609	0.670698
54	0	0.5	0.465909	0.572377	0.2	0.5	0.302198	0.527138	0	0.594421	0.511628
55	0	0.5	0.409091	0.629482	1.0	0.5	0.725275	0.830592	0.50	0.978541	0.674419
56	0	0.5	0.181818	0.634794	0.4	0.5	0.115385	0.675987	0	1.000000	0.697674
57	0	0.5	0.272727	0.569721	0.6	0.5	0.609890	0.736842	0	0.167382	0.662791
58	0	0.5	0.409091	0.694555	1.0	0.5	0.521978	0	0.50	0.233906	0.837209
59	0	0.5	1.000000	0.746348	0.2	0.5	0.818681	0.971217	0	0.190987	0.744186
60	0	0.5	0.272727	0.694555	0	0.5	0.714286	0.743421	0	0.221030	0.918605
61	0	0.5	0.204545	0.592297	0	0.5	0.285714	0.606908	0	0.167382	0.953488
62	0	0.5	0.488636	0.727756	0.4	0.5	0.362637	0.750822	0	0.105150	0.918605
63	0	0.5	0.522727	0.699867	0.8	0.5	0.565934	0.767270	1	0.141631	0.418605
64	0	0.5	0.329545	0.560425	0.2	0.5	0.247253	0.502467	0	0.032189	0.546512
65	0	0.5	0.181818	0.559097	0	0.5	0.302198	0.587993	0	0.130901	0.976744
66	0	0.5	0.181818	0.633466	0.4	0.5	0.263736	0.683388	0	0.195279	0.965116
67	0	0.5	0.204545	0.764940	1.0	0.5	0.406593	0.791118	0.25	0.152361	0.918605
68	0	0.5	0.181818	0.571049	0	0.5	0.500000	0.660362	0	0.049356	0.941860
69	0	0.5	0.181818	0.579017	0.2	0.5	0.346154	0.842928	0	0.122318	0.744186
70	0	0.5	0.363636	0.734396	1.0	0.5	0.362637	0.725329	0.25	0.128755	0.744186
71	1	0.5	0.522727	0.717131	0.2	0.5	0.417582	0.651316	0	0.150215	0.767442
72	1	0.5	0.409091	0.705179	0.2	0.5	0.516484	0.761513	0	0.032189	0.709302
73	1	0.5	0.250000	0.559097	1.0	0.5	0.450549	0.743421	0.50	0.139485	0.011628
74	1	0.5	0.181818	0.864542	0.4	0.5	0.714286	0.833882	0	0.182403	0.837209
75	1	0.5	0.181818	0.664011	0.2	0.5	0.230769	0.703125	0	0.175966	0.872093

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือเผยแพร่ข้อมูลการดำเนินงาน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลที่ผ่านการทำ Normalization แล้ว (ต่อ)

ลำดับ ที่	Case	pH E5	Viscos E5 (Cps.)	Solid E5 (%)	Temp E5 (C°)	pH H	Viscos H (Cps.)	Solid H (%)	Temp H (C°)	Chiller (C°)	Air Temp (C°)
76	1	0.5	0.227273	0.702523	1.0	0.5	0.247253	0.885691	0.50	0.137339	0.732558
77	1	0.5	0.181818	0.602922	0.6	0.5	0.335165	0.617599	0	0.229614	0.523256
78	1	0.5	0.579545	0.796813	0.4	0.5	0.840659	0.895559	0	0.066524	0.930233
79	1	0.5	0.204545	0.695883	1.0	0.5	0.115385	0.730263	0.50	0.160944	0.930233
80	1	0.5	0.284091	0.670651	1.0	0.5	0.868132	0.961349	0.25	0.315451	0.151163
81	0	0.5	0	0	0	0.5	0	0.640625	0	0.115880	0.779070
82	0	0.5	0.181818	0.666667	0.4	0.5	0.307692	0.611842	0	0.133047	0.732558
83	0	0.5	0.477273	0.840637	1.0	0.5	0.456044	0.721217	0.50	0.148069	0.209302
84	0	0.5	0.397727	0.843293	0	0.5	0.362637	0.748355	0	0.118026	0.220930
85	0	0.5	0.318182	0.774236	0.4	0.5	0.500000	0.765625	0	0.111588	0.069767
86	0	0.5	0.068182	0.749004	0.2	0.5	0.500000	0.768914	0	0.182403	0.674419
87	0	0.5	0.352273	0.754316	0.6	0.5	0.637363	0.837171	0	0.152361	0.813953
88	0	0.5	0.465909	0.772908	0.2	0.5	0.549451	0.812500	0	0.293991	0.744186
89	0	0.5	0.477273	0.747676	1.0	0.5	0.395604	0.734375	0.25	0.175966	0.930233
90	0	0.5	0.181818	0.649402	0.4	0.5	0.280220	0.587171	0	0.149528	0.593023
91	0	0.5	0.113636	0.673307	0.2	0.5	0.895604	0.824836	0	0.085837	0.534884
92	0	0.5	0.431818	0.784861	1.0	0.5	0.912088	0.866776	0.25	0.150215	0.476744
93	0	0.5	0.397727	0.730412	1.0	0.5	0.670330	0.933388	0.25	0.149528	0.546512
94	0	0.5	0.170455	0.719788	0.2	0.5	0.571429	0.771382	0	0.143777	0.767442

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน

ลำดับ ที่	Case	pH E5	Viscos E5 (Cps.)	Solid E5 (%)	Temp E5 (C°)	pH H	Viscos H (Cps.)	Solid H (%)	Temp H (C°)	Chiller (C°)	Air Temp (C°)
1	1	0.5	0.352273	0.746348	0.4	0.5	0.692308	0.778783	0	0.165236	1.000000
2	1	0.5	0.329545	0.727756	0.4	0.5	0.939560	0.783717	0	0.094421	0.837209
3	1	0.5	0.431818	0.686587	0.6	0.5	0.719780	0.740132	0	0.148069	0.953488
4	1	0.5	0.522727	0.681275	0.4	0.5	0.527473	0.745888	0.25	0.146609	0.717209
5	1	0	0.477273	0.638778	0.2	0	0.170330	0.679276	0	0.115880	0.593023
6	1	0.5	0.352273	0.646746	0.4	0.5	0.373626	0.695724	0	0.126609	0.709302
7	1	0.5	0.352273	0.592297	0.4	0.5	1.000000	0.853618	0	0.092275	0.802326
8	1	0.5	0.261364	0.673307	1.0	0.5	0.835165	0.828947	0.25	0.120172	0.755814
9	1	1.0	0.500000	0.857902	1.0	1.0	0.796703	0.853618	0	0.075107	0.802326
10	1	0.5	0.420455	0.725100	0.6	0.5	0.802198	0.771382	0.50	0.229614	0.418605
11	0	0.5	0.409091	0.952191	0.4	0.5	0.884615	0.584704	0	0.139485	0.860465
12	0	0.5	0.227273	0.754316	0.2	0.5	0.483516	0.606908	0	0.130901	0.744186
13	0	0.5	0.488636	0.733068	0.8	0.5	0.587912	0.767270	0.50	0.137339	0.697674
14	0	0.5	0.250000	0.702523	0.4	0.5	0.412088	0.734375	0	0.178112	0.732558
15	0	0.5	0.181818	0.717131	0	0.5	0.483516	0.782895	0	0.118026	0.441860
16	0	0.5	0.295455	0.675963	0	0.5	0.769231	0.755757	0	0.165236	0.046512
17	0	0.5	0.204545	0.581673	0.4	0.5	0.653846	0.910362	0	0.118026	0.058140
18	0	0.5	0.318182	0.929615	0.2	0.5	0.681319	0.950658	0	0.122318	0.069767
19	0	0.5	0.181818	0.687915	0.4	0.5	0.373626	0.717928	0	0.096567	0.732558
20	0	0.5	0.522727	0.717131	0.2	0.5	0.417582	0.651316	0	0.092275	0.767442
21	0	0.5	0.193182	0.629482	0.6	0.5	0.571429	0.800987	0.50	0.129442	0.081395
22	0	0.5	0.181818	0.592297	0.4	0.5	0.697802	0.771382	0	0.193133	0.523256
23	0	0.5	0.238636	0.675963	0.6	0.5	0.291209	0.578125	0	0.128755	0.755814
24	0	0.5	0.181818	0.505976	0.6	0.5	0.412088	0.734375	0	0	0.813953
25	0	0.5	0.181818	0.664011	0.2	0.5	0.500000	0.765625	0	0.195279	0.755814
26	0	0.5	0.352273	0.788845	0.4	0.5	0.554945	0.734375	0	0.109442	0.651163
27	0	0.5	0.590909	0.675963	0.2	0.5	0.434066	0.717928	0	0.100858	0.174419
28	0	0.5	0.181818	0.606906	1.0	0.5	0.736264	0.907072	0.50	0.139485	0.069767
29	0	0.5	0.181818	0.592297	0.4	0.5	0.247253	0.524671	0	0.229614	0.034884

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน (ต่อ)

ลำดับ ที่	Case	pH E5	Viscos E5 (Cps.)	Solid E5 (%)	Temp E5 (C°)	pH H	Viscos H (Cps.)	Solid H (%)	Temp H (C°)	Chiller (C°)	Air Temp (C°)
30	0	0.5	0.159091	0.864542	0	0.5	0.373626	0.818257	0	0.140858	0.019535
31	0	0.5	0.420455	0.584329	1.0	0.5	0.494505	0.643914	0.50	0.148069	0.034884
32	0	0.5	0.522727	0.879150	0	0.5	0.417582	0.784539	0	0.144635	0.069767
33	0	0.5	0.431818	1.000000	1.0	0.5	0.719780	0.871711	0.50	0.147210	0.023256
34	0	0.5	0.340909	0.551129	0.4	0.5	0.802198	0.776316	0	0.055794	0.046512
35	0	0.5	0.181818	0.638778	0.6	0.5	0.637363	0.832237	0	0.178112	0.034884
36	0	0.5	0.488636	0.733068	1.0	0.5	0.549451	0.787007	0.50	0.128755	0.046512
37	0	0.5	0.318182	0.725100	0.4	0.5	0.598901	0.771382	0	0.098712	0.023256
38	0	0.5	0.238636	0.752988	0.6	0.5	0.648352	0.745888	0	0.208155	0
39	0	0.5	0.545455	0.747676	1.0	0.5	0.747253	0.833059	0.50	0.139485	0.023256
40	0	0.5	0.397727	0.547145	0.8	0.5	0.538462	0.515625	0	0.141631	0.011628
41	0	0.5	0.272727	0.673307	0.6	0.5	0.736264	0.799342	0	0.233906	0.593023
42	0	0.5	0.545455	0.731740	0.8	0.5	0.489011	0.447368	0.50	0.139485	0.767442
43	0	0.5	0.261364	0.539177	0.6	0.5	0.516484	0.814145	0	0.165236	0.709302
44	0	0.5	0.181818	0.598938	0.4	0.5	0.335165	0.690789	0	0.178112	0.453488
45	0	0.5	0.318182	0.675963	0	0.5	0.807692	0.763158	0	0.105150	0.267442
46	0	0.5	0.181818	0.685259	0.2	0.5	0.686813	0.486020	0	0.145923	0.279070
47	0	0.5	0.181818	0.657371	0.2	0.5	0.379121	0.726974	0	0.178112	0.298605
48	0	0.5	0.522727	0.725100	0.2	0.5	0.527473	0.740954	0	0.081545	0.500000
49	0	0.5	0.284091	0.771580	1.0	0.5	0.670330	0.796875	0.50	0.100858	0.732558
50	0	0.5	0.204545	0.525896	0.2	0.5	0.494505	1.000000	0	0.141631	0.686047
51	0	0.5	0.250000	0.674635	1.0	0.5	0.939560	0.882401	0.50	0.178112	0.511628
52	0	0.5	0.420455	0.771580	1.0	0.5	0.631868	0.820724	0.50	0.188841	0.465116
53	0	0.5	0.181818	0.451527	0.6	0.5	0.307692	0.604441	0	0.166609	0.670698
54	0	0.5	0.465909	0.572377	0.2	0.5	0.302198	0.527138	0	0.594421	0.511628
55	0	0.5	0.409091	0.629482	1.0	0.5	0.725275	0.830592	0.50	0.978541	0.674419
56	0	0.5	0.181818	0.634794	0.4	0.5	0.115385	0.675987	0	1.000000	0.697674
57	0	0.5	0.272727	0.569721	0.6	0.5	0.609890	0.736842	0	0.167382	0.662791
58	0	0.5	0.409091	0.694555	1.0	0.5	0.521978	0	0.50	0.233906	0.837209

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน (ต่อ)

ลำดับ ที่	Case	pH E5	Viscos E5 (Cps.)	Solid E5 (%)	Temp E5 (C°)	pH H	Viscos H (Cps.)	Solid H (%)	Temp H (C°)	Chiller (C°)	Air Temp (C°)
59	0	0.5	1.000000	0.746348	0.2	0.5	0.818681	0.971217	0	0.190987	0.744186
60	0	0.5	0.272727	0.694555	0	0.5	0.714286	0.743421	0	0.221030	0.918605
61	0	0.5	0.204545	0.592297	0	0.5	0.285714	0.606908	0	0.167382	0.953488
62	0	0.5	0.488636	0.727756	0.4	0.5	0.362637	0.750822	0	0.105150	0.918605
63	0	0.5	0.522727	0.699867	0.8	0.5	0.565934	0.767270	1	0.141631	0.418605
64	0	0.5	0.329545	0.560425	0.2	0.5	0.247253	0.502467	0	0.032189	0.546512
65	0	0.5	0.181818	0.559097	0	0.5	0.302198	0.587993	0	0.130901	0.976744
66	0	0.5	0.181818	0.633466	0.4	0.5	0.263736	0.683388	0	0.195279	0.965116
67	0	0.5	0.204545	0.764940	1.0	0.5	0.406593	0.791118	0.25	0.152361	0.918605
68	0	0.5	0.181818	0.571049	0	0.5	0.500000	0.660362	0	0.049356	0.941860
69	0	0.5	0.181818	0.579017	0.2	0.5	0.346154	0.842928	0	0.122318	0.744186
70	0	0.5	0.363636	0.734396	1.0	0.5	0.362637	0.725329	0.25	0.128755	0.744186

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ

ลำดับ ที่	Case	pH E5	Viscos E5 (Cps.)	Solid E5 (%)	Temp E5 (C°)	pH H	Viscos H (Cps.)	Solid H (%)	Temp H (C°)	Chiller (C°)	Air Temp (C°)
1	1	0.5	0.522727	0.717131	0.2	0.5	0.417582	0.651316	0	0.150215	0.767442
2	1	0.5	0.409091	0.705179	0.2	0.5	0.516484	0.761513	0	0.032189	0.709302
3	1	0.5	0.250000	0.559097	1.0	0.5	0.450549	0.743421	0.50	0.139485	0.011628
4	1	0.5	0.181818	0.864542	0.4	0.5	0.714286	0.833882	0	0.182403	0.837209
5	1	0.5	0.181818	0.664011	0.2	0.5	0.230769	0.703125	0	0.175966	0.872093
6	1	0.5	0.227273	0.702523	1.0	0.5	0.247253	0.885691	0.50	0.137339	0.732558
7	1	0.5	0.181818	0.602922	0.6	0.5	0.335165	0.617599	0	0.229614	0.523256
8	1	0.5	0.579545	0.796813	0.4	0.5	0.840659	0.895559	0	0.066524	0.930233
9	1	0.5	0.204545	0.695883	1.0	0.5	0.115385	0.730263	0.50	0.160944	0.930233
10	1	0.5	0.284091	0.670651	1.0	0.5	0.868132	0.961349	0.25	0.315451	0.151163
11	0	0.5	0	0	0	0.5	0	0.640625	0	0.115880	0.779070
12	0	0.5	0.181818	0.666667	0.4	0.5	0.307692	0.611842	0	0.133047	0.732558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ (ต่อ)

ลำดับ ที่	Case	pH E5	Viscos E5 (Cps.)	Solid E5 (%)	Temp E5 (C°)	pH H	Viscos H (Cps.)	Solid H (%)	Temp H (C°)	Chiller (C°)	Air Temp (C°)
13	0	0.5	0.477273	0.840637	1.0	0.5	0.456044	0.721217	0.50	0.148069	0.209302
14	0	0.5	0.397727	0.843293	0	0.5	0.362637	0.748355	0	0.118026	0.220930
15	0	0.5	0.318182	0.774236	0.4	0.5	0.500000	0.765625	0	0.111588	0.069767
16	0	0.5	0.068182	0.749004	0.2	0.5	0.500000	0.768914	0	0.182403	0.674419
17	0	0.5	0.352273	0.754316	0.6	0.5	0.637363	0.837171	0	0.152361	0.813953
18	0	0.5	0.465909	0.772908	0.2	0.5	0.549451	0.812500	0	0.293991	0.744186
19	0	0.5	0.477273	0.747676	1.0	0.5	0.395604	0.734375	0.25	0.175966	0.930233
20	0	0.5	0.181818	0.649402	0.4	0.5	0.280220	0.587171	0	0.149528	0.593023
21	0	0.5	0.113636	0.673307	0.2	0.5	0.895604	0.824836	0	0.085837	0.534884
22	0	0.5	0.431818	0.784861	1.0	0.5	0.912088	0.866776	0.25	0.150215	0.476744
23	0	0.5	0.397727	0.730412	1.0	0.5	0.670330	0.933388	0.25	0.149528	0.546512
24	0	0.5	0.170455	0.719788	0.2	0.5	0.571429	0.771382	0	0.143777	0.767442

### 3.1.3 การพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

ก่อนที่จะฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อนำไปใช้พยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษ จะต้องกำหนดคสตาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมเสียก่อน เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมมีจำนวนเซลล์ประสาทของตัวแปรด้านเข้า และในชั้นตัวแปรด้านออกสอดคล้องกับจำนวนตัวแปรด้านเข้าที่ป้อนให้แก่โครงข่ายและจำนวนตัวแปรด้านออกที่เป็นค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ รวมถึงการกำหนดจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนและการเลือกใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสม

การนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้เพื่อศึกษาการพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษนั้น มีองค์ประกอบหลายอย่างที่มีผลต่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม การเรียนรู้ได้ดีจะส่งผลทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการคำนวณหาคำตอบได้แม่นยำขึ้น ดังนั้นก่อนที่จะทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมจึงต้องมีการพิจารณาถึงองค์ประกอบที่มีผลต่อการเรียนรู้และประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม ดังนี้

#### 3.1.3.1 จำนวนเซลล์ประสาทของตัวแปรด้านเข้าและชั้นตัวแปรด้านออก

ปริญญานิพนธ์นี้ได้กำหนดจำนวนเซลล์ประสาทของตัวแปรด้านเข้า 8 เซลล์ เพราะเมื่อพิจารณาจากตารางข้อมูลดิบทั้งหมด พบว่า ค่า pH ที่ถึงพัก (pH E5) และ pH ที่กระบะหัวเคลือบ (pH H) มีค่าคงที่ จึงสามารถสรุปได้ว่า ค่า pH ทั้งสอง เป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์ ดังนั้นจึงไม่นำค่า pH ที่ถึงพัก (pH E5) และ pH ที่กระบะหัวเคลือบ (pH H) มาวิเคราะห์ จึงทำให้ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์ ได้แก่ ความหนืดของน้ำยาที่ถึงพัก (Viscos E5) เปรอ์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถึงพัก (Solid E5) อุณหภูมิที่ถึงพัก (Temp E5) ความหนืดของน้ำยาเคลือบที่กระบะหัวเคลือบ (Viscos H) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่กระบะหัวเคลือบ (Solid H) อุณหภูมิที่กระบะหัวเคลือบ (Temp H) ตัวลดอุณหภูมิ (Chiller) อุณหภูมิทั่วไป (Air Temp) ส่วนจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นตัวแปรด้านนอก 2 เซลล์ จะกำหนดจากค่าผลลัพธ์ที่ต้องการให้โครงข่ายประสาทเทียมคำนวณออกมา คือ ไม่เกิดรอยตำหนิบนกระดาษ (0) เกิดรอยตำหนิบนกระดาษ (1) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นตัวแปรด้านเข้า
  - ความหนืดของน้ำยาที่ถังพัก (Viscos E5)
  - เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถังพัก (Solid E5)
  - อุณหภูมิที่ถังพัก (Temp E5)
  - ความหนืดของน้ำยาเคลือบที่กระบะหัวเคลือบ (Viscos H)
  - เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่กระบะหัวเคลือบ (Solid H)
  - อุณหภูมิที่กระบะหัวเคลือบ (Temp H)
  - ตัวลดอุณหภูมิ (Chiller)
  - อุณหภูมิทั่วไป (Airtemp)
2. ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นตัวแปรด้านออก หรือค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ
  - ไม่เกิดรอยตำหนิบนกระดาษ (0)
  - เกิดรอยตำหนิบนกระดาษ (1)

### 3.1.3.2 ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน

ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน เป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งในปริภูมิพหุนานี้ จะศึกษาการใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเชิงเส้นและแบบไม่เชิงเส้นกับเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนและเซลล์ประสาทในชั้นตัวแปรด้านออก คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Log-sigmoid ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Tan-sigmoid ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Linear และ ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Hard Limit ตามลำดับดังสมการที่ 3.1 – 3.4

$$a(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}} \quad (3.1)$$

$$a(n) = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}} \quad (3.2)$$

$$a(n) = n \quad (3.3)$$

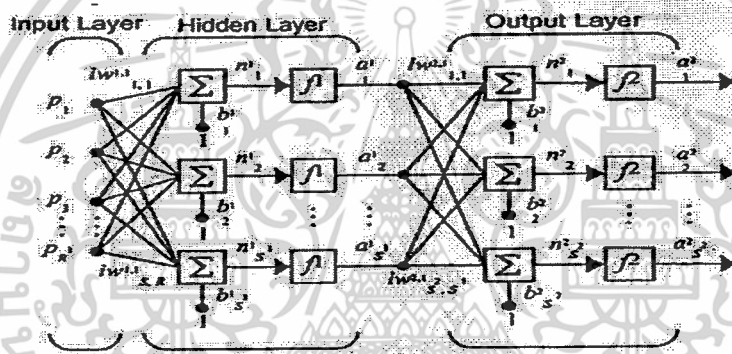
$$a(n) = \begin{cases} 0 & ; \quad n < 0 \\ 1 & ; \quad n \geq 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบนี้ จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาที่มีความซับซ้อนและมีลักษณะไม่เชิงเส้นได้ดี

### 3.1.3.3 ชนิดของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่ใช้ในปริณญาณิพนธ์ฉบับนี้ ได้สร้างแบบจำลองจาก Neural Network Toolbox ของโปรแกรม MATLAB R2007a และใช้กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับของ Levenberg-Marquardt Algorithm ซึ่งจะมีการจัดเรียงเซลล์ประสาทต่อกันในทิศทางที่ส่งข้อมูลไปข้างหน้า และไม่เชื่อมต่อในทิศทางย้อนกลับ โดยจะเรียงกันเป็นชั้นๆ คือ ชั้นอินพุต 1 ชั้น ชั้นซ่อน 1 ชั้นขึ้นไป และชั้นเอาต์พุต 1 ชั้น ซึ่งเซลล์ประสาทแต่ละชั้น จะเชื่อมต่อกับเซลล์ประสาทในชั้นก่อนหน้า และชั้นถัดไปด้วยค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ในขณะที่ทำการเรียนรู้



รูปที่ 3.1 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการพยากรณ์

จากรูปที่ 3.1 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่มี 1 ชั้นซ่อนและ 1 ชั้นเอาต์พุตซึ่งค่า  $a_1$  และ  $a_2$  จะสามารถหาได้โดยใช้สมการที่ 3.5 และ 3.6 ดังนี้

$$a^1 = f(W^1 p + b^1) \quad (3.5)$$

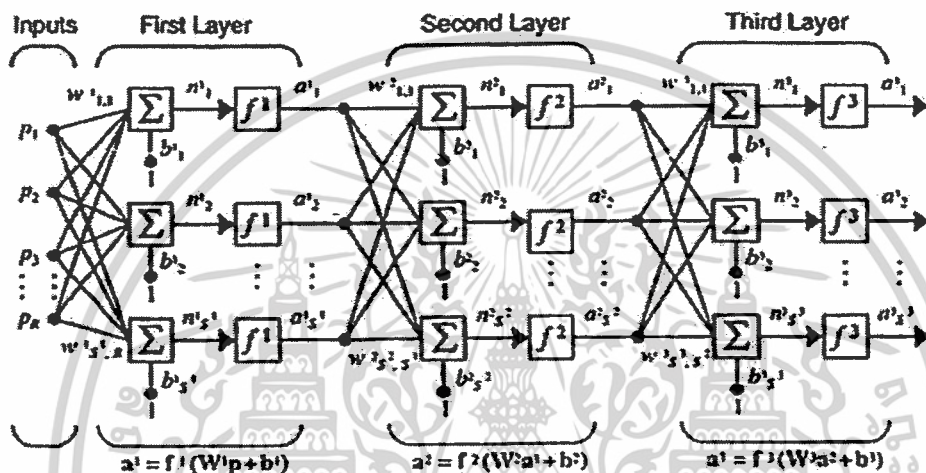
$$a^2 = f(W^2 a^1 + b^2) \quad (3.6)$$

โดยที่

- $p$  คือ ตัวแปรด้านเข้าของโครงข่ายประสาทเทียม
- $W^1$  คือ น้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างตัวแปรด้านเข้าและชั้นซ่อน
- $W^2$  คือ ค่าน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นซ่อนและชั้นตัวแปรด้านออก
- $b^1$  คือ ค่าไบอัสของชั้นซ่อน
- $b^2$  คือ ค่าไบอัสของชั้นตัวแปรด้านออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $n^1$  คือ ผลรวมของข้อมูลด้านเข้าของชั้นซ่อน
- $n^2$  คือ ผลรวมของข้อมูลด้านเข้าของตัวแปรด้านออก
- $f$  คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของชั้นซ่อน
- $f'$  คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวแปรด้านออก
- $a^1$  คือ ตัวแปรด้านออกของชั้นซ่อน
- $a^2$  คือ ตัวแปรด้านออกของโครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 3.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

### 3.1.3.4 จำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อนที่เหมาะสม

ปริณูณานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ใช้วิธีหาจำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อน ด้วยการเริ่มต้นจากจำนวน 1 เซลล์ และทำการฝึกสอน ซึ่งในแต่ละครั้งค่าน้ำหนักและค่าไบอัสเริ่มต้นจะใช้เลขแบบสุ่ม จากนั้นจะทำการทดสอบและคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง และทำการปรับเพิ่มจำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อนเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 เซลล์ เพื่อหาโครงสร้างที่ให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องสูงที่สุด ซึ่งแต่ละโครงสร้างจะทำการฝึกสอน โดยทำการปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัส จำนวน 1000 Epochs ซึ่งพบว่าจำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อนที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์การเกิดคำหนีในการผลิตกระดาษดูลีทซ์ คือ โครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้น โดยมีจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นที่ 1 เท่ากับ 8 เซลล์ และมีจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นที่ 2 เท่ากับ 5 เซลล์

### 3.1.3.5 การปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัส

ปริณูณานิพนธ์นี้จะปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัสของโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ ของ Levenberg-Marquardt Algorithm โดยจะปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัสเพื่อให้ค่าผิดพลาดในรอบต่อไปมีค่าลดลง ซึ่งค่าน้ำหนัก “w” และค่าไบอัส “b” รอบต่อไปจะถูกปรับใหม่ตามสมการที่ 3.7 และ 3.8

$$w^{new} = w^{old} + [J^T(w) \cdot J(w) + \mu I]^{-1} \cdot (-J^T(w) \cdot J(w)) \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$b^{new} = b^{old} + [J^T(b) \cdot J(b) + \mu I]^{-1} J^T(b) \cdot e \quad (3.8)$$

โดยที่

$J(w)$	คือ จาโคเบียนเมตริกซ์ (Jacobian Matrix) ของอนุพันธ์ค่าผิดพลาดเทียบกับค่าน้ำหนัก
$J(b)$	คือ จาโคเบียนเมตริกซ์ (Jacobian Matrix) ของอนุพันธ์ค่าผิดพลาดเทียบกับค่าไบอัส
$e$	คือ เมตริกซ์ของค่าผิดพลาดระหว่างเอาท์พุทเป้าหมายกับตัวแปรด้านออก
$J^T(w) \cdot e$	คือ Gradient Factor ของค่าน้ำหนัก
$J^T(b) \cdot e$	คือ Gradient Factor ของค่าไบอัส
$\mu$	คือ Learning Factor ซึ่งมีค่าเริ่มต้น $\mu$ เท่ากับ 0.001
$I$	คือ Identity Matrix

ในการปรับค่าน้ำหนัก และค่าไบอัสของโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า โดยใช้กฎการเรียนรู้ แบบแพร่ค่าย้อนกลับของ Levenberg-Marquardt Algorithm จะมีเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการสิ้นสุดของการฝึกสอนดังนี้

#### 1. ค่า Gradient Factor

ในการปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัสแต่ละรอบนั้นค่า Gradient Factor (ค่า  $J^T(w) \cdot e$  หรือค่า  $J^T(b) \cdot e$ ) จะเปลี่ยนแปลงไปโดยขึ้นอยู่กับค่าผิดพลาด ( $e$ ) ใน Epoch นั้นๆ ซึ่งการฝึกสอนจะสิ้นสุดลงเมื่อค่า Gradient Factor มีค่าน้อยกว่า  $1 \times 10^{-10}$

#### 2. ค่า Learning Factor

ในการปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัสแต่ละรอบนั้น ถ้าค่า Gradient Factor มีค่าเพิ่มขึ้น ก็จะมีการปรับค่า  $\mu$  ให้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งค่า Gradient Factor มีแนวโน้มที่จะลดลง หลังจากนั้นค่า  $\mu$  ก็จะถูกปรับลดลงเรื่อยๆ และค่า  $\mu$  จะถูกปรับเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อค่า Gradient Factor มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการฝึกสอนจะสิ้นสุดลงเมื่อค่า  $\mu$  มีค่ามากกว่า  $1 \times 10^{-10}$  โดยค่า  $\mu$  เริ่มต้นจะมีค่าเท่ากับ 0.001 และการปรับค่า  $\mu$  ให้เพิ่มขึ้น ก็จะทำโดยการคูณด้วยค่า Decrease Factor ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.1

#### 3.1.3.6 การหาค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง

การวัดความแม่นยำของโครงข่ายประสาทเทียมในปริภูมิตามที่พบในขณะนี้ จะใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการคำนวณ ดังสมการที่ 3.9

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง} = \frac{x_i}{n} \times 100 \quad (3.9)$$

โดยที่  $x_i$  คือ จำนวนข้อมูลที่พยากรณ์ถูก

$n$  คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 วิธีการดำเนินงานของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก

วิธีการดำเนินงานในส่วนที่เป็นการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ หรือศึกษาว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีอิทธิพล หรือมีผลกระทบต่อตัวแปรตาม โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการปรับข้อมูลให้เป็นค่ามาตรฐาน (Z) และ แบ่งจำนวนข้อมูลเป็นข้อมูลสำหรับการดำเนินการ 70 ข้อมูล และ ข้อมูลทดสอบ 24 ข้อมูล
2. ทำการนำข้อมูลสำหรับการดำเนินการมาวิเคราะห์ปัจจัย และวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกแบบไบนารี
3. ทำการนำข้อมูลทดสอบมาแทนค่าในสมการที่ได้จากในข้อที่ 2 ซึ่งผลการทดสอบจะออกมา ในรูปของค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
4. ทำการนำข้อมูลที่เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่ได้จาก วิธีการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกแบบไบนารี และ โครงข่ายประสาทเทียมมา เปรียบเทียบกัน

#### 3.2.1 การจัดเตรียมข้อมูล

ข้อมูลทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นค่ามาตรฐาน (Z) แสดงในตารางที่ 3.5 จากนั้นทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วน คือ ข้อมูลที่ใช้สำหรับการดำเนินการ 70 ข้อมูล และ ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ 24 ข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.5 ค่ามาตรฐานของข้อมูล

ลำดับที่	Output	Z(Viscos E5)	Z(Solid E5)	Z(Temp E5)	Z(Viscos H)	Z(Solid H)	Z(Temp H)	Z(Chiller)	Z(Air Temp)
1	1	0.151192	0.635881	-0.249010	0.707480	0.339888	-0.563440	-0.037780	1.439192
2	1	0.598435	0.456553	-0.249010	1.942824	0.374113	-0.563440	-0.485540	0.941567
3	1	0.680364	0.059471	0.352055	0.844740	0.071791	-0.563440	-0.146330	1.297013
4	1	1.285132	0.008234	-0.249010	-0.116080	0.111720	0.532139	-0.155560	0.574746
5	1	0.982748	-0.401660	-0.850080	-1.900470	-0.350320	-0.563440	-0.349850	0.195130
6	1	0.151192	-0.324800	-0.249010	-0.884740	-0.236230	-0.563440	-0.282010	0.550576
7	1	0.151192	-0.849980	-0.249010	2.244797	0.858968	-0.563440	-0.499110	0.834933
8	1	-0.453580	-0.068620	1.554192	1.421234	0.687843	0.532139	-0.322720	0.692755
9	1	1.133940	1.711845	1.554192	1.229070	0.858968	-0.563440	-0.607650	0.834933
10	1	0.604768	0.430935	0.352055	1.256522	0.28855	1.627721	0.369269	-0.338040
11	0	0.529172	2.621292	-0.249010	1.668303	-1.006300	-0.563440	-0.200600	1.012656
12	0	-0.680360	0.712735	-0.850080	-0.335700	-0.852290	-0.563440	-0.254880	0.657210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ค่ามาตรฐานของข้อมูล (ต่อ)

ลำดับ ที่	Output	Z(Viscos E5)	Z(Solid E5)	Z(Temp E5)	Z(Viscos H)	Z(Solid H)	Z(Temp H)	Z(Chiller)	Z(Air Temp)
13	0	1.058344	0.507790	0.953123	0.185890	0.260029	1.627721	-0.214170	0.515031
14	0	-0.529170	0.213180	-0.249010	-0.692580	0.031862	-0.563440	0.043628	0.621665
15	0	-0.982750	0.354080	-1.451150	-0.335700	0.368409	-0.563440	-0.336290	-0.266950
16	0	-0.226790	-0.043000	-1.451150	1.091809	0.180171	-0.563440	-0.037780	-1.475470
17	0	-0.831560	-0.952450	-0.249010	0.515315	1.252556	-0.563440	-0.336290	-1.439920
18	0	-0.075600	2.403537	-0.850080	0.652576	1.532061	-0.563440	-0.309150	-1.404380
19	0	-0.982750	0.072280	-0.249010	-0.884740	-0.082220	-0.563440	-0.471970	0.621665
20	0	1.285132	0.354080	-0.850080	-0.665130	-0.544260	-0.563440	-0.499110	0.728299
21	0	-0.907150	-0.491320	0.352055	0.103534	0.493901	1.627721	-0.264100	-1.368830
22	0	-0.982750	-0.849980	-0.249010	0.734932	0.288550	-0.563440	0.138607	-0.018140
23	0	-0.604770	-0.043000	0.352055	-1.296520	-1.051930	-0.563440	-0.268440	0.692755
24	0	-0.982750	-1.682570	0.352055	-0.692580	0.031862	-0.563440	-1.082550	0.870478
25	0	-0.982750	-0.158280	-0.850080	-0.253340	0.248621	-0.563440	0.152175	0.692755
26	0	0.151192	1.045772	-0.249010	0.021177	0.031862	-0.563440	-0.390560	0.372853
27	0	1.738709	-0.043000	-0.850080	-0.582770	-0.082220	-0.563440	-0.444830	-1.084480
28	0	-0.982750	-0.709080	1.554192	0.927097	1.229740	1.627721	-0.200600	-1.404380
29	0	-0.982750	-0.849980	-0.249010	-1.516140	-1.422700	-0.563440	0.369269	-1.511010
30	0	-1.133940	1.775891	-1.451150	-0.884740	0.613688	-0.563440	-0.191920	-1.557930
31	0	0.604768	-0.926830	1.554192	-0.280800	-0.595600	1.627721	-0.146330	-1.511010
32	0	1.285132	1.916791	-1.451150	-0.665130	0.379817	-0.563440	-0.168040	-1.404380
33	0	0.680364	3.082420	1.554192	0.844740	0.984460	1.627721	-0.151760	-1.546560
34	0	0.075596	-1.247060	-0.249010	1.256522	0.322775	-0.563440	-0.729770	-1.475470
35	0	-0.982750	-0.401660	0.352055	0.432959	0.710659	-0.563440	0.043628	-1.511010
36	0	1.058344	0.507790	1.554192	-0.006270	0.396929	1.627721	-0.268440	-1.475470
37	0	-0.075600	0.430935	-0.249010	0.240794	0.288550	-0.563440	-0.458400	-1.546560
38	0	-0.604770	0.699926	0.352055	0.487863	0.111720	-0.563440	0.233585	-1.617650
39	0	1.436324	0.648690	1.554192	0.982001	0.716364	1.627721	-0.200600	-1.546560
40	0	0.453576	-1.285490	0.953123	-0.061180	-1.485450	-0.563440	-0.187030	-1.582100
41	0	-0.377980	-0.068620	0.352055	0.927097	0.482492	-0.563440	0.396405	0.195130
42	0	1.436324	0.494980	0.953123	-0.308250	-1.958900	1.627721	-0.200600	0.728299
43	0	-0.453580	-1.362340	0.352055	-0.170990	0.585167	-0.563440	-0.037780	0.550576

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ค่ามาตรฐานของข้อมูล (ต่อ)

ลำดับที่	Output	Z(Viscos E5)	Z(Solid E5)	Z(Temp E5)	Z(Viscos H)	Z(Solid H)	Z(Temp H)	Z(Chiller)	Z(Air Temp)
44	0	-0.982750	-0.785930	-0.249010	-1.076910	-0.270460	-0.563440	0.043628	-0.231410
45	0	-0.075600	-0.043000	-1.451150	1.283974	0.231508	-0.563440	-0.417700	-0.800120
46	0	-0.982750	0.046662	-0.850080	0.680028	-1.690800	-0.563440	-0.159900	-0.764570
47	0	-0.982750	-0.222330	-0.850080	-0.857290	-0.019480	-0.563440	0.043628	-0.704860
48	0	1.285132	0.430935	-0.850080	-0.116080	0.077495	-0.563440	-0.566950	-0.089230
49	0	-0.302380	0.879254	1.554192	0.597671	0.465380	1.627721	-0.444830	0.621665
50	0	-0.831560	-1.490430	-0.850080	-0.280800	1.874312	-0.563440	-0.187030	0.479487
51	0	-0.529170	-0.055810	1.554192	1.942824	1.058614	1.627721	0.043628	-0.053680
52	0	0.604768	0.879254	1.554192	0.405507	0.630801	1.627721	0.11147	-0.195860
53	0	-0.982750	-2.207740	0.352055	-1.21417	-0.869400	-0.563440	-0.029100	0.432568
54	0	0.907152	-1.042110	-0.850080	-1.24162	-1.405590	-0.563440	2.675888	-0.053680
55	0	0.529172	-0.491320	1.554192	0.872192	0.699251	1.627721	5.104623	0.443942
56	0	-0.982755	-0.440073	-0.249045	-2.174938	-0.373196	-0.563450	5.240321	0.515079
57	0	-0.377980	-1.067730	0.352055	0.295698	0.048974	-0.563440	-0.024210	0.408398
58	0	0.529172	0.136325	1.554192	-0.143540	-5.061970	1.627721	0.396405	0.941567
59	0	4.460165	0.635881	-0.850080	1.338878	1.674666	-0.563440	0.125038	0.657210
60	0	-0.377980	0.136325	-1.451150	0.817288	0.094608	-0.563440	0.314995	1.190379
61	0	-0.831560	-0.849980	-1.451150	-1.323980	-0.852290	-0.563440	-0.02421	1.297013
62	0	1.058344	0.456553	-0.249010	-0.939650	0.145946	-0.563440	-0.417700	1.190379
63	0	1.285132	0.187562	0.953123	0.076082	0.260029	3.818883	-0.187030	-0.338040
64	0	0.738456	-1.157390	-0.850080	-1.516140	-1.576720	-0.563440	-0.879020	0.052951
65	0	-0.982750	-1.170200	-1.451150	-1.241620	-0.983480	-0.563440	-0.254880	1.368102
66	0	-0.982750	-0.452890	-0.249010	-1.433780	-0.321800	-0.563440	0.152175	1.332558
67	0	-0.831560	0.815208	1.554192	-0.720030	0.425450	0.532139	-0.119190	1.190379
68	0	-0.982750	-1.054920	-1.451150	-0.253340	-0.481510	-0.563440	-0.770470	1.261468
69	0	-0.982750	-0.978070	-0.850080	-1.022000	0.784814	-0.563440	-0.309150	0.657210
70	0	0.226788	0.520599	1.554192	-0.939650	-0.030880	0.532139	-0.268440	0.657210
71	0	-1.899770	-4.202840	-1.410810	-2.013840	-1.241050	-0.640870	-0.623370	0.613640
72	0	-0.725030	-0.172610	-0.335910	-0.750840	-1.523720	-0.640870	-0.343960	0.448164
73	0	1.183917	0.879104	1.276447	-0.141900	-0.449580	1.922610	-0.099480	-1.413440
74	0	0.669969	0.895160	-1.410810	-0.525310	-0.183060	-0.640870	-0.588440	-1.372070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ค่ามาตรฐานของข้อมูล (ต่อ)

ลำดับ ที่	Output	Z(Viscos E5)	Z(Solid E5)	Z(Temp E5)	Z(Viscos H)	Z(Solid H)	Z(Temp H)	Z(Chiller)	Z(Air Temp)
75	0	0.156020	0.477686	-0.335910	0.038529	-0.013460	-0.640870	-0.693220	-1.909870
76	0	-1.459250	0.325148	-0.873360	0.038529	0.018845	-0.640870	0.459334	0.241319
77	0	0.376284	0.357261	0.201544	0.602365	0.689173	-0.640870	-0.029630	0.737747
78	0	1.110496	0.469658	-0.873360	0.24151	0.446886	-0.640870	2.275484	0.489533
79	0	1.183917	0.317120	1.276447	-0.389990	-0.320360	0.640870	0.354557	1.151437
80	0	-0.725030	-0.276980	-0.335910	-0.863610	-1.766010	-0.640870	-0.075730	-0.048260
81	0	-1.165560	-0.132470	-0.873360	1.662378	0.568029	-0.640870	-1.112330	-0.255110
82	0	0.890232	0.541913	1.276447	1.730039	0.979918	0.640870	-0.064550	-0.461950
83	0	0.669969	0.212751	1.276447	0.737686	1.634094	0.640870	-0.075730	-0.213740
84	0	-0.798460	0.148524	-0.873360	0.331724	0.043073	-0.640870	-0.169330	0.572271
85	1	1.477602	0.132468	-0.873360	-0.299770	-1.136060	-0.640870	-0.064550	0.572271
86	1	0.743390	0.060213	-0.873360	0.106189	-0.053840	-0.640870	-1.985480	0.365426
87	1	-0.284510	-0.822910	1.276447	-0.164450	-0.231520	1.922610	-0.239180	-2.116710
88	1	-0.725030	1.023614	-0.335910	0.918114	0.656868	-0.640870	0.459334	0.820485
89	1	-0.725030	-0.188670	-0.873360	-1.066590	-0.627260	-0.640870	0.354557	0.944592
90	1	-0.431350	0.044156	1.276447	-0.998930	1.165672	1.922610	-0.274110	0.448164
91	1	-0.725030	-0.557970	0.201544	-0.638080	-1.467180	-0.640870	1.227705	-0.296480
92	1	1.844709	0.614168	-0.335910	1.436844	1.262587	-0.640870	-1.426670	1.151437
93	1	-0.578190	0.004014	1.276447	-1.540210	-0.360740	1.922610	0.110075	1.151437
94	1	-0.064240	-0.148520	1.276447	1.549611	1.908687	0.640870	2.624743	-1.620290

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลสำหรับการดำเนินการ

ลำดับ ที่	Output	Z(Viscos E5)	Z(Solid E5)	Z(Temp E5)	Z(Viscos H)	Z(Solid H)	Z(Temp H)	Z(Chiller)	Z(Air Temp)
1	1	0.151192	0.635881	-0.249010	0.707480	0.339888	-0.563440	-0.037780	1.439192
2	1	0.598435	0.456553	-0.249010	1.942824	0.374113	-0.563440	-0.485540	0.941567
3	1	0.680364	0.059471	0.352055	0.844740	0.071791	-0.563440	-0.146330	1.297013
4	1	1.285132	0.008234	-0.249010	-0.116080	0.111720	0.532139	-0.155560	0.574746
5	1	0.982748	-0.401660	-0.850080	-1.900470	-0.350320	-0.563440	-0.349850	0.195130
6	1	0.151192	-0.324800	-0.249010	-0.884740	-0.236230	-0.563440	-0.282010	0.550576
7	1	0.151192	-0.849980	-0.249010	2.244797	0.858968	-0.563440	-0.499110	0.834933
8	1	-0.453580	-0.068620	1.554192	1.421234	0.687843	0.532139	-0.322720	0.692755
9	1	1.133940	1.711845	1.554192	1.229070	0.858968	-0.563440	-0.607650	0.834933
10	1	0.604768	0.430935	0.352055	1.256522	0.28855	1.627721	0.369269	-0.338040
11	0	0.529172	2.621292	-0.249010	1.668303	-1.006300	-0.563440	-0.200600	1.012656
12	0	-0.680360	0.712735	-0.850080	-0.335700	-0.852290	-0.563440	-0.254880	0.657210
13	0	1.058344	0.507790	0.953123	0.185890	0.260029	1.627721	-0.214170	0.515031
14	0	-0.529170	-0.213180	-0.249010	-0.692580	0.031862	-0.563440	0.043628	0.621665
15	0	-0.982750	0.354080	-1.451150	-0.335700	0.368409	-0.563440	-0.336290	-0.266950
16	0	-0.226790	-0.043000	-1.451150	1.091809	0.180171	-0.563440	-0.037780	-1.475470
17	0	-0.831560	-0.952450	-0.249010	0.515315	1.252556	-0.563440	-0.336290	-1.439920
18	0	-0.075600	2.403537	-0.850080	0.652576	1.532061	-0.563440	-0.309150	-1.404380
19	0	-0.982750	0.072280	-0.249010	-0.884740	-0.082220	-0.563440	-0.471970	0.621665
20	0	1.285132	0.354080	-0.850080	-0.665130	-0.544260	-0.563440	-0.499110	0.728299
21	0	-0.907150	-0.491320	0.352055	0.103534	0.493901	1.627721	-0.264100	-1.368830
22	0	-0.982750	-0.849980	-0.249010	0.734932	0.288550	-0.563440	0.138607	-0.018140
23	0	-0.604770	-0.043000	0.352055	-1.296520	-1.051930	-0.563440	-0.268440	0.692755
24	0	-0.982750	-1.682570	0.352055	-0.692580	0.031862	-0.563440	-1.082550	0.870478
25	0	-0.982750	-0.158280	-0.850080	-0.253340	0.248621	-0.563440	0.152175	0.692755
26	0	0.151192	1.045772	-0.249010	0.021177	0.031862	-0.563440	-0.390560	0.372853
27	0	1.738709	-0.043000	-0.850080	-0.582770	-0.082220	-0.563440	-0.444830	-1.084480
28	0	-0.982750	-0.709080	1.554192	0.927097	1.229740	1.627721	-0.200600	-1.404380
29	0	-0.982750	-0.849980	-0.249010	-1.516140	-1.422700	-0.563440	0.369269	-1.511010
30	0	-1.133940	1.775891	-1.451150	-0.884740	0.613688	-0.563440	-0.191920	-1.557930
31	0	0.604768	-0.926830	1.554192	-0.280800	-0.595600	1.627721	-0.146330	-1.511010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลสำหรับการดำเนินการ (ต่อ)

ลำดับ ที่	Output	Z(Viscos E5)	Z(Solid E5)	Z(Temp E5)	Z(Viscos H)	Z(Solid H)	Z(Temp H)	Z(Chiller)	Z(Air Temp)
32	0	1.285132	1.916791	-1.451150	-0.665130	0.379817	-0.563440	-0.168040	-1.404380
33	0	0.680364	3.082420	1.554192	0.844740	0.984460	1.627721	-0.151760	-1.546560
34	0	0.075596	-1.247060	-0.249010	1.256522	0.322775	-0.563440	-0.729770	-1.475470
35	0	-0.982750	-0.401660	0.352055	0.432959	0.710659	-0.563440	0.043628	-1.511010
36	0	1.058344	0.507790	1.554192	-0.006270	0.396929	1.627721	-0.268440	-1.475470
37	0	-0.075600	0.430935	-0.249010	0.240794	0.288550	-0.563440	-0.458400	-1.546560
38	0	-0.604770	0.699926	0.352055	0.487863	0.111720	-0.563440	0.233585	-1.617650
39	0	1.436324	0.648690	1.554192	0.982001	0.716364	1.627721	-0.200600	-1.546560
40	0	0.453576	-1.285490	0.953123	-0.061180	-1.485450	-0.563440	-0.187030	-1.582100
41	0	-0.377980	-0.068620	0.352055	0.927097	0.482492	-0.563440	0.396405	0.195130
42	0	1.436324	0.494980	0.953123	-0.308250	-1.958900	1.627721	-0.200600	0.728299
43	0	-0.453580	-1.362340	0.352055	-0.170990	0.585167	-0.563440	-0.037780	0.550576
44	0	-0.982750	-0.785930	-0.249010	-1.076910	-0.270460	-0.563440	0.043628	-0.231410
45	0	-0.075600	-0.043000	-1.451150	1.283974	0.231508	-0.563440	-0.417700	-0.800120
46	0	-0.982750	0.046662	-0.850080	0.680028	-1.690800	-0.563440	-0.159900	-0.764570
47	0	-0.982750	-0.222330	-0.850080	-0.857290	-0.019480	-0.563440	0.043628	-0.704860
48	0	1.285132	0.430935	-0.850080	-0.116080	0.077495	-0.563440	-0.566950	-0.089230
49	0	-0.302380	0.879254	1.554192	0.597671	0.465380	1.627721	-0.444830	0.621665
50	0	-0.831560	-1.490430	-0.850080	-0.280800	1.874312	-0.563440	-0.187030	0.479487
51	0	-0.529170	-0.055810	1.554192	1.942824	1.058614	1.627721	0.043628	-0.053680
52	0	0.604768	0.879254	1.554192	0.405507	0.630801	1.627721	0.11147	-0.195860
53	0	-0.982750	-2.207740	0.352055	-1.21417	-0.869400	-0.563440	-0.029100	0.432568
54	0	0.907152	-1.042110	-0.850080	-1.24162	-1.405590	-0.563440	2.675888	-0.053680
55	0	0.529172	-0.491320	1.554192	0.872192	0.699251	1.627721	5.104623	0.443942
56	0	-0.982755	-0.440073	-0.249045	-2.174938	-0.373196	-0.563450	5.240321	0.515079
57	0	-0.377980	-1.067730	0.352055	0.295698	0.048974	-0.563440	-0.024210	0.408398
58	0	0.529172	0.136325	1.554192	-0.143540	-5.061970	1.627721	0.396405	0.941567
59	0	4.460165	0.635881	-0.850080	1.338878	1.674666	-0.563440	0.125038	0.657210
60	0	-0.377980	0.136325	-1.451150	0.817288	0.094608	-0.563440	0.314995	1.190379
61	0	-0.831560	-0.849980	-1.451150	-1.323980	-0.852290	-0.563440	-0.02421	1.297013
62	0	1.058344	0.456553	-0.249010	-0.939650	0.145946	-0.563440	-0.417700	1.190379

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาคู่เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลสำหรับการดำเนินการ (ต่อ)

ลำดับ ที่	Output	Z(Viscos E5)	Z(Solid E5)	Z(Temp E5)	Z(Viscos H)	Z(Solid H)	Z(Temp H)	Z(Chiller)	Z(Air Temp)
63	0	1.285132	0.187562	0.953123	0.076082	0.260029	3.818883	-0.187030	-0.338040
64	0	0.738456	-1.157390	-0.850080	-1.516140	-1.576720	-0.563440	-0.879020	0.052951
65	0	-0.982750	-1.170200	-1.451150	-1.241620	-0.983480	-0.563440	-0.254880	1.368102
66	0	-0.982750	-0.452890	-0.249010	-1.433780	-0.321800	-0.563440	0.152175	1.332558
67	0	-0.831560	0.815208	1.554192	-0.720030	0.425450	0.532139	-0.119190	1.190379
68	0	-0.982750	-1.054920	-1.451150	-0.253340	-0.481510	-0.563440	-0.770470	1.261468
69	0	-0.982750	-0.978070	-0.850080	-1.022000	0.784814	-0.563440	-0.309150	0.657210
70	0	0.226788	0.520599	1.554192	-0.939650	-0.030880	0.532139	-0.268440	0.657210

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลทดสอบ

ลำดับ ที่	Output	Z(Viscos E5)	Z(Solid E5)	Z(Temp E5)	Z(Viscos H)	Z(Solid H)	Z(Temp H)	Z(Chiller)	Z(Air Temp)
1	0	-1.899770	-4.202840	-1.410810	-2.013840	-1.241050	-0.640870	-0.623370	0.613640
2	0	-0.725030	-0.172610	-0.335910	-0.750840	-1.523720	-0.640870	-0.343960	0.448164
3	0	1.183917	0.879104	1.276447	-0.141900	-0.449580	1.922610	-0.099480	-1.413440
4	0	0.669969	0.895160	-1.410810	-0.525310	-0.183060	-0.640870	-0.588440	-1.372070
5	0	0.156020	0.477686	-0.335910	0.038529	-0.013460	-0.640870	-0.693220	-1.909870
6	0	-1.459250	0.325148	-0.873360	0.038529	0.018845	-0.640870	0.459334	0.241319
7	0	0.376284	0.357261	0.201544	0.602365	0.689173	-0.640870	-0.029630	0.737747
8	0	1.110496	0.469658	-0.873360	0.24151	0.446886	-0.640870	2.275484	0.489533
9	0	1.183917	0.317120	1.276447	-0.389990	-0.320360	0.640870	0.354557	1.151437
10	0	-0.725030	-0.276980	-0.335910	-0.863610	-1.766010	-0.640870	-0.075730	-0.048260
11	0	-1.165560	-0.132470	-0.873360	1.662378	0.568029	-0.640870	-1.112330	-0.255110
12	0	0.890232	0.541913	1.276447	1.730039	0.979918	0.640870	-0.064550	-0.461950
13	0	0.669969	0.212751	1.276447	0.737686	1.634094	0.640870	-0.075730	-0.213740
14	0	-0.798460	0.148524	-0.873360	0.331724	0.043073	-0.640870	-0.169330	0.572271
15	1	1.477602	0.132468	-0.873360	-0.299770	-1.136060	-0.640870	-0.064550	0.572271
16	1	0.743390	0.060213	-0.873360	0.106189	-0.053840	-0.640870	-1.985480	0.365426
17	1	-0.284510	-0.822910	1.276447	-0.164450	-0.231520	1.922610	-0.239180	-2.116710

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลทดสอบ (ต่อ)

ลำดับ ที่	Output	Z(Viscos E5)	Z(Solid E5)	Z(Temp E5)	Z(Viscos H)	Z(Solid H)	Z(Temp H)	Z(Chiller)	Z(Air Temp)
18	1	-0.725030	1.023614	-0.335910	0.918114	0.656868	-0.640870	0.459334	0.820485
19	1	-0.725030	-0.188670	-0.873360	-1.066590	-0.627260	-0.640870	0.354557	0.944592
20	1	-0.431350	0.044156	1.276447	-0.998930	1.165672	1.922610	-0.274110	0.448164
21	1	-0.725030	-0.557970	0.201544	-0.638080	-1.467180	-0.640870	1.227705	-0.296480
22	1	1.844709	0.614168	-0.335910	1.436844	1.262587	-0.640870	-1.426670	1.151437
23	1	-0.578190	0.004014	1.276447	-1.540210	-0.360740	1.922610	0.110075	1.151437
24	1	-0.064240	-0.148520	1.276447	1.549611	1.908687	0.640870	2.624743	-1.620290

### 3.2.2 การพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษคุณภาพดีโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก

เนื่องจากตัวแปรอิสระมีหลายตัว จึงทำการจัดกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันให้เป็นตัวแปรใหม่ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) เพื่อลดจำนวนตัวแปร โดยการรวมตัวแปรหลายๆตัวให้อยู่ในปัจจัยเดียวกัน และเพื่อให้เห็นโครงสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา โดยการพิจารณาที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation) ของตัวแปรที่ละคู่ ซึ่งตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันมากจะจัดไว้ในปัจจัยเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์ปัจจัย ก่อนทำการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกแบบไบนารี ดังนี้

#### 3.2.2.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัจจัย

สำหรับงานวิจัยที่มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องหลายๆตัว เมื่อต้องการที่จะลดจำนวนตัวแปร เพื่อสร้างตัวแปรใหม่ ซึ่งเป็นปัจจัยร่วมของตัวแปรหลายตัว ขั้นตอนการวิเคราะห์หรือการสร้างปัจจัยร่วมมีดังนี้  
ขั้นที่ 1 การตรวจสอบความเหมาะสม

การตรวจสอบความเหมาะสมของการนำการวิเคราะห์ปัจจัยไปสร้างปัจจัยร่วมหรือลดจำนวนตัวแปร  
ขั้นที่ 2 การสกัดปัจจัย

หลังจากที่ตรวจสอบว่าตัวแปรชุดนั้นเหมาะสมที่จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยแล้ว ขั้นต่อไป คือ การสกัดปัจจัย ซึ่งหมายถึง การสกัดหรือการนำความผันแปรของตัวแปรต่างๆ ไปไว้ในปัจจัยร่วม เพื่อให้ปัจจัยร่วมเป็นตัวแทนของตัวแปร

ขั้นที่ 3 การกำหนดจำนวนปัจจัยร่วมที่เหมาะสม

จากการสกัดปัจจัยเพื่อลดจำนวนตัวแปร และให้ปัจจัยร่วมเป็นตัวแทนของตัวแปร โดยที่ปัจจัยร่วมจะมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนตัวแปร สามารถทำได้หลายวิธี เช่น พิจารณาเฉพาะปัจจัยร่วมที่มีค่าไอเกนมากกว่า 1 การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation) ของตัวแปรที่ละคู่ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติมักจะพิจารณาจากหลายเกณฑ์ร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ขั้นที่ 4 การกำหนดความหมายของปัจจัยร่วม

จากขั้นที่ 3 เมื่อทราบจำนวนปัจจัยร่วม และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ หรือค่า Loading จากขั้นที่ 2 แล้ว ทำให้ทราบว่าตัวแปรใดที่มีส่วนร่วมในปัจจัยร่วมมาก จะให้ความหมายของปัจจัยร่วมเป็นความหมายของกลุ่มตัวแปรที่มีค่า Loading ในปัจจัยร่วมนั้นมาก

ในบางกรณีอาจจะมีค่า Loading ของบางตัวแปรมีค่าในทุกปัจจัยร่วม หรือบางตัวแปรอาจมีค่า Loading ปานกลางในทุกๆ ปัจจัยร่วม ทำให้ไม่สามารถจัดได้ชัดเจนว่าตัวแปรใดบ้างที่มีส่วนร่วมในปัจจัยร่วมแต่ละปัจจัย จะต้องมีการหมุนแกนในขั้นที่ 5

#### ขั้นที่ 5 การหมุนแกนปัจจัยร่วม

การหมุนแกนปัจจัยร่วมทำขึ้นเพื่อแก้ปัญหา กรณีที่เกิดความไม่ชัดเจนในการจัดตัวแปรของปัจจัยร่วม หรือในการให้ความหมายของปัจจัยร่วม การหมุนแกนมี 2 ประเภท คือ การหมุนแกนปัจจัยร่วมแบบตั้งฉากกัน และแบบเป็นมุมเฉียง

#### ขั้นที่ 6 การคำนวณค่าปัจจัยร่วม

จากขั้นที่ 5 เมื่อหมุนแกนแล้ว ทำให้สามารถจัดตัวแปร หรือ ให้ความหมายแก่ปัจจัยร่วมแต่ละปัจจัยได้ ทำให้ปัจจัยร่วมที่ได้เป็นเสมือนตัวแปรที่สร้างขึ้นใหม่ จึงคำนวณค่าตัวแปรใหม่เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์เทคนิคอื่นๆต่อไป

ค่าของปัจจัยร่วมเรียกว่า คะแนนปัจจัย (Factor Score) โดยแทนค่าตัวแปรลงในสมการ

$$\hat{F} = X B$$

(n×m) (n×p) (p×m)

$$\text{หรือ } F_{ij} = b_1 X_{i1} + b_2 X_{i2} + \dots + b_p X_{ip} ; i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m \quad (3.10)$$

โดยที่  $F$  คือ คะแนนปัจจัย  $b$  คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และ  $X$  คือ ปัจจัย

#### 3.2.2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกแบบไบนารี

สำหรับขั้นตอนของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกแบบไบนารี จะคล้ายกับของการวิเคราะห์การถดถอยแบบปกติ โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 เลือกตัวแปรอิสระที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม) โอกาสที่เหตุการณ์จะเกิด( โดยที่ตัวแปรอิสระอาจมีมากกว่า 1 ตัวก็ได้

ขั้นที่ 2 ตรวจสอบค่าที่ผิดปกติของตัวแปรอิสระแต่ละตัว

ขั้นที่ 3 สร้างสมการ Logistic Response Function แล้วตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมของสมการ โดยพิจารณาจากค่า Pseudo R<sup>2</sup>) การวิเคราะห์การถดถอยแบบปกติ พิจารณาจากค่า R<sup>2</sup> (และค่า Wald Statistics

ขั้นที่ 4 ตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก

ขั้นที่ 5 ถ้าวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์กรณี (Case) ใหม่ว่าจะเกิดเหตุการณ์ที่สนใจหรือไม่ จะใช้สมการที่ 3.11 ดังนี้

$$P(\text{defect}) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p}} \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพยากรณ์ หรือ ประมาณค่าความน่าจะเป็น ที่จะเกิดเหตุการณ์ ของ Case นั้น เมื่อทราบค่าตัวแปรอิสระ  $X$ 's ถ้า

$P(\text{defect} < 0.5)$  จะได้  $Y = 0$  หรือ ไม่เกิดเหตุการณ์

$P(\text{defect} \geq 0.5)$  จะได้  $Y = 1$  หรือเกิดเหตุการณ์

ค่า 0.5 เป็นค่าความน่าจะเป็นที่ใช้เป็น Cutting Score ที่ผู้วิเคราะห์อาจจะกำหนดค่า 0.7 หรือ 0.4 หรือค่าอื่นๆ แล้วแต่ผู้วิเคราะห์จะเห็นสมควรในแต่ละเรื่องที่จะนำการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกไปใช้ แต่โดยทั่วไป มักนิยมใช้ 0.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

บทนี้จะกล่าวถึงการนำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้พยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษเคลือบ โดยจะพิจารณาผลของการปรับเปลี่ยนจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนและจำนวนของชั้นซ่อนที่ใช้ในการปรับสอน และเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ด้วยวิธีดังกล่าวกับวิธีพยากรณ์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย โลจิสติก

#### 4.1 การพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษเคลือบโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

การพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษเคลือบโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ในปริภูมิตวินินพินธ์ฉบับนี้ จะศึกษาผลของจำนวนชั้นซ่อน จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน และชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนที่ใช้ว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมอย่างไร โดยทำการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม ให้มีจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนในจำนวนต่างๆกัน และปรับเปลี่ยนให้มีจำนวนชั้นซ่อนเป็น 1 ชั้น และ 2 ชั้น อีกทั้งยังได้ปรับชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน โดยได้ทำการทดสอบจำนวน 120 โครงสร้าง ซึ่งจากผลการเรียนรู้และการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมแต่ละโครงสร้างที่มีจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนแตกต่างกันนั้น สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 จากผลการดำเนินงานพบว่า ฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมสำหรับการนำไปพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษในปริภูมิตวินินพินธ์นี้ คือ การใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Log-Sigmoid ในชั้นซ่อน และใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Hard Limit ในชั้นตัวแปรด้านออก สำหรับจำนวนชั้นซ่อน และจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่เหมาะสมคือ โครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้น โดยมีจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นที่ 1 เท่ากับ 8 เซลล์ และเซลล์ประสาทชั้นที่ 2 เท่ากับ 5 เซลล์ โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องจากการฝึกสอนเท่ากับ 72.86 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องจากการทดสอบเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ และยังพบอีกว่า โครงข่ายประสาทเทียมที่มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการทดสอบที่มากที่สุด ไม่จำเป็นต้องมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องจากการฝึกสอนมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลจากการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมที่มี 1 ชั้นซ่อน

ลำดับที่	จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน	ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อน	ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นตัวแปรด้านออก	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง	
				การฝึกสอน	การทดสอบ
1	1	Log-sigmoid	Hard Limit	14.29	41.67
2	2	Log-sigmoid	Hard Limit	20.00	41.67
3	3	Log-sigmoid	Hard Limit	38.57	45.83
4	4	Log-sigmoid	Hard Limit	72.86	54.17
5	5	Log-sigmoid	Hard Limit	74.28	58.33
6	6	Log-sigmoid	Hard Limit	71.43	29.17
7	7	Log-sigmoid	Hard Limit	58.57	66.67
8	8	Log-sigmoid	Hard Limit	70.00	58.33
9	9	Log-sigmoid	Hard Limit	31.43	45.83
10	10	Log-sigmoid	Hard Limit	74.29	37.5
11	11	Log-sigmoid	Hard Limit	54.29	54.17
12	12	Log-sigmoid	Hard Limit	52.86	66.67
13	13	Log-sigmoid	Hard Limit	61.43	50.00
14	14	Log-sigmoid	Hard Limit	52.85	41.67
15	15	Log-sigmoid	Hard Limit	54.39	41.67
16	16	Log-sigmoid	Hard Limit	50.00	54.17
17	17	Log-sigmoid	Hard Limit	67.14	58.33
18	18	Log-sigmoid	Hard Limit	60.00	45.83
19	19	Log-sigmoid	Hard Limit	54.29	37.50
20	20	Log-sigmoid	Hard Limit	60.00	33.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลจากการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมที่มี 2 ชั้นซ่อน

ลำดับที่	จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่ 1	จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่ 2	ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อนที่ 1	ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อนที่ 2	ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นตัวแปรด้านออก	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง	
						ของการฝึกสอน	ของการทดสอบ
1	1	1	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	70.00	50.00
2	1	2	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	14.29	41.67
3	1	3	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	51.43	54.17
4	1	4	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	21.43	45.83
5	1	5	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	24.29	33.33
6	1	6	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	47.14	45.83
7	1	7	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	61.43	58.33
8	1	8	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	25.71	50.00
9	1	9	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	51.49	54.17
10	1	10	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	48.57	54.17
11	2	1	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	14.29	50.00
12	2	2	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	71.43	37.50
13	2	3	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	<b>82.26</b>	<b>58.33</b>
14	2	4	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	15.71	45.83
15	2	5	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	72.86	45.83
16	2	6	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	64.29	58.33
17	2	7	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	54.29	41.67
18	2	8	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	34.29	50.00
19	2	9	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	55.71	41.67
20	2	10	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	58.57	58.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลจากการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมที่มี 2 ชั้นซ่อน (ต่อ)

ลำดับที่	จำนวน เซลล์ ประสาทใน ชั้นซ่อนที่ 1	จำนวน เซลล์ ประสาทใน ชั้นซ่อนที่ 2	ชนิดของฟังก์ชัน ถ่ายโอนในชั้น ซ่อนที่ 1	ชนิดของฟังก์ชัน ถ่ายโอนในชั้น ซ่อนที่ 2	ชนิดของ ฟังก์ชันถ่าย โอนในชั้นตัว แปรด้านออก	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง	
						ของการ ฝึกสอน	ของการ ทดสอบ
21	3	1	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	14.29	41.67
22	3	2	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	30.00	41.67
23	3	3	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	61.43	37.50
24	3	4	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	72.86	33.33
25	3	5	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	71.43	37.50
26	3	6	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	58.57	54.17
27	3	7	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	65.71	37.50
28	3	8	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	68.57	58.33
29	3	9	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	74.29	33.33
30	3	10	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	68.57	41.67
31	4	1	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	14.29	50.00
32	4	2	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	37.14	58.33
33	4	3	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	47.14	37.50
34	4	4	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	61.43	50.00
35	4	5	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	81.43	58.33
36	4	6	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	78.57	62.50
37	4	7	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	64.29	58.33
38	4	8	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	75.71	54.17
39	4	9	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	58.57	50.00
40	4	10	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	70.00	58.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลจากการฝึกสอนและทดสอบ โครงข่ายประสาทเทียมที่มี 2 ชั้นซ่อน (ต่อ)

ลำดับที่	จำนวน เซลล์ ประสาทใน ชั้นซ่อนที่ 1	จำนวน เซลล์ ประสาทใน ชั้นซ่อนที่ 2	ชนิดของฟังก์ชัน ถ่ายโอนในชั้น ซ่อนที่ 1	ชนิดของฟังก์ชัน ถ่ายโอนในชั้นซ่อน ที่ 2	ชนิดของ ฟังก์ชันถ่าย โอนในชั้นตัว แปรค่านอก	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง	
						ของการ ฝึกสอน	ของการ ทดสอบ
41	5	1	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	15.71	41.67
42	5	2	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	41.67	54.17
43	5	3	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	54.17	50.00
44	5	4	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	68.57	58.33
45	5	5	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	70.00	50.00
46	5	6	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	78.57	62.50
47	5	7	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	<b>82.26</b>	<b>41.67</b>
48	5	8	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	65.71	41.67
49	5	9	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	41.67	54.17
50	5	10	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	58.57	37.50
51	6	1	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	14.29	58.33
52	6	2	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	35.71	50.00
53	6	3	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	51.29	45.83
54	6	4	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	74.29	50.00
55	6	5	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	67.14	37.50
56	6	6	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	61.43	41.67
57	6	7	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	80.00	54.17
58	6	8	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	57.14	62.50
59	6	9	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	64.29	45.83
60	6	10	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	71.43	41.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลจากการฝึกสอนและทดสอบ โครงข่ายประสาทเทียมที่มี 2 ชั้นซ่อน (ต่อ)

ลำดับที่	จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่ 1	จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่ 2	ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อนที่ 1	ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อนที่ 2	ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นตัวแปรด้านออก	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง	
						ของการฝึกสอน	ของการทดสอบ
61	7	1	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	14.49	54.17
62	7	2	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	35.71	70.83
63	7	3	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	71.43	54.17
64	7	4	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	67.14	45.83
65	7	5	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	38.57	45.83
66	7	6	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	60.00	58.33
67	7	7	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	75.71	29.17
68	7	8	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	68.57	41.67
69	7	9	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	70.00	37.50
70	7	10	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	57.14	58.33
71	8	1	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	17.14	54.17
72	8	2	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	37.14	54.17
73	8	3	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	64.29	41.67
74	8	4	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	77.14	45.83
75	8	5	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	72.85	75.00
76	8	6	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	61.43	41.67
77	8	7	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	58.57	37.50
78	8	8	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	51.43	50.00
79	8	9	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	64.29	54.17
80	8	10	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	78.57	62.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลจากการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมที่มี 2 ชั้นซ่อน (ต่อ)

ลำดับที่	จำนวน เซลล์ ประสาทใน ชั้นซ่อนที่ 1	จำนวน เซลล์ ประสาทใน ชั้นซ่อนที่ 2	ชนิดของฟังก์ชัน ถ่ายโอนในชั้น ซ่อนที่ 1	ชนิดของฟังก์ชัน ถ่ายโอนในชั้น ซ่อนที่ 2	ชนิดของ ฟังก์ชันถ่าย โอนในชั้นตัว แปรด้านออก	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง	
						ของการ ฝึกสอน	ของการ ทดสอบ
81	9	1	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	14.29	45.83
82	9	2	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	37.14	66.67
83	9	3	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	66.67	58.33
84	9	4	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	74.29	45.83
85	9	5	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	54.17	41.67
86	9	6	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	61.43	62.50
87	9	7	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	58.57	41.67
88	9	8	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	51.43	25.00
89	9	9	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	64.29	41.67
90	9	10	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	58.57	45.83
91	10	1	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	15.71	50.00
92	10	2	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	28.57	45.83
93	10	3	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	58.57	45.83
94	10	4	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	77.14	45.83
95	10	5	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	33.33	37.50
96	10	6	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	<b>82.26</b>	<b>58.33</b>
97	10	7	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	74.29	62.50
98	10	8	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	64.29	58.33
99	10	9	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	78.57	62.50
100	10	10	Log-sigmoid	Log-sigmoid	Hard Limit	41.67	33.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษเคลือบที่ใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก

ในการวิจัยมีการใช้ตัวแปรอิสระ 8 ตัว ซึ่งได้เห็นความสำคัญของตัวแปรทั้งหมด ดังนั้น เนื่องจากตัวแปรอิสระมีหลายตัว จึงทำการจัดกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันให้เป็นตัวแปรใหม่ หรือ “ปัจจัย” ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) ต่อจากนั้นจะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ และนำสมการความถดถอยที่ได้ไปทำการพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกแบบไบนารี (Binary Logistic Regression) เนื่องจากตัวแปรตามที่ต้องการพยากรณ์เป็นตัวแปรเชิงกลุ่มที่มีค่าได้เพียง 2 ค่า คือ 0 (ไม่เกิดปัญหาเกลือค้ำ) กับ 1 (เกิดปัญหาเกลือค้ำ)

### 4.2.1 ผลจากการวิเคราะห์ปัจจัย

#### 4.2.1.1 การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเพื่อป้องกันปัญหา Multicorrelation คือ ปัจจัยมีความสัมพันธ์กันเองมากเกินไป (โดยค่า Correlation จะต้องอยู่ในช่วง 0.1 - 0.9) จากตารางที่ 4.3 จึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยทั้งหมดไม่มีความสัมพันธ์กันเอง (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2548)

ตารางที่ 4.3 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

Correlation	Zscore (Viscos E5)	Zscore (Solid E5)	Zscore (Temp E5)	Zscore (Viscos H)	Zscore (Solid H)	Zscore (Temp H)	Zscore (Chiller)	Zscore (Air Temp)
Zscore (Viscos E5)	1.000	0.359	0.157	0.226	0.036	0.270	-0.017	-0.006
Zscore (Solid E5)	0.359	1.000	0.116	0.298	0.176	0.188	-0.097	-0.111
Zscore (Temp E5)	0.157	0.116	1.000	0.272	0.032	0.707	0.097	-0.070
Zscore (Viscos H)	0.226	0.298	0.272	1.000	0.400	0.234	-0.140	-0.139
Zscore (Solid H)	0.036	0.176	0.032	0.400	1.000	0.023	-0.067	-0.187
Zscore (Temp H)	0.270	0.188	0.707	0.234	0.023	1.000	0.099	-0.169
Zscore (Chiller)	-0.017	-0.097	0.097	-0.140	-0.067	0.099	1.000	0.056
Zscore (Airtemp)	-0.006	-0.111	-0.070	-0.139	-0.187	-0.169	0.056	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2 การวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูล

การวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการวิเคราะห์ Factor Analysis หรือไม่ โดยพิจารณาจากค่า KMO ค่าที่ได้ คือ 0.598 ซึ่งมีค่าสูงกว่า 0.5 จึงมีความเหมาะสม ในการวิเคราะห์นี้ในส่วนของตัวแปร มีความสัมพันธ์กัน เพราะ Bartlett's Test of Sphericity มีค่าความน่าจะเป็น Significant (Sig.) < 0.001 ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าผลการทดสอบด้วยวิธี KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		0.598
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	92.484
	df	28
	Sig.	<0.001

4.2.1.3 การสกัดปัจจัย

การสกัดปัจจัยตามแนวทางของ Principal Component จะได้ปัจจัยทั้งสิ้น 3 ปัจจัย โดยพิจารณาจากปัจจัยที่มีค่า Eigenvalues ไม่ต่ำกว่า 1 มาใช้ ในส่วนของเปอร์เซ็นต์ Cumulative เป็นค่าที่แสดงว่า ถ้าใช้ 3 ปัจจัยจะสามารถอธิบายตัวแปรได้ประมาณ 60.287 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนตัวแปรทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผล Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	2.278	28.477	28.477	2.278	28.477	28.477	1.757	21.965	21.965
2	1.444	18.056	46.533	1.444	18.056	46.533	1.562	19.524	41.489
3	1.100	13.754	60.287	1.100	13.754	60.287	1.504	18.798	60.287
4	0.909	11.358	71.644	-	-	-	-	-	-
5	0.874	10.923	82.568	-	-	-	-	-	-
6	0.609	7.612	90.179	-	-	-	-	-	-
7	0.516	6.448	96.627	-	-	-	-	-	-
8	0.270	3.373	100.000	-	-	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1.4 การหมุนแกนปัจจัย

การหมุนแกนปัจจัยเพื่อแยกตัวแปรให้เห็นเด่นชัดว่าควรจัดอยู่ในปัจจัยใดจึงได้ทำการหมุนแกนปัจจัยแบบ Varimax ได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผล Rotated Component Matrix (a)

	Component		
	1	2	3
Zscore(Temp H)	0.869	0.217	0.123
Zscore(Temp E5)	0.868	0.129	0.128
Zscore(Chiller)	0.398	-0.284	-0.254
Zscore(Viscos E5)	0.177	0.790	-0.134
Zscore(Solid E5)	0.019	0.751	0.180
Zscore(Solid H)	-0.105	0.116	0.767
Zscore(Air Temp)	-0.151	0.147	0.634
Zscore(Viscos H)	0.156	0.441	0.606

ค่าในตาราง 4.6 เป็นค่า Factor Loading เมื่อมีการหมุนแกนปัจจัยโดยวิธี Varimax จะพบว่า ค่า Factor Loading ของบางตัวแปรมีค่ามากเมื่อเทียบกับของตัวแปรอื่นๆ ซึ่งสามารถจัดกลุ่มได้ดังนี้

ตัวแปรที่ควรอยู่ในปัจจัยที่ 1 คือ Temp H, Temp E5, Chiller

ตัวแปรที่ควรอยู่ในปัจจัยที่ 2 คือ Viscos E5, Solid E5

ตัวแปรที่ควรอยู่ในปัจจัยที่ 3 คือ Solid H, Airtemp, Viscos H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผล Component Score Coefficient Matrix

	Component		
	1	2	3
Zscore(Viscos E5)	0.008	0.568	-0.244
Zscore(Solid E5)	-0.097	0.505	-0.004
Zscore(Temp E5)	0.501	-0.045	0.029
Zscore(Viscos H)	0.007	0.189	0.351
Zscore(Solid H)	-0.115	-0.038	0.536
Zscore(Temp H)	0.489	0.019	0.010
Zscore(Chiller)	-0.290	-0.212	-0.151
Zscore(Air Temp)	-0.081	0.237	-0.475

#### 4.2.1.5 การหาค่า Factor Score

การหาค่า Factor Score จะพิจารณาจากตารางที่ 4.7 ซึ่งได้ค่าดังนี้

$$\begin{aligned} \text{FAC 1} = & 0.008\text{Zscore(Visos E5)} - 0.097 \text{Zscore(Solid E5)} + 0.501\text{Zscore(Temp E5)} \\ & + 0.007\text{Zscore(Viscos H)} - 0.115\text{Zscore(Solid H)} + 0.489\text{Zscore(Temp H)} \\ & + 0.290\text{Zscore(Chiller)} - 0.081\text{Zscore(Air Temp)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FAC 2} = & 0.568\text{Zscore(Visos E5)} + 0.505\text{Zscore(Solid E5)} - 0.045\text{Zscore(Temp E5)} \\ & + 0.189\text{Zscore(Viscos H)} - 0.038 \text{Zscore(Solid H)} + 0.019\text{Zscore(Temp H)} \\ & - 0.212\text{Zscore(Chiller)} + 0.237\text{Zscore(Air Temp)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FAC 3} = & - 0.244\text{Zscore(Visos E5)} - 0.004 \text{Zscore(Solid E5)} + 0.029\text{Zscore(Temp E5)} \\ & + 0.351\text{Zscore(Viscos H)} + 0.536\text{Zscore(Solid H)} + 0.010\text{Zscore(Temp H)} \\ & - 0.151\text{Zscore(Chiller)} - 0.475\text{Zscore(Air Temp)} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 ผลจากการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกแบบไบนารี

##### 4.2.2.1 การพิจารณาค่า Nagelkerke R Square

จากผลดังตารางที่ 4.8 เมื่อพิจารณาจากค่า Nagelkerke R Square ซึ่งเป็นค่าที่บอกสัดส่วน หรือเปอร์เซ็นต์ที่สามารถอธิบายความผันแปรในสมการโลจิสติก (Logistic Regression Model) โดยมีค่าเท่ากับ 0.133 จึงกล่าวได้ว่า 13.3 เปอร์เซ็นต์ ของความผันแปรอธิบายได้โดยสมการโลจิสติก

ตารางที่ 4.8 ค่า Model Summary

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	51.984	0.075	0.133

##### 4.2.2.2 การพิจารณาความเหมาะสมของสมการ

จากผลดังตารางที่ 4.9 ค่าสถิติทดสอบ Chi-square มีค่าเท่ากับ 10.326 และค่า Significance มีค่าเท่ากับ 0.243 จึงสรุปได้ว่า สมการมีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการพยากรณ์ครั้งนี้

ตารางที่ 4.9 ค่า Hosmer and Lemeshow Test

Step	Chi-square	df	Sig.
1	10.326	8	0.243

##### 4.2.2.3 การตรวจสอบความเชื่อถือได้ของสมการ

จากตารางที่ 4.10 จะแสดงผลการตรวจสอบความเชื่อถือได้ของสมการ คือ เมื่อใช้สมการพยากรณ์ข้อมูลสำหรับการดำเนินการ จะสามารถพยากรณ์ว่าไม่เกิดปัญหาเกล็ดน้ำยาได้ถูกต้องถึง 98.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปใช้พยากรณ์การเกิดปัญหาเกล็ดน้ำยาจะพยากรณ์ได้ 0 เปอร์เซ็นต์ (เนื่องจากข้อมูลที่เกิดปัญหาเกล็ดน้ำยามีน้อยเกินไป จึงทำให้ความสามารถในการพยากรณ์การเกิดปัญหาเกล็ดน้ำยาค่า) และเปอร์เซ็นต์รวมของการพยากรณ์ถูกต้อง คือ 84.3 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ค่า Classification Table

Observed			Predicted		
			Case		Percentage Correct
			Don't have defect	Have defect	
Step 1	Case	Don't have defect	59	1	98.3
		Have defect	10	0	0
	Overall Percentage				84.3

4.2.2.4 การสร้างสมการเพื่อใช้พยากรณ์

ตารางที่ 4.11 ค่า Variables in the Equation

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1	FAC1	-0.175	0.369	0.224	1	0.636	0.840
	-FAC2	0.777	0.360	4.648	1	0.031	2.175
	FAC3	0.008	0.378	0.000	1	0.983	1.008
	Constant	-2.001	0.398	25.299	1	0.000	0.135

จากตารางที่ 4.11 จะนำค่า B (สัมประสิทธิ์โลจิสติก) มาสร้างเป็นสมการเพื่อที่จะใช้พยากรณ์การเกิดปัญหาเก็คติน้ำยา โดยสมการเป็นดังนี้

$$P(\text{defect}) = \frac{1}{1 + e^{-(0.777FAC2 - 2.001)}} \quad (4.1)$$

ในการนำสมการไปใช้พยากรณ์การเกิดปัญหาเก็คติน้ำยาเมื่อทราบค่าปัจจัยต่าง ๆ จะพิจารณาจากผลลัพธ์ที่ออกมาดังนี้

$p(\text{defect}) < 0.5$  จะแปรผลลัพธ์ออกมา คือ ไม่เกิดปัญหาเก็คติน้ำยา

$p(\text{defect}) \geq 0.5$  จะแปรผลลัพธ์ออกมา คือ เกิดปัญหาเก็คติน้ำยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่ได้จากข้อมูลทดสอบ คือ 58.33 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาจากค่า Significant พบว่า FAC2 มีค่า Significant = 0.031 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ดังนั้น FAC2 จึงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาเกล็ดน้ำยามากที่สุด ซึ่งปัจจัย FAC2 ประกอบด้วย ความหนืดของน้ำยาที่ถึงพัก (Viscos E5) และ เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถึงพัก (Solid E5)

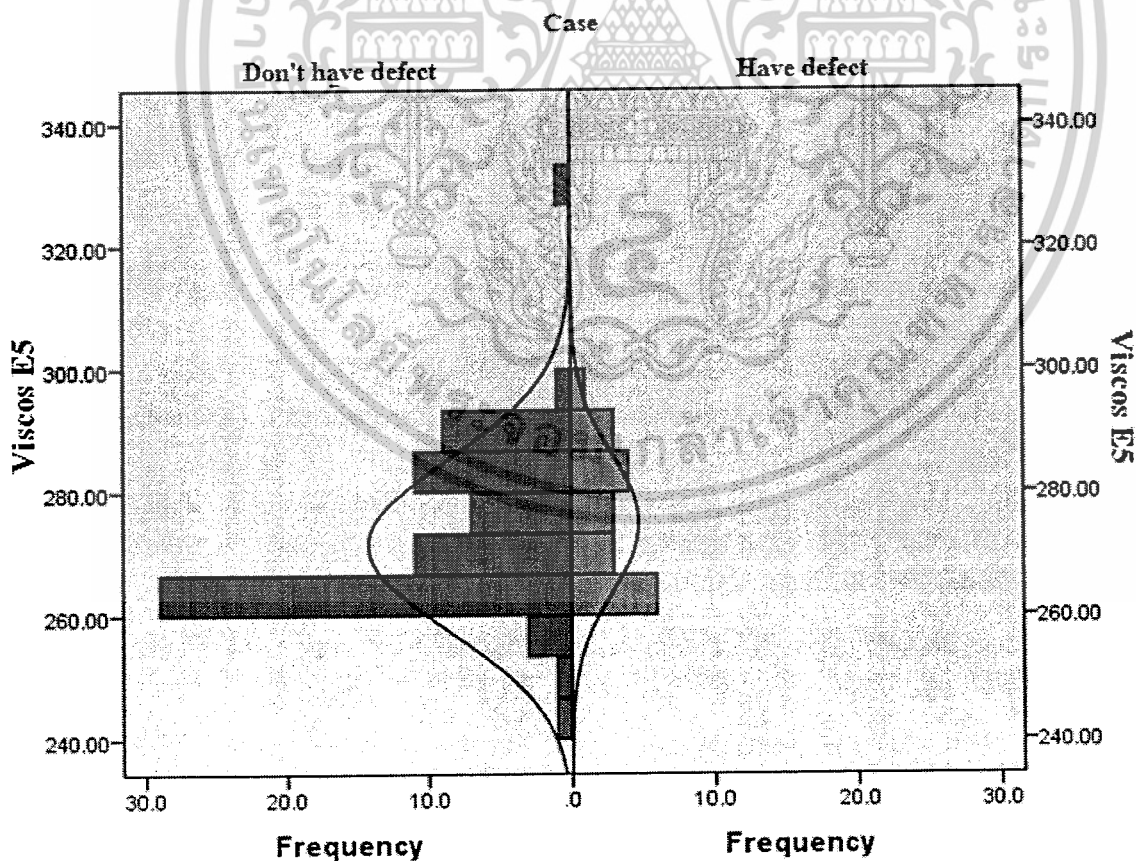
### 4.3 การพิจารณาค่าควบคุม

#### 4.3.1 การพิจารณาค่าควบคุมโดยใช้ข้อมูลทั้งหมด

การพิจารณาค่าควบคุมจากข้อมูลทั้งหมดจึงทำการพล็อตกราฟโดยแยกข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เกิดปัญหาเกล็ดน้ำยาและส่วนที่ไม่เกิดปัญหาเกล็ดน้ำยาแล้วทำการวิเคราะห์เพื่อทำการหาค่าควบคุมที่เหมาะสม ดังนี้

##### 4.3.1.1 ค่าความหนืดของน้ำยาที่ถึงพัก

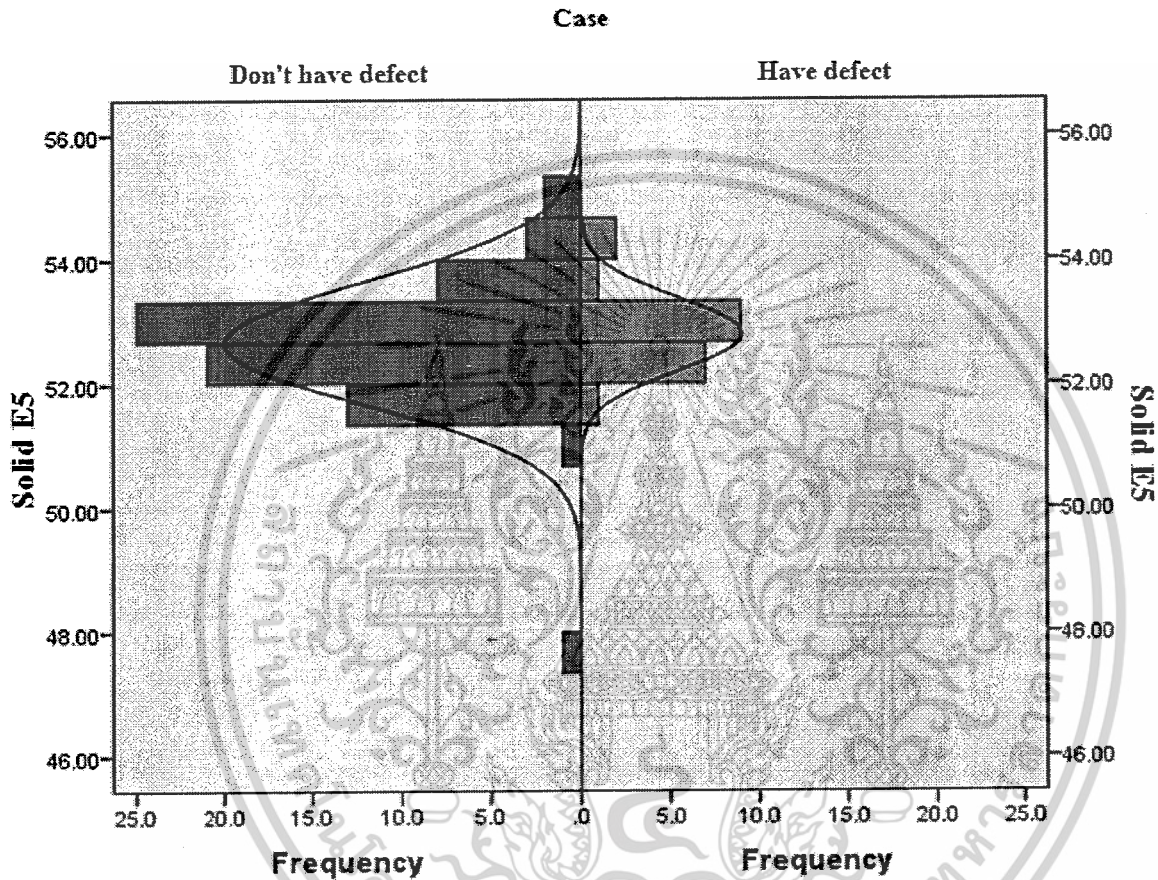
จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าในส่วนข้อมูลที่ไม่เกิดปัญหาเกล็ดน้ำยาจะมีการกระจายตัวมากอยู่ที่ค่าความหนืดของน้ำยาที่ถึงพัก ตั้งแต่ 260 – 270 Cps. ดังนั้นจึงควรควบคุมค่าความหนืดของน้ำยาที่ถึงพักให้อยู่ในช่วง 260 – 270 Cps. เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาเกล็ดน้ำยาบนกระดาดูเพล็กซ์



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวระหว่างค่าความหนืดของน้ำยาที่ถึงพักกับผลของการเกิดตำหนิ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.1.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถึงพัก

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าในส่วนของข้อมูลที่ไม่เกิดปัญหาเคลือบน้ำยาจะมีการกระจายตัวมากกว่าที่ค่าเปอร์เซ็นต์ ตั้งแต่ 52.5-53.5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงควรควบคุมค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถึงพัก ให้อยู่ในช่วง 52.5-53.5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาเคลือบน้ำยาบนกระชากดูเพิลท์ซ์



รูปที่ 4.2 การกระจายตัวระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถึงพักกับผลของการเกิดตำหนิ

#### 4.3.2 การพิจารณาค่าควบคุมโดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม

การตรวจสอบค่าควบคุมของค่าความหนืดของน้ำยาที่ถึงพักและค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถึงพัก โดยให้ปัจจัยอื่นคงที่ที่ค่าเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 4.12 และ 4.13 ซึ่งพบว่าค่าควบคุมที่ได้จากการตรวจสอบค่าความหนืดของน้ำยาที่ถึงพัก อยู่ระหว่าง 244 -275 Cps. และค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถึงพัก อยู่ระหว่าง 52.08 – 54.05 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการพิจารณาค่าควบคุม โดยใช้ข้อมูลทั้งหมดกับข้อมูลการพิจารณาค่าควบคุมโดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม พบว่าช่วงของค่าความหนืดของน้ำยาที่ถึงพัก และค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถึงพักอยู่ในช่วงเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าถ้าควบคุมค่าความหนืดของน้ำยาที่ถึงพักให้อยู่ในช่วง 260 - 270 Cps. และควบคุมค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถึงพักให้อยู่ในช่วง 52.5 - 53.5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ไม่เกิดปัญหาเกล็ดน้ำยานบนกระดาษเคลือบ

ตารางที่ 4.12 ค่าไม่ควบคุมของค่าความหนืดของน้ำยาที่ถึงพัก

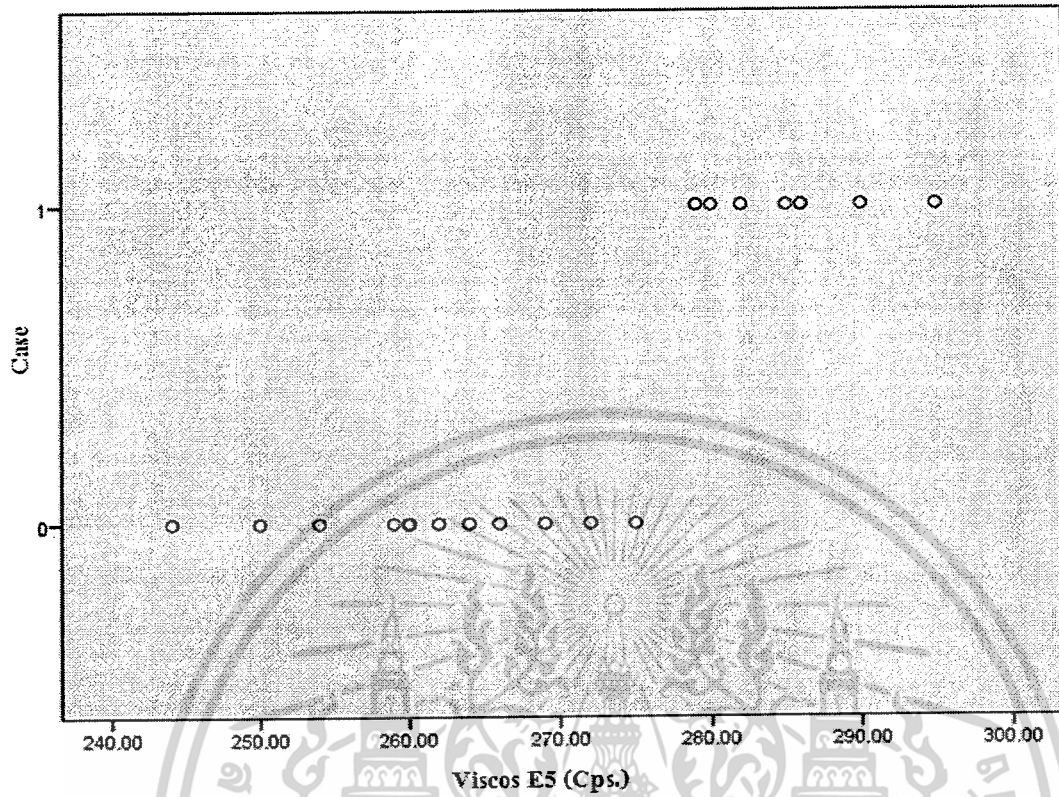
ค่าไม่ควบคุมของค่าความหนืดของน้ำยาที่ถึงพัก (Cps.)	ค่าพยากรณ์
244	0
260	0
286	1
279	1
272	0
250	0
275	0
285	1
286	1
260	0
254	0
282	1
279	1
259	0
290	1
280	1
266	0
260	0
260	0
264	0
260	0
295	1
262	0
269	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

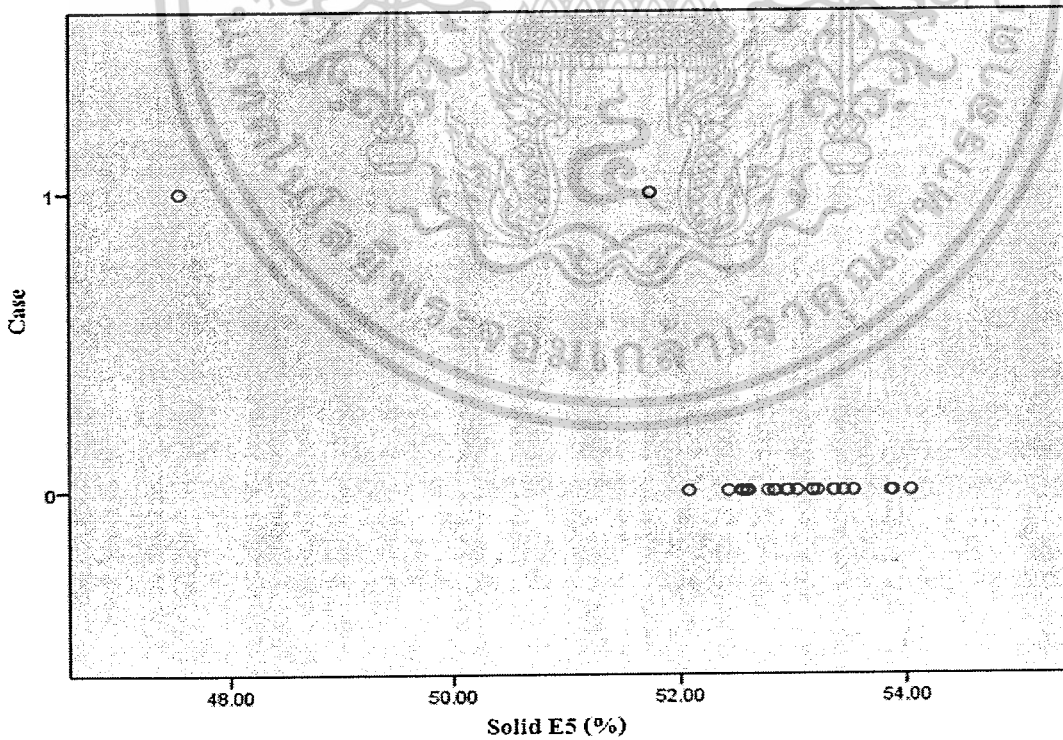
ตารางที่ 4.13 ค่าไม่ควบคุมของค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถึงพัก

ค่าไม่ควบคุมของค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถึงพัก (%)	ค่าพยากรณ์
47.54	1
52.56	0
53.87	0
53.89	0
53.37	0
53.18	0
53.22	0
53.36	0
53.17	0
52.43	0
52.61	0
53.45	0
53.04	0
52.96	0
52.94	0
52.85	0
51.75	1
54.05	0
52.54	0
52.83	0
52.08	0
53.54	0
52.78	0
52.59	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ค่าไม่ควบคุมของค่าความหนืดของน้ำยาที่ถึงพักกับผลของการเกิดตำหนิ



รูปที่ 4.4 ค่าไม่ควบคุมของค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถึงพักกับผลของการเกิดตำหนิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 เปรียบเทียบผลการพยากรณ์ของการเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก

ผลการพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษดูเพล็กซ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม และการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.14 ซึ่งจากตารางพบว่าวิธีการพยากรณ์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก ที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเท่ากับ 58.33 เปอร์เซ็นต์ จึงสรุปได้ว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษได้ดีกว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก

ตารางที่ 4.14 ค่าที่ได้จากการพยากรณ์และค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก

ลำดับที่	ค่าจริง	ค่าพยากรณ์	
		โครงข่ายประสาทเทียม	การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	1	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	1	0
12	0	1	0
13	0	0	0
14	0	0	0
15	1	1	0
16	1	1	0
17	1	0	0
18	1	1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ค่าที่ได้จากการพยากรณ์และค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (ต่อ)

ลำดับที่	ค่าจริง	ค่าพยากรณ์	
		โครงข่ายประสาทเทียม	การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก
19	1	1	0
20	1	1	0
21	1	0	0
22	1	1	0
23	1	1	0
24	1	0	0
ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง		75%	58.33%

#### 4.5 วิจารณ์ผลการทดลอง

- สาเหตุที่ทำให้ค่า Nagelkerke R Square ของสมการที่คำนวณได้มีค่าต่ำ เนื่องจากยังมีตัวแปรอิสระหรือปัจจัยที่มีอิทธิพลไม่ได้ถูกรวมอยู่ในสมการ และเมื่อนำข้อมูลไปทำการเปลี่ยนรูปแบบ ดังแสดงในตาราง 4.15 พบว่าค่า Nagelkerke R Square มีค่าไม่เพิ่มขึ้น จึงสรุปได้ว่า การแปลงข้อมูลของตัวแปรอิสระไม่สามารถทำให้ค่า Nagelkerke R Square เพิ่มขึ้นได้ โดยทั่วไปแล้วจะทำการแปลงข้อมูลของตัวแปรให้อยู่ในรูปแบบการกระจายตัวที่เหมาะสม แต่ในกรณีนี้ไม่สามารถแปลงข้อมูลได้ เนื่องจากตัวแปรตามจะมีค่าได้เพียงสองค่าเท่านั้น คือ 0 และ 1 จึง ควรเก็บข้อมูลตัวแปรตามให้อยู่ในรูปของจำนวนจุดต่อพื้นที่ เพื่อที่จะทำให้สามารถแปลงข้อมูลได้หลากหลายรูปแบบขึ้นและทำการวิเคราะห์โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ
- การพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมให้ความแม่นยำสูงกว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก แต่ไม่สามารถบอกปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบรูปแบบของข้อมูลและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

Case	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
log	0.204	0.364
relog	0.220	0.393
re	0.220	0.393
root	0.219	0.392
log1,2/re3,4/relog5,6/root7,8	0.215	0.385
log1,2/re3,4/root5,6/ relog7,8	0.215	0.384
log1,2/root3,4,6og 7,8	0.222	0.397
log1,2/relog3,4/re5,6/root7,8	0.219	0.391
log1,2/relog3,4/root5,6/re7,8	0.218	0.390
log1,2/root3,4/relog5,6/re7,8	0.222	0.397
root1,2,3,4/re5,6,7,8	0.220	0.394
root1,2,3,4/relog5,6,7,8	0.220	0.393
root1,2,3,4/log5,6,7,8	0.220	0.393
re1,2,3,4/root5,6,7,8	0.219	0.392
re1,2,3,4/relog5,6,7,8	0.220	0.392
re1,2,3,4/log5,6,7,8	0.220	0.392
relog1,2,3,4/root5,6,7,8	0.219	0.392
relog1,2,3,4/re5,6,7,8	0.220	0.393
relog1,2,3,4/log5,6,7,8	0.220	0.393
log1,2,3,4/root5,6,7,8	0.219	0.392
log1,2,3,4/re5,6,7,8	0.220	0.393
log1,2,3,4/relog5,6,7,8	0.220	0.393

โดยที่ re คือ ส่วนกลับของข้อมูล ( $\frac{1}{x}$ ), relog คือ ส่วนกลับของ  $\log(\frac{1}{\log x})$ , root คือ รากที่สองของข้อมูล ( $\sqrt{x}$ )

และ log คือ  $\log x$

1 คือ Viscos E5, 2 คือ Solid E5, 3 คือ Temp E5, 4 คือ Viscos H, 5 คือ Solid H, 6 คือ Temp H, 7 คือ Chiller

และ 8 คือ Airtemp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ศึกษาการพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษเคลือบผิว โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก และเปรียบเทียบผลของการพยากรณ์ทั้งสองวิธีในรูปของค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง โดยปัจจัยที่ใช้การพยากรณ์ ได้แก่ ความหนืดของน้ำยาที่ถึงพัก (Viscos E5) เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถึงพัก (Solid E5) อุณหภูมิที่ถึงพัก (Temp E5) ความหนืดของน้ำยาเคลือบที่กระบะหัวเคลือบ (Viscos H) เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่กระบะหัวเคลือบ (Solid H) อุณหภูมิที่กระบะหัวเคลือบ (Temp H) ตัวลดอุณหภูมิ (Chiller) อุณหภูมิอากาศ (Air Temp)

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์ออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรก คือ ชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับการฝึกสอนในโครงข่ายประสาทเทียม และการดำเนินการของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก จำนวน 70 ข้อมูล กลุ่มที่สอง คือ ชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับการทดสอบ จำนวน 24 ข้อมูล ซึ่งจากการพยากรณ์ทั้งสองวิธีสามารถสรุปได้ดังนี้

#### 5.1.1 การพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษเคลือบผิวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

การพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษเคลือบผิวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ในปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้ ได้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า และใช้กฎการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับของ Levenberg-Marquardt Algorithm ในโปรแกรม MATLAB R2007a ซึ่งจากการศึกษาผลของจำนวนชั้นซ่อน จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนและชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนที่มีผลต่อการฝึกสอนและการพยากรณ์ พบว่า โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม คือ โครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้น โดยมีจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นที่ 1 เท่ากับ 8 เซลล์ และเซลล์ประสาทชั้นที่ 2 เท่ากับ 5 เซลล์ ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Log-Sigmoid ในชั้นซ่อน และใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Hard Limit ในชั้นตัวแปรด้านออก จากผลการพยากรณ์ โดยใช้โครงสร้างดังกล่าว ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงที่สุด

#### 5.1.2 การพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษเคลือบผิวโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก

จากการใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกในโปรแกรม SPSS 16.0 For Windows เพื่อใช้พยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษเคลือบผิว พบว่า จากผลการพยากรณ์ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเท่ากับ 58.33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการใช้โครงข่ายประสาทเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง แสดงให้เห็นว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์การเกิดตำหนิในการผลิตกระดาษได้ดีกว่าการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก และปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาเกล็ดน้ำยาามากที่สุด คือ ความหนืดของน้ำยาที่ถึงพัก (Viscos E5) เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถึงพัก (Solid E5) โดยควรควบคุมค่าความหนืดของน้ำยาที่ถึงพัก ให้อยู่ในช่วง 260 – 270 Cps. และค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบที่ถึงพักให้อยู่ในช่วง 52.5-53.5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาเกล็ดน้ำยาบนกระดาษดูเพล็กซ์

## 5.2 สิ่งที่ควรพัฒนาต่อไป

1. ควรตรวจสอบปัจจัยอื่นๆ ในกระบวนการผลิต (ตัวแปรอิสระ) ที่อาจจะมีอิทธิพลต่อผลการพยากรณ์การเกิดตำหนิ (ตัวแปรตาม) เช่น ผู้คนละออง น้ำหล่อเย็น เป็นต้น
2. ควรทำการเปลี่ยนรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลของตัวแปรตาม เช่น การเกิดรอยตำหนิเป็นจำนวนจุดต่อพื้นที่ โดยข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปของจำนวนจริง ซึ่งการจัดเก็บรูปแบบนี้จะสามารถนำค่าของตัวแปรตามไปปรับรูปแบบของข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบต่างๆ ได้ โดยไม่เกิดปัญหาข้อจำกัด จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple Linear Regression) ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

- สมภพ จรุงธรรมโชติ , 2546. การทำนายการกระจายอุณหภูมิบนชิ้นงานเนื่องจากการนำความร้อน โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ภัทรพร เพชรสังคุณ , ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล , เมษาศิณี กลิ่นมาลัย, 2550. การทำนายรูปร่างโดยใช้ โครงข่ายประสาทเทียม และการวิเคราะห์ถดถอยเชิงพหุ. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อัมรินทร์ สรวณีย์ , 2548. การทำนายความชอบของเบียร์โดยใช้แบบจำลองความถดถอย และ แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อนันต์ วิริยะกิจชัย , 2549. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม สำหรับการพยากรณ์ค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมก่อสร้างและการจัดการ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- จักรชัย สานคิสุรัตน์ , 2548. การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบผลิตกำลังไฟฟ้า โดยการ ใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ภูริสัมพันธ์ ลักขษร , 2548. การทำนายการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Hong Tae Kang and Jung Me Park, 2006. Predict of fatigue life for spot welds using back-propagation neural networks. Materials & Design. Vol. 28. pp. 2577-2584.
- รศ.ดร.กัลยา วานิชย์บัญชา , การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล . พิมพ์ครั้งที่ 7, พ.ศ. 2548, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- รศ.ดร.กัลยา วานิชย์บัญชา , การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS . พิมพ์ครั้งที่ 5, พ.ศ. 2549, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- รศ.ดร.กัลยา วานิชย์บัญชา , สถิติสำหรับงานวิจัย .พิมพ์ครั้งที่ 1, พ.ศ. 2548, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- รศ.ดร.ดำรงค์ ทิพย์โยธา , การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS for Window Version 12”,พิมพ์ครั้งที่ 2, พ.ศ. 2548, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- รศ.ดร.ผกาดี ศิริรังษี , การวิเคราะห์ข้อมูล DATA ANALYSIS การประยุกต์วิธีการทางสถิติในงานวิจัย . พิมพ์ครั้งที่ 1, พ.ศ. 2549, ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

- คณาจารย์ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หลักสถิติ . พิมพ์ครั้งที่ 2, พ.ศ. 2548, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- Thai Paper Company Limited. 2006. <http://www.thaipaper.com/facilities.asp?smnu=fac&mnu=about>

