การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม ในการออกแบบเงื่อนไขที่เหมาะสม

APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TO DESIGN SUITABLE CONDITIONS

นางสาวธนพร คลังเพ็ชร

MISS TANAPORN KLANGPETCH

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม ในการออกแบบเงื่อนไขที่เหมาะสม

APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TO DESIGN SUITABLE CONDITIONS

นางสาวธนพร คลังเพ็ชร
MISS TANAPORN KLANGPETCH

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TO DESIGN SUITABLE CONDITIONS

MISS TANAPORN KLANGPETCH

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 2014

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการออกแบบเงื่อนไขที่เหมาะสม APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TO DESIGN SUITABLE CONDITIONS
นักศึกษา	นางสาวธนพร คลังเพ็ชร รหัสประจำตัว 54010546
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(รศ.ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล)

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการออกแบบเงื่อนไขที่เหมาะสม
นักศึกษา	นางสาวธนพร คลังเพ็ชร
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	รศ.ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล

บทคัดย่อ

โครงงานปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมในการออกแบบเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัย โดยอาศัยกรณีศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระดาษ ซึ่งได้นำหลักการและทฤษฎีของโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ โดยโครงข่ายประสาทเทียมนี้มีข้อมูลป้อนเข้า 5 ตัวแปร และมีผลลัพธ์ 1 ตัวแปร มีชุดข้อมูลทั้งหมด 96 ชุด ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบ 2^5 Full Factorial จากนั้นทำการออกแบบรูปแบบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหาจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่มีความแตกต่างกันทั้ง 7 รูปแบบ ที่ทำให้ได้โครงข่ายที่มีค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ซึ่งรูปแบบการเรียนรู้ของโครงข่ายจะใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ ร่วมกับวิธีการฝึกสอนโครงข่ายแบบเลเวนเบิร์ก-มาร์ควอร์ท เพื่อปรับค่าน้ำหนักของโครงข่ายและรูปแบบการถ่ายโอนในชั้นซ่อนแบบแทน-ซิกมอยด์ จากการทดสอบรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมพบว่าจำนวนนิวรอนที่เหมาะสมในชั้นรับข้อมูลเท่ากับ 5 นิวรอน ในชั้นซ่อนเท่ากับ 10 นิวรอน และในชั้นแสดงผลเท่ากับ 1 นิวรอน (5-10-1) ตามลำดับ จากนั้นเลือกใช้ค่าปัจจัยที่ทำให้เวลาการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์มีค่า 2.90 วินาที ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้เท่ากับ 5% และจากการทดลองโดยใช้เงื่อนไขของปัจจัยที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมพบว่าเวลาเฉลี่ยในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์เท่ากับ 2.85 วินาที คิดเป็นค่าความผิดพลาดได้เท่ากับ 1.72% จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมได้

Thesis Title	Application of Artificial Neural Network to Design Suitable Conditions
Student	Miss Tanaporn Klangpetch
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2014
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Tossapol Kiatcharoenpol

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to apply artificial neural network (ANN) for designing suitable conditions based on a case study of paper helicopter and use the theory of ANN to modeling. This ANN has five inputs and one output for proposing neural network architecture. The data is obtained from 2^5 Full Factorial Design which consists of 96 runs. ANN architecture is varied from 7 designs to find number of neurons in the hidden layer that yield the minimization of prediction error. This ANN is based on Feed Forward Backpropagation neural network. Levenberg-Marquardt training algorithm is applied to train the design network for optimum weight and Tan-sigmoid is used as the transfer function in the hidden layer. The results of neural network architecture is five neurons in input layer, ten neurons in hidden layer and one neuron in output layer (5-10-1). In addition, the trained ANN model is used to provide the target landing time of the paper helicopter, which is 2.90 seconds and the tolerance is 5%. The experimental average of landing time from the ANN model is 2.85 seconds that is 1.72% error. The results show artificial neural network can be applied to design suitable conditions.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลทุกคนที่มีส่วนร่วมและเกี่ยวข้อง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ

รศ.ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือในการทำงานตลอดการศึกษา

ผศ.ดร.วิภู ศรีสืบสาย ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คำแนะนำ ความเอาใจใส่ตลอดการศึกษา

รศ.ดร.ฤดี มาสุจันท์ และดร.กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข สำหรับคำแนะนำ ความเอาใจใส่และความช่วยเหลือในทุกๆด้าน รวมถึงอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่าน สำหรับคำแนะนำที่เป็นประโยชน์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจที่ดี และเป็นแรงสนับสนุนตลอดมา ขอบคุณเพื่อนทุกคนสำหรับความช่วยเหลือจนทำให้ปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วง และคอยเป็นกำลังใจที่ดีทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวธนพร คลังเพ็ชร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 กรอบแนวคิดงานวิจัย 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) 3

2.1.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง 4

2.1.2 ส่วนประกอบของการทดลอง 5

2.1.3 หลักการพื้นฐาน 3 ประการ สำหรับการออกแบบการทดลอง 6

2.2 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) 7

2.2.1 โครงข่ายประสาททางชีววิทยา 7

2.2.2 โครงข่ายประสาทเทียม 8

2.2.3 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม 9

2.2.4 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น 10

2.2.5 แบบจำลองนิวรอนแบบหลายอินพุท 11

2.2.6 ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบ Tan-Sigmoid 12

2.2.7 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 13

2.2.8 การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม 15

หน้า

2.2.9 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาท 15
2.3 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม 17
2.3.1 จำนวนชั้นและจำนวนนิวรอน 18
2.3.2 ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบ TANSIG 19
2.3.3 รูปแบบการเรียนรู้แบบ Feed-Forward Backpropagation 19
2.3.4 รูปแบบการฝึกสอนแบบ Levenberg-Marquardt 19
2.3.5 จำนวนชุดข้อมูลที่นำไปใช้ในการสร้างและทดสอบโครงข่าย 19

บทที่ 3 **ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย**

3.1 การเตรียมชุดข้อมูลสำหรับการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม 22
3.1.1 การกำหนดกรณีศึกษา 22
3.1.2 การออกแบบการทดลองโดยวิธี 2^k Full Factorial Design 23
3.1.3 บันทึกผลการทดลอง 23
3.2 ขั้นตอนการฝึกสอนโครงข่าย 24
3.2.1 จำนวนชั้นและจำนวนนิวรอน 25
3.2.2 ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบ TANSIG 26
3.2.3 รูปแบบการเรียนรู้แบบ Feed-Forward Backpropagation 26
3.2.4 รูปแบบการฝึกสอนแบบ Levenberg-Marquardt 26
3.2.5 จำนวนชุดข้อมูลที่นำไปใช้ในการสร้างและทดสอบโครงข่าย 26
3.3 การทดสอบโครงข่ายด้วยชุดข้อมูลใหม่ 27
3.4 การกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัย 28
3.5 ทดลองเพื่อยืนยันผล 29

บทที่ 4 **ผลการทดลอง**

4.1 ผลการออกแบบการทดลองโดย 2^k Full Factorial Design 30
4.2 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม 34
4.2.1 จำนวนชั้นและจำนวนนิวรอน 34
4.2.2 ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบ TANSIG 35

หน้า

4.2.3 รูปแบบการเรียนรู้แบบ Feed-Forward Backpropagation 35
4.2.4 รูปแบบการฝึกสอนแบบ Levenberg-Marquardt 35
4.2.5 จำนวนชุดข้อมูลที่นำไปใช้ในการสร้างและทดสอบโครงข่าย 36
4.3 การทดสอบโครงข่ายด้วยชุดข้อมูลใหม่ 37
4.4 การกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัย 37
4.5 ทดลองเพื่อยืนยันผล 38

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการศึกษา 40
5.2 บทวิจารณ์ 41
5.3 ปัญหาและอุปสรรคที่พบ 41

เอกสารอ้างอิง 42
ภาคผนวก ก ..... ผก 1
ภาคผนวก ข ..... ผข 1

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาททางชีววิทยากับเซลล์ประสาทเทียม 9
ตารางที่ 2.2 ชุดข้อมูลทั้ง 50 ชุดสำหรับฝึกสอนและทดสอบโครงข่าย 17
ตารางที่ 2.3 การออกแบบการทดลองเพื่อหาจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่แตกต่างกัน 7 รูปแบบ 19
ตารางที่ 2.4 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของ 7 รูปแบบ 20
ตารางที่ 2.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม 20
ตารางที่ 3.1 ปัจจัยและระดับของปัจจัย 24
ตารางที่ 3.2 ตัวแปรป้อนเข้าและตัวแปรเป้าหมาย 25
ตารางที่ 3.3 การออกแบบการทดลองเพื่อหาจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่แตกต่างกัน 7 รูปแบบ 26
ตารางที่ 3.4 ค่าปัจจัยที่ใช้สร้างชุดข้อมูลเพื่อใช้หาค่าพยากรณ์ 28
ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างชุดข้อมูลทดสอบจำนวน 307,461 ชุด 28
ตารางที่ 4.1 ลำดับและระดับของการทดลองที่ได้จาก 2^5 Full Factorial Design 30
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองทั้ง 20 ครั้ง โดยเงื่อนไขของปัจจัยที่ได้จากวิธีแฟคเทอเรียลเต็มรูป 33
ตารางที่ 4.3 ค่า *MSE* ของจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่แตกต่างกัน 7 รูปแบบ 34
ตารางที่ 4.4 ค่าเป้าหมายสำหรับการเรียนรู้โครงข่ายชนิด trainlm 35
ตารางที่ 4.5 ปัจจัยป้อนเข้าและเวลาการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์ที่ได้จากการพยากรณ์ของโครงข่าย 38
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองทั้ง 20 ครั้ง โดยเงื่อนไขของปัจจัยที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม 38

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ขั้นตอนของการออกแบบการทดลอง 4
รูปที่ 2.2 ปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ 6
รูปที่ 2.3 เซลล์ประสาท (Neuron) ในสมองมนุษย์ 8
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาททางชีววิทยากับเซลล์ประสาทเทียม 9
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบต่อถึงกันหมด 10
รูปที่ 2.6 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นที่เป็นแบบป้อนไปข้างหน้า 11
รูปที่ 2.7 นิวรอนที่มีอินพุทหลายตัว 12
รูปที่ 2.8 ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบแทน-ซิกมอยด์ 12
รูปที่ 2.9 แผนภูมิแสดงขั้นตอนของวิธีการโครงข่ายประสารทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ 14
รูปที่ 2.10 การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) 15
รูปที่ 2.11 การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) 16
รูปที่ 3.1 ปัจจัยของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ 23
รูปที่ 3.2 ชุดข้อมูลสำหรับการฝึกสอนโครงข่าย 25
รูปที่ 3.3 โครงข่ายประสาทเทียมที่มีรูปแบบโครงสร้างแบบ 5-7-1 27
รูปที่ 4.1 กราฟสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 32
รูปที่ 4.2 กราฟพาเรโต้แสดงอิทธิพลของแต่ละปัจจัย 32
รูปที่ 4.3 เงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสม 33
รูปที่ 4.4 จำนวนชั้นของโครงข่าย 34
รูปที่ 4.5 Regression Plot 36
รูปที่ 4.6 คุณสมบัติของโครงข่าย 37
รูปที่ 4.7 กราฟการกระจายตัวของผลการทดลอง 20 ครั้ง 39

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

เทคนิคการออกแบบการทดลองถูกนำมาใช้ในแวดวงอุตสาหกรรมเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปร ซึ่งงานด้านพัฒนากระบวนการและงานด้านการผลิตส่วนใหญ่มักจะมีตัวแปรจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะมีส่วนในการปรับปรุงกระบวนการ การคัดเลือกเป็นการลดจำนวนตัวแปรเหล่านี้ให้มีจำนวนน้อยลง ซึ่งจะทำให้เราสามารถที่จะพิจารณาเฉพาะตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการนั้นได้ โดยทั่วไปจะใช้วิธีการ Full Factorial (สำหรับปัจจัยที่มีค่าระดับมากกว่า 2 ค่าขึ้นไป) และถึงแม้วิธีการ Full Factorial จะใช้ประมาณค่าและหาความสัมพันธ์ของปัจจัยได้ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนหน่วยการทดลองที่ต้องใช้หน่วยการทดลองมาก และหากจำนวนปัจจัยมีมากขนาดของการทดลองก็จะใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นการเสียค่าใช้จ่ายสูงและการหาวัตถุทดลองที่มีความสม่ำเสมอจำนวนมากก็เป็นไปได้ยาก

ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาหลักการและทฤษฎีของโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ โดยโครงข่ายประสาทเทียมนี้ก็คือการสร้างคอมพิวเตอร์ที่จำลองเอาวิธีการทำงานของสมองมนุษย์ หรือทำให้คอมพิวเตอร์รู้จักคิดและจดจำในแนวเดียวกับโครงข่ายประสาทของมนุษย์ เพื่อช่วยให้คอมพิวเตอร์ฟังภาษามนุษย์ได้เข้าใจ อ่านออก และรู้จำได้ ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็นสมองกล ที่มีความสามารถในการหาค่าพยากรณ์หรือการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น (ตัวแปรอิสระ) กับตัวแปรตามโดยอาศัยกรณีศึกษา

โดยโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้นี้จะเป็นแบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Backpropagation Neural Network) เนื่องจากเป็นที่รู้จักและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุด โดยใช้วิธีฝึกสอนโครงข่ายแบบเลเวนเบิร์ก-มาร์ควอร์ท (Levenberg-Marguardt) ที่มีการปรับค่าน้ำหนักและค่าไบแอสของโครงข่ายและปรับผลลัพธ์ของแบบจำลองให้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด จากนั้นทำการสรุปผลที่ได้จากการนำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้งานว่าสามารถใช้หาค่าเป้าหมายได้เช่นเดียวกับการออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial หรือไม่ เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับผู้ใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาหลักการและทฤษฎีของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์หาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยการออกแบบโครงสร้างและคุณสมบัติของโครงข่ายให้มีความเหมาะสม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้จะทำการหาค่าพยากรณ์ที่เหมาะสม โดยอาศัยการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ โดยอาศัยกรณีศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระดาษ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการหาค่าที่เหมาะสมโดยการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเป็นอีกทางเลือกสำหรับหาค่าพยากรณ์ได้เช่นเดียวกับการออกแบบการทดลองแบบแฟคเทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial)
2. เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตต่อๆไป

1.5 กรอบแนวคิดงานวิจัย

1. กำหนดกรณีศึกษา เฮลิคอปเตอร์กระดาษ
   - การนิยามปัญหา
   - การเลือกปัจจัย และระดับและช่วงของปัจจัย
   - กำหนดตัวแปรตอบสนอง
   - ออกแบบการทดลอง
   - ดำเนินการทดลอง
   - วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ
   - สรุปผลและข้อเสนอแนะ
2. ศึกษาการวิเคราะห์และออกแบบการทดลอง (DOE) เพื่อนำมาออกแบบการทดลอง หาปัจจัยที่ส่งผลต่อผลการทดลอง และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยในกรณีศึกษา
3. ศึกษาความหมาย และการใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) สำหรับการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยในกรณีศึกษา

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ในการออกแบบเงื่อนไขที่เหมาะสม นี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้ารวบรวมแนวคิด ทฤษฎีและผลงานที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษา ดังปรากฏในรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 การออกแบบการทดลอง

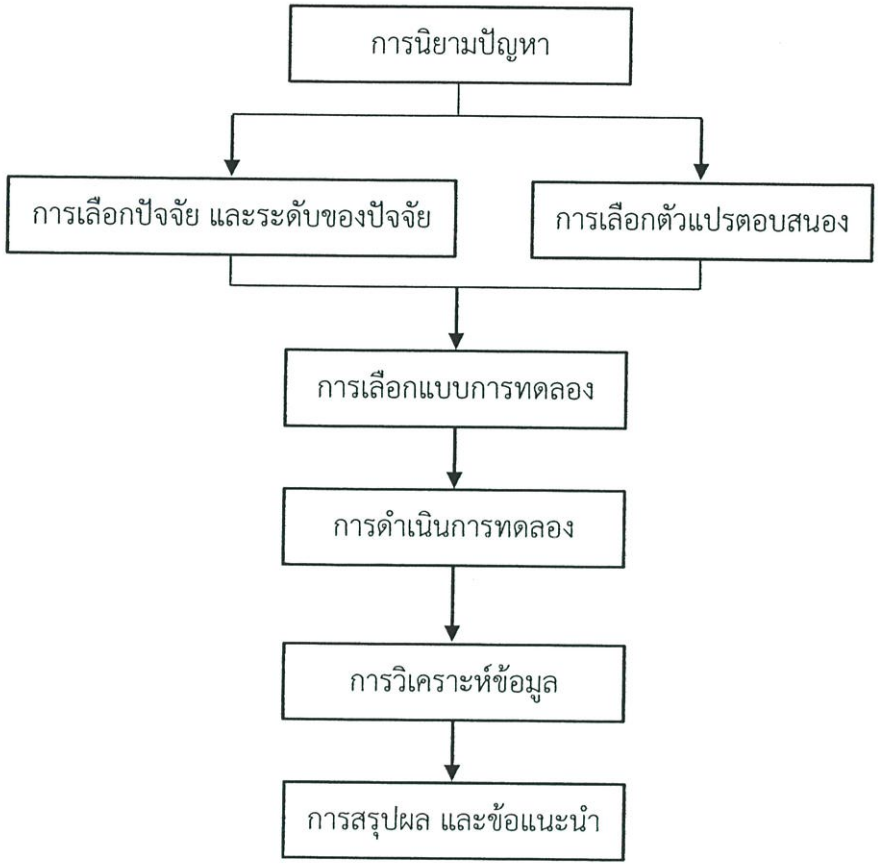
2.2 โครงข่ายประสาทเทียม

2.3 ตัวอย่างการประยุกต์

2.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

การออกแบบการทดลองเป็นเทคนิคทางสถิติขั้นสูงที่ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม ในด้านการปรับค่าสภาวะของกระบวนการเพื่อให้ได้ผลตอบสนองเป็นไปตามที่เราต้องการ เพื่อการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น ซึ่งข้อแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่างวิธีการโดยทั่วไปกับเทคนิคของการออกแบบการทดลองคือ วิธีการโดยทั่วไปมักเป็นการทดลองแบบลองผิดลองถูก หรือใช้การทดลองปรับตั้งค่ากระบวนการทีละค่า (One Factor at a Time: OFAT) จะให้ผลตอบสนองเข้าสู่จุดมุ่งหมายได้ช้ามาก และสิ้นเปลืองทรัพยากร รวมถึงต้องเก็บข้อมูลมากและยังไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับกระบวนการที่มีอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรของกระบวนการด้วยกันเอง

2.1.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนของการออกแบบการทดลอง

ขั้นตอนของการออกแบบการทดลอง สามารถสรุปได้ดังนี้

2.1.1.1 <u>การนิยามปัญหา (Statement of the Problem)</u>

เป็นการระบุความต้องการในการทดลอง และต้องการรู้อะไรบ้างจากการทดลอง ซึ่งจะเกี่ยวโยงกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2.1.1.2 <u>การเลือกปัจจัย และระดับของปัจจัย (Choice of Factors, Level and Ranges)</u>

เป็นการใช้หลักการ และประสบการณ์ในการระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะส่งผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้นควรมีช่วงการทดลองอย่างไร

2.1.1.3 <u>การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Selection of the Response Variable)</u>

จะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษา และการวัดค่านั้นจะต้องมีความแม่นยำและความถูกต้อง ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัดจะต้องมีความแม่นยำและถูกต้องด้วย

2.1.1.4 การเลือกแบบการทดลอง (Choice of Experimental Design)

จะดูที่ขนาดของการทดลอง ซึ่งหมายถึง จำนวนซ้ำของการทดลอง (Replicate) ความเหมาะสมของลำดับในการทดลองข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking) ซึ่งมีความเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยงและต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1.5 การดำเนินการทดลอง (Performing the Experiment)

ในระหว่างการดำเนินการทดลองจะต้องมีการศึกษาดูแลอย่างใกล้ชิด ปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้ ข้อควรระวังในขณะทำการทดลองคือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัดและความสม่ำเสมอในการทดลองเพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

2.1.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล (Statistical Analyze of the Data)

จะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์ และสรุปผลรวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้นก่อนที่จะตีความข้อมูล และวิธีการทางสถิติไม่สามารถบอกได้ว่าปัจจัยมีผลเท่าใดแน่นอน แต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ช่วงของความเชื่อมั่นในการสรุปผล

2.1.1.7 การสรุปผลและข้อแนะนำ (Conclusion and Recommendations)

การสรุปผลการวิเคราะห์อาจแสดงในรูป กราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ เมื่อสรุปผลแล้วควรมีการทดสอบเพื่อยืนยันผลจากการทดลองอีกครั้งหนึ่ง

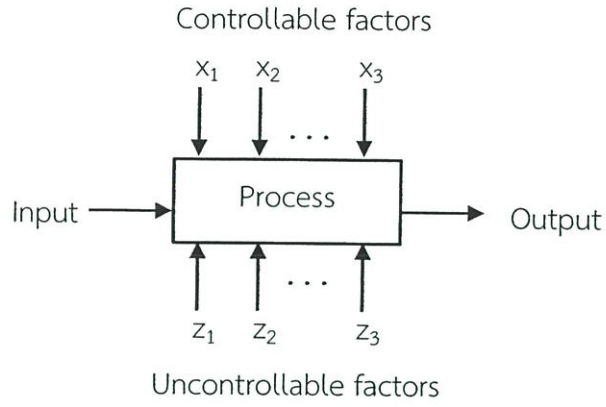
2.1.2 ส่วนประกอบของการทดลอง

2.1.2.1 วิธีปฏิบัติ (Treatment) หมายถึง สิ่งหรือวิธีที่ผู้ดำเนินการทดลองปฏิบัติต่อสิ่งทดลอง เพื่อวัดผลเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2.1.2.2 ปัจจัย (Factor) หมายถึง สิ่งที่คิดว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนองและนำมาพิจารณาในการทดลอง ปัจจัยอาจมีลักษณะเป็นเชิงคุณภาพหรือเชิงปริมาณก็ได้ โดยปัจจัยดังแสดงในภาพที่ 2.8 สามารถแบ่งออกได้เป็น

- ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการดำเนินการทดลอง ซึ่งเป็นผลดีต่อการทดลองเพราะโดยส่วนใหญ่ผู้ทำการทดลองต้องการกำหนดค่าต่างๆที่คิดว่ามีผลตอบสนองที่สนใจ
- ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการดำเนินการทดลอง อาจเนื่องมาจากมีข้อกำหนดทางด้านเทคโนโลยีและต้นทุน ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ แบ่งออกเป็น
    1. ตัวแปรรบกวน (Noise Variable หรือ Background Variable) หมายถึง ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองในการทดลองแต่ใช่ปัจจัยที่เรากำลังทำการศึกษา ส่วนใหญ่มักได้แก่ เวลาหรือเครื่องมืออุปกรณ์ เป็นต้น

2. Nuisance Variable หมายถึง ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแต่เราไม่ทราบมาก่อน สามารถกำจัดอิทธิพลของ Nuisance Variable ได้โดยการสุ่ม



รูปที่ 2.2 ปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ (Montgomery, 2011)

2.1.2.3 ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) หมายถึง ตัวแปรที่ถูกสังเกตหรือวัดค่าในการทดลอง หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าตัวแปรตาม ซึ่งเป็นตัวแปรสะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ ในการทดลองหนึ่งๆ อาจวัดค่าตัวแปรตามมากกว่า 1 ก็ได้ การเลือกตัวแปรตามที่ดีควรพิจารณาจากความไว (Sensitivity) ความเชื่อถือได้ (Reliability) การแจกแจงของตัวแปรนั้นและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ รวมถึงพิจารณาค่าสังเกตที่ได้จากทรีทเมนต์หนึ่งๆ ควรมีการแจกแจงแบบปกติโดยประมาณ

2.1.3 หลักการพื้นฐาน 3 ประการ สำหรับการออกแบบการทดลอง

2.1.3.1 การทำแบบสุ่ม (Randomization) หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลอง และลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม ซึ่งหมายความว่าทุกอย่างที่ใช้ในการทดลองมีความน่าจะเป็นเท่ากันที่จะถูกนำมาทำการทดลอง ทำให้สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจปรากฏในการทดลองรวมถึงลดค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองด้วย

2.1.3.2 การทดลองซ้ำ (Replication) ทำให้ประมาณค่าความผิดพลาดจากการทดลองได้ ซึ่งจะเป็นผลให้ผู้ทำการทดลองสามารถสรุปผลความแตกต่างเชิงสถิติได้ ถ้ามีจำนวนซ้ำน้อยเกินไป ความแม่นยำในการทดลองก็อาจน้อย และในขณะเดียวกัน ถ้ามีจำนวนซ้ำมากเกินไปก็อาจทำให้เสียค่าใช้จ่ายและเวลามากเกินความจำเป็น ดังนั้นการกำหนดจำนวนซ้ำจึงมีความจำเป็น สามารถหาได้โดยใช้ OC-Curve (Operating characteristic curve)

2.1.3.3 การจัดกลุ่ม (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรงให้แก่การทดลอง กลุ่มๆหนึ่งอาจหมายถึง ส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขภายในแต่ละกลุ่ม

2.2 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

2.2.1 โครงข่ายประสาททางชีววิทยา

นวภัค (2546) กล่าวไว้ว่าคุณสมบัติที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตได้แก่ความสามารถในการตอบสนองต่อสิ่งเร้า ซึ่งกระบวนการตอบสนองต่อสิ่งเร้าในสิ่งมีชีวิตนั้นคือการใช้การประสานงานร่วนกันของเซลล์ประสาท อวัยวะสัมผัส และการทำงานของอวัยวะต่างๆของร่างกายที่สอดคล้องกัน ซึ่งการที่ระบบอวัยวะต่างๆของร่างกายสามารถทำงานได้สอดคล้องกันก็เพื่อให้ร่างกายอยู่ได้อย่างปกติ และสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกได้ เนื่องจากการควบคุมของระบบประสาทผ่านเซลล์ประสาทรับความรู้สึก (Sensory Neurons) เข้าสู่ศูนย์กลางของระบบประสาทในสมองและไขสันหลังแล้วส่งสัญญาณที่เหมาะสมผ่านเซลล์ประสาทส่งความรู้สึกไปสู่เนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่ตอบสนอง (Effectors) ดังนั้นการทำงานของระบบประสาทคือการควบคุมระบบการทำงานของอวัยวะต่างๆให้สามารถทำงานได้อย่างสอดคล้องกันนั่นเอง

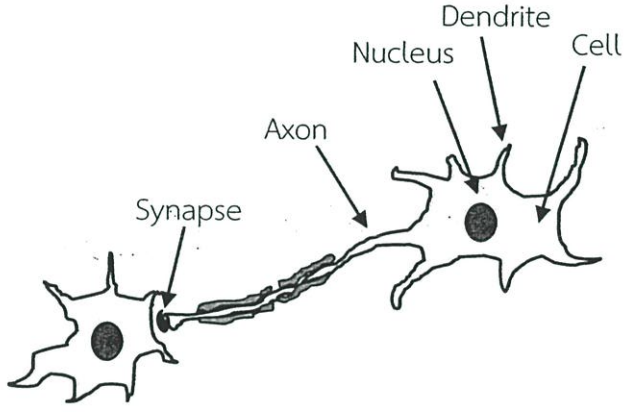
ภูริสัณห์ (2548) กล่าวไว้ว่าสมองมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neuron) จำนวนมากประมาณ 10^{11} ยูนิต ที่มีการเชื่อมโยงกันอย่างหนาแน่น แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วยเดนไดรท์ ทำหน้าที่รับความรู้สึกจากเส้นใยประสาทโดยส่งข้อมูลเป็นสัญญาณไฟฟ้า (Electrical Signals) มาที่เดนไดรท์และที่เดนไดรท์แต่ละกิ่งจะรับรู้ได้ด้วยค่าถ่วงน้ำหนักที่ต่างกันของแต่ละไซแนปส์ จากนั้นจึงส่งข้อมูลเข้าสู่ตัวเซลล์ ซึ่งทำหน้าที่รวบรวมสิ่งที่ได้รับรู้แล้วส่งให้แอกซอน แอคซอนจะส่งสัญญาณออกไป โดยสัญญาณที่ส่งออกมาจะเป็นฟังก์ชันของผลรวมของสิ่งที่ได้รับรู้จากตัวเซลล์

โครงสร้างของเซลล์ประสาทโดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ

1. ตัวเซลล์ (Cell Body หรือ Soma) มีลักษณะค่อนข้างกลม ภายในประกอบด้วยนิวเคลียส (Nucleus) และไซโตพลาสซึม (Cytoplasm) เหมือนกับเซลล์อื่นๆในร่ากาย แต่ไซโตพลาสซึมของเซลล์ประสาทมีลักษณะเป็นแขนงยื่นออกจากตัวเซลล์
2. แขนงประสาท (Nerve Fiber) สามารถจำแนกตามลักษณะของแขนงประสาทได้ 2 ชนิด คือ
   - เดนไดรท์ (Dendrite) เป็นส่วนที่ใช้ในการรับกระแสประสาทจากภายนอกเข้าสู่ตัวเซลล์ประสาท เป็นแขนงประสาทที่ค่อนข้างสั้นและยื่นออกโดยรอบของตัวเซลล์ โดยปกติในเซลล์ประสาทหนึ่งจะมีเดนไดรท์หลายอันหรืออาจมีอันเดียวก็ได้
   - แอคซอน (Axon) เป็นเส้นประสาทที่นำกระแสประสาทออกจากตัวเซลล์ไปสู่ปลายทาง ซึ่งอาจมีขนาดยาวบางหรือสั้นบางแตกต่างกันไปตามตำแหน่งที่อยู่ ในเซลล์ประสาทหนึ่งจะมีแอคซอนเพียงอันเดียวเท่านั้น โดยปกติแอคซอนมีลักษณะยาวและถูกห่อหุ้มด้วยปลอกไมอิลิน (Myelin Sheath) เพื่อเพิ่มความเร็วในการนำคลื่นกระแสประสาท

การส่งกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาท เมื่อเกิดการนำกระแสประสาทขึ้นในแอคซอนของเซลล์ประสาทหนึ่งๆแล้วก็จะเกิดการส่งกระแสประสาทต่อไปยังเดนไดรท์ของเซลล์ประสาทอีกเซลล์หนึ่ง โดยที่บริเวณส่วนปลายของแอคซอนและเดนไดรท์ดังกล่าวจะอยู่ใกล้ชิดกันมาก เรียก

การส่งกระแสประสาทลักษณะนี้ว่า การไซแนปส์ (Synaptic) ซึ่งช่วยในการทำงานของประสาทให้เป็นไปด้วยความเรียบร้อยและมีขอบเขตการทำงานที่กว้างขวาง บริเวณที่เกิดการไซแนปส์จะมีการสังเคราะห์ การเก็บและการปล่อยสารสื่อประสาท (Neurotransmitter Substance) เมื่อสารสื่อประสาทไปจับกับตัวรับที่เซลล์ถัดไปเรียบร้อยแล้วจะเกิดการกระตุ้นขึ้น (Excitatory Synapse) ถ้าความแรงของสัญญาณกระตุ้นมากกว่าค่าที่กำหนดจะทำให้กระแสประสาทเคลื่อนที่ผ่านไปในเซลล์ถัดไปได้ แต่ถ้าความแรงของสัญญาณกระตุ้นต่ำกว่าค่าที่กำหนดก็จะเกิดการยับยั้ง (Inhibitory Synapse) ทำให้กระแสประสาทไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปในเซลล์ถัดไปได้



รูปที่ 2.3 เซลล์ประสาท (Neuron) ในสมองมนุษย์ (ที่มา:นวภัค เอื้ออนันต์, 2546)

2.2.2 โครงข่ายประสาทเทียม

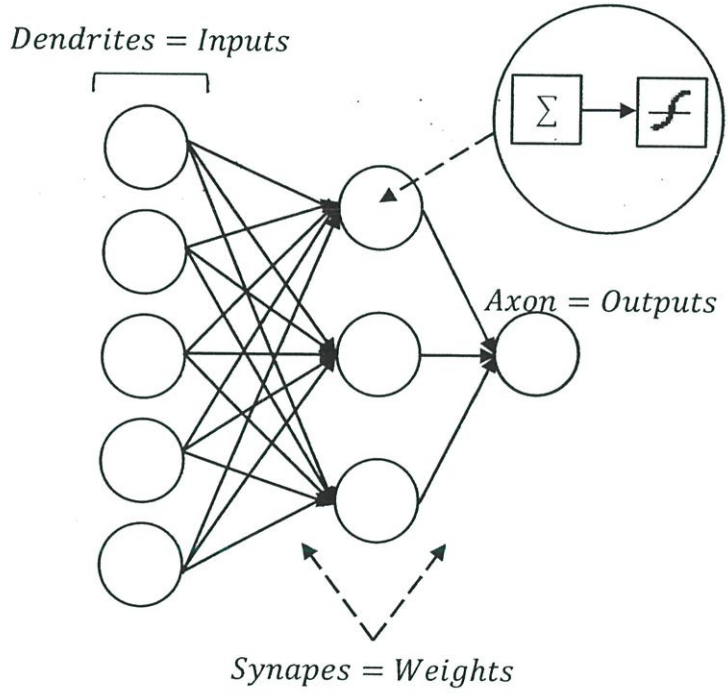
โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) เป็นโครงข่ายที่มีรูปแบบโครงสร้างและการประมวลผลคล้ายกับสมองมนุษย์ มีการปรับเปลี่ยนตัวเองต่อการตอบสนองของอินพุตตามกฎการเรียนรู้หรืออาจกล่าวได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมเป็นการเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์

ธฤติ (2549) ได้กล่าวไว้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อาศัยหลักการทำงานของระบบประสาททางชีววิทยา ซึ่งสามารถเปรียบเทียบการทำงานระหว่างเซลล์ประสาททางชีววิทยากับเซลล์ประสาทเทียมได้ดังนี้

โครงสร้างของเซลล์ประสาทมีการเชื่อมต่อกันด้วยการส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านเดนไดรท์ ซึ่งเปรียบเหมือนเป็นสัญญาณอินพุท (Input) ผ่านไซเนปส์ซึ่งเปรียบเหมือนเป็นค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งเข้าไปกระบวนการการประมวลผล ซึ่งประกอบด้วยหน่วยประมวลผลที่เรียกว่า นิวรอน (Neurons) หรือโหนด (Nodes) ภายในตัวเซลล์ จากนั้นจะส่งสัญญาณผ่านแอกซอนซึ่งเปรียบเหมือนเป็นสัญญาณเอาท์พุท (Output) ไปยังเซลล์อื่นๆต่อไปในลักษณะการเชื่อมต่อเช่นนี้ โดยความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาททางชีววิทยากับเซลล์ประสาทเทียมแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาททางชีววิทยากับเซลล์ประสาทเทียม

เซลล์ประสาททางชีววิทยา	เซลล์ประสาทเทียม
ตัวเซลล์ (Cell Body)	นิวรอน (Neuron or Node)
เดนไดรท์ (Dendrite)	สัญญาณอินพุท (Input)
แอคซอน (Axon)	สัญญาณเอาท์พุท (Output)
จุดประสานประสาท (Synapse)	ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight)



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาททางชีววิทยากับเซลล์ประสาทเทียม

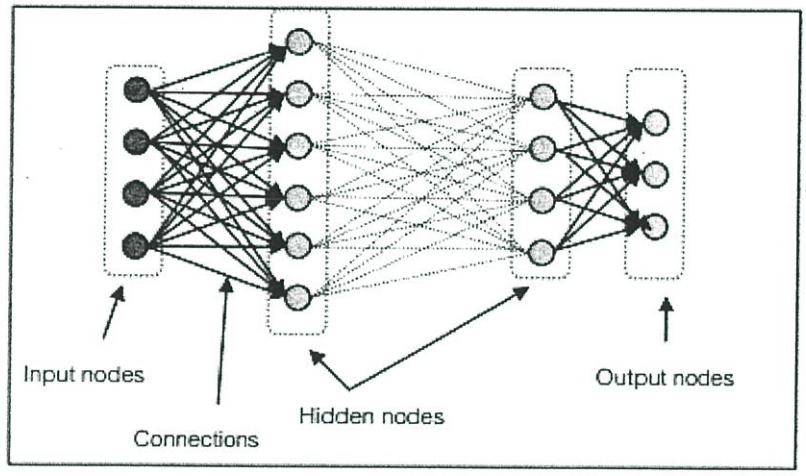
2.2.3 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

Hagan et al. (1996) ได้อธิบายถึงรูปแบบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมไว้ว่า โครงข่ายประสาทเทียมในแต่ละชั้นจะประกอบด้วยนิวรอนที่ต่างกัน การเชื่อมต่อกันในระหว่างชั้นมีรูปแบบดังนี้

2.2.3.1 ชั้นอินพุท (Input Layer) เป็นชั้นข้อมูลป้อนเข้าซึ่งจะมีเพียงชั้นเดียวและจำนวนนิวรอนในชั้นนี้จะเท่ากับจำนวนของข้อมูลป้อนเข้า การคำนวณในชั้นนี้จะเป็นการแปลงค่าข้อมูลให้มีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 เนื่องจากข้อมูลดิบจะเป็นตัวเลขที่มีค่ามากและหน่วยของข้อมูลอาจมีรูปแบบที่ไม่เหมือนกัน จึงต้องแปลงให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบเดียวกัน

2.2.3.2 ชั้นซ่อน (Hidden Layer) เป็นตัวเพิ่มความสามารถให้กับโครงข่าย จำนวนชั้นและจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนจะเป็นเท่าไหร่ก็ได้ไม่มีข้อจำกัดที่ตายตัว แต่ถ้ามีจำนวนชั้นและจำนวนนิวรอนมากๆ จะทำให้การคำนวณช้ามาก และถ้ามีจำนวนชั้นและจำนวนนิวรอนน้อยไปจะทำให้ผลการคำนวณคลาดเคลื่อนไม่ลู่เข้าสู่จุด (Convergent) และผลลัพธ์ที่ได้จะไม่ถูกต้อง ดังนั้นต้องทำการทดลองเปรียบเทียบโครงข่ายที่มีจำนวนชั้นซ่อนและจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่แตกต่างกัน เพื่อดูว่าจำนวนเท่าไรที่จะทำให้การคำนวณได้ผลดีกว่ากัน

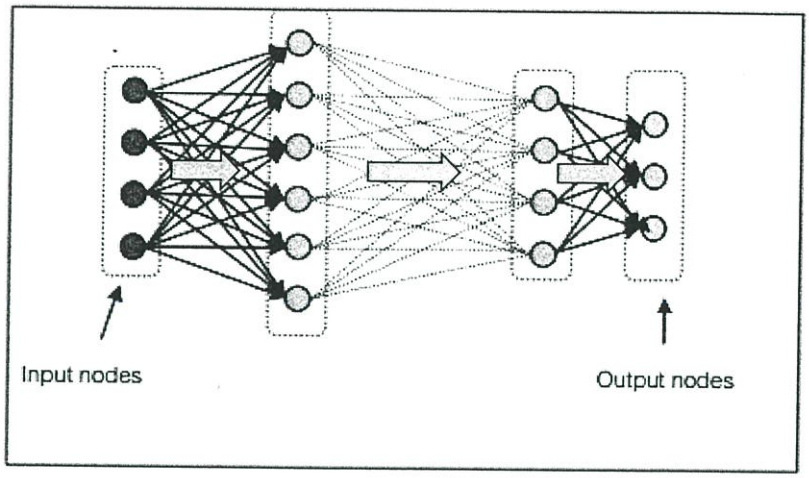
2.2.3.3 ชั้นเอาท์พุท (Output Layer) เป็นชั้นข้อมูลออกซึ่งจะมีเพียงชั้นเดียวและจำนวนนิวรอนในชั้นนี้จะเท่ากับจำนวนผลลัพธ์ที่ต้องการ



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบต่อถึงกันหมด (ที่มา:นวภัค เอื้ออนันต์, 2546)

2.2.4 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi Layer Neural Network) มีโครงสร้างประกอบขึ้นจากการจัดเรียงของตัวเซลล์ประสาทตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป (ไม่นับรวมชั้นอินพุท) โดยปกติโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นจะประกอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวหลายๆตัวต่ออยู่ในโครงสร้างที่มีลำดับชั้นลดหลั่นกันลงไป โดยอยู่ในรูปของการทำงานที่ป้อนไปข้างหน้า (Feed-Forward) ซึ่งหมายความว่าข้อมูลที่ประมวลผลจะถูกส่งไปทิศทางเดียวจากอินพุทโหนดส่งต่อไปเรื่อยๆจนถึงเอาท์พุทโหนด โดยไม่มีการย้อนกลับของข้อมูล รวมทั้งจะไม่มีการเชื่อมต่อกันของโหนดในชั้นเดียวกันด้วย



รูปที่ 2.6 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น
ที่เป็นแบบป้อนไปข้างหน้า (ที่มา:นวภัค เอื้ออนันต์, 2546)

2.2.5 แบบจำลองนิวรอนแบบหลายอินพุท

แบบจำลองนิวรอนแบบหลายอินพุท (Multi Input Neuron) เป็นแบบจำลองนิวรอนที่มีจำนวนอินพุทมากกว่า 1 อินพุท เขียนเป็นเวกเตอร์อินพุทได้ดังนี้ $p_1,\ p_2, \ldots, p_R$ โดยที่ R แทนจำนวนของสมาชิกในเวกเตอร์อินพุท สมาชิกทุกตัวในเวกเตอร์อินพุทจะถูกคูณอยู่กับค่าถ่วงน้ำหนัก $w_{1,1}, w_{1,2}, \ldots, w_{1,R}$ จากนั้นค่าทั้งหมดจะถูกนำมารวมกันที่ฟังก์ชันผลรวม (Summation Function) ถ้ามีค่าไบแอส (b) ก็จะถูกนำมารวมด้วย ณ จุดนี้ ค่าผลรวมที่ได้คือค่า Net Input (n) หลังจากนั้นจะส่งไปยังฟังก์ชันการถ่ายโอนเพื่อหาค่าเอาท์พุทซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในสมการได้ดังนี้

$$n = w_{1,1}p_1 + w_{1,2}p_2 + \ldots + w_{1,R}p_R + b \qquad (2.1)$$

หรือ

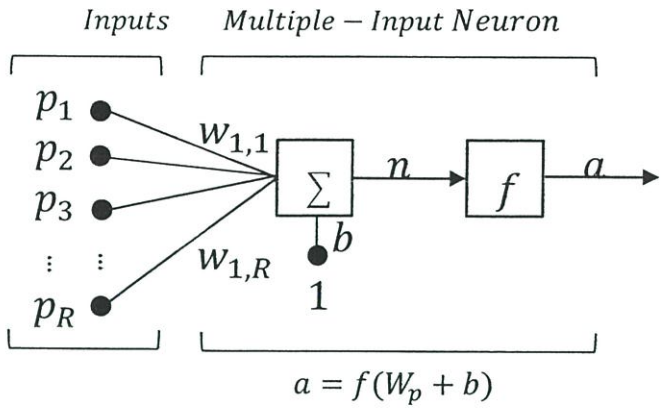
$$n = W_p + b \qquad (2.2)$$

ค่าเอาท์พุทหาได้ดังนี้

$$a = f(W_p + b) \qquad (2.3)$$

หรือ

$$a = f(n) \qquad (2.4)$$

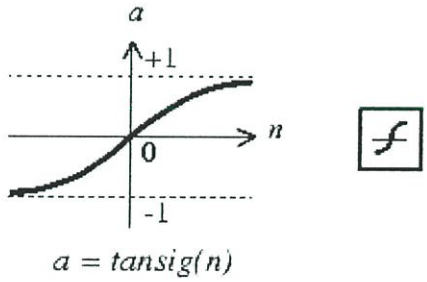


รูปที่ 2.7 นิวรอนที่มีอินพุทหลายตัว (ที่มา:Hagan et al., 1996)

จากรูปที่ 2.7 ค่าอินพุทในอินพุทเวกเตอร์จะถูกนำไปคูณกับค่าถ่วงน้ำหนัก แล้วนำไปบวกกับค่าไบแอสซึ่งมีจำนวน 1 ค่า จากนั้นจะเข้าสู่ฟังก์ชันหาผลรวมและจะส่งผลรวมนี้ไปยังฟังก์ชันการถ่ายโอนเพื่อให้ได้ค่าเอาท์พุทออกมาก ในกรณีนี้มีจำนวนนิวรอน 1 นิวรอนจะได้ค่าเอาท์พุท 1 ค่า แต่ถ้ามีจำนวนนิวรอนมากกว่า 1 นิวรอน ค่าเอาท์พุทที่ได้จะเท่ากับจำนวนนิวรอนนั้นๆ

2.2.6 ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบ Tan-Sigmoid

ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer Function) อาจเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear Function) หรือเป็นฟังก์ชันแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear Function) ก็ได้ ฟังก์ชันการถ่ายโอนมีให้เลือกมากมาย แต่ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะเลือกใช้ฟังก์ชันแบบแทน-ซิกมอยด์ (Tan-Sigmoid) ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบแทน-ซิกมอยด์

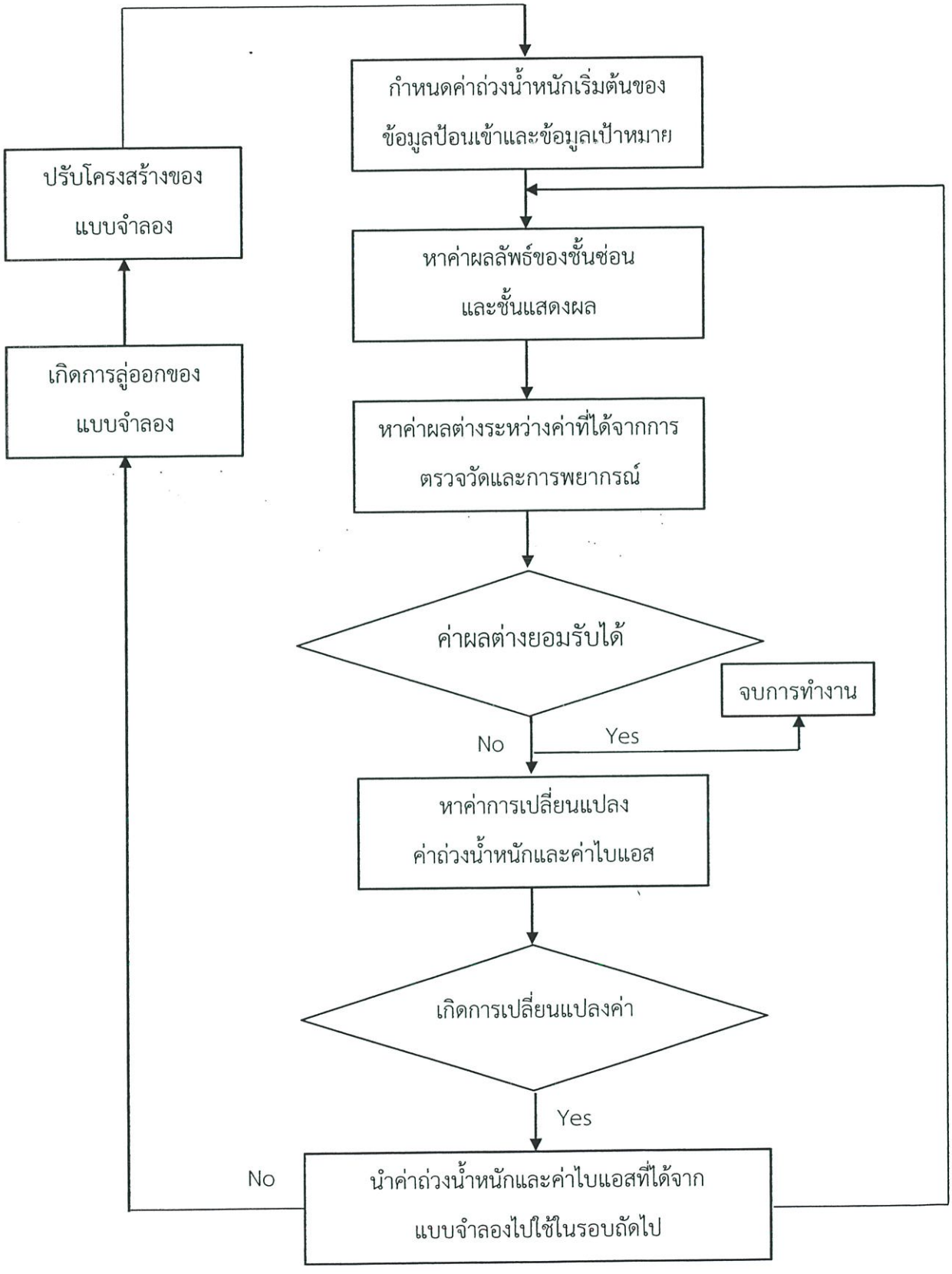
จะเห็นได้ว่าฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบแทน-ซิกมอยด์ (Hyperbolic Tangent Sigmoid) ไม่ว่าค่า Net Input (n) จะมีค่าเท่าใดก็ตาม ค่าเอาท์พุทที่ได้จากฟังก์ชันการถ่ายโอนจะอยู่ในช่วง -1 ถึง +1 เขียนแทนได้ว่า (-1,1) โดยกราฟมีลักษณะเป็น S-curve ค่าของเอาท์พุท (a) หาได้จากสมการ

$$a(n) = \frac{1-e^{(-2n)}}{1+e^{(-2n)}} \quad (2.5)$$

2.2.7 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Backpropagation Neural Network) จะเริ่มต้นการทำงานโดยการสุ่มค่าน้ำหนักในแต่ละนิวรอน แล้วนำไปคูณกับข้อมูลป้อนเข้าในแต่ละนิวรอน คำนวณหาผลรวม และจัดส่งผลลัพธ์ที่ได้ต่อไป กำหนดให้ตัวแปร y เป็นค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ของโครงข่ายประสาทเทียม และ t เป็นค่าผลลัพธ์เป้าหมาย การเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับจะทำการเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้ โดยนำผลลัพธ์ที่ได้จากข้อมูลส่งออกมาเปรียบเทียบกับค่าผลลัพธ์เป้าหมาย ดังสมการที่ ค่าผิดพลาด (E) ที่ได้จะถูกส่งถอยหลังกลับไปยังชั้นข้อมูลส่งออก และส่งต่อไปยังจุดต่างๆของชั้นซ่อน ขั้นตอนสุดท้ายจะนำค่าผิดพลาดมาใช้ในการปรับค่าน้ำหนัก ซึ่งค่าน้ำหนักจะเปลี่ยนไปมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าผิดพลาดต่ำสุดที่กำหนดไว้ หรือครบตามจำนวนครั้งในการทำซ้ำที่กำหนดไว้

$$E = \frac{1}{2}\sum(y-t)^2 \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.9 แผนภูมิแสดงขั้นตอนของวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (ที่มา:รสกร, 2546)

2.2.8 การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน

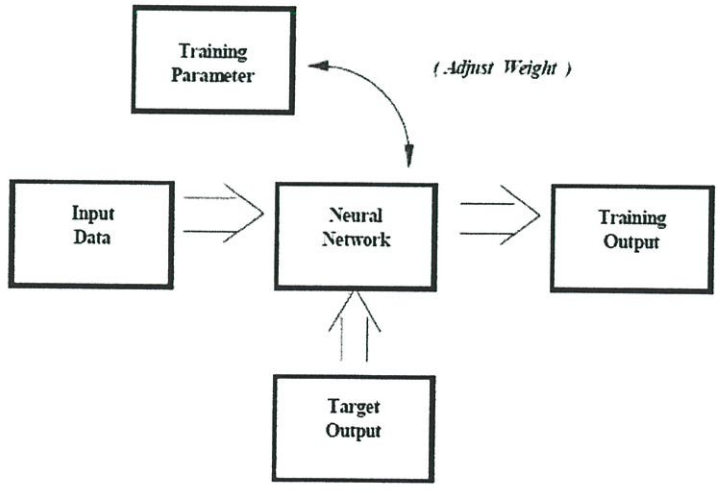
2.2.8.1 ขั้นตอนของกระบวนการเรียนรู้ (Training Process) เป็นการเรียนรู้จากข้อมูลอินพุทและข้อมูลเอาท์พุท โดยใช้ทฤษฎีของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ จากนั้นทำการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมเพื่อหารูปแบบและความสัมพันธ์ภายในของข้อมูลอินพุทและเอาท์พุท

2.2.8.2 ขั้นตอนของกระบวนการทวนสอบ (Testing Process) จะนำโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้รับการออกแบบและการฝึกสอนแล้วมาใช้งานต่อ โดยจะใช้อินพุทชุดใหม่ใส่เข้าไปเพื่อหาเอาท์พุทที่ต้องการ

2.2.9 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาท

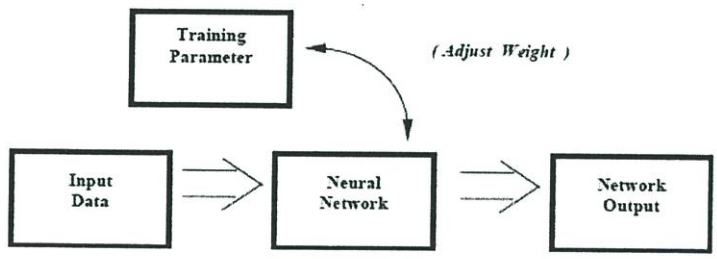
การเรียนรู้เป็นกระบวนการที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของโครงข่าย เพื่อให้โครงข่ายสามารถจดจำเรียนรู้ และสามารถหาความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของข้อมูลอินพุทและเอาท์พุทได้ โดยการเรียนรู้นี้หมายถึงการปรับค่าถ่วงน้ำหนักภายในโครงข่ายให้เหมาะสม ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) และแบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) (DenizErdogmus Member, 2005)

2.2.9.1 การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) วิธีการที่โครงข่ายได้รับชุดข้อมูลป้อนเข้า (Input) และชุดข้อมูลเป้าหมาย (Target) ทำให้การให้ค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายเกิดจากการปรับเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน (Error) อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และค่าของข้อมูลเอาท์พุทใกล้เคียงกับข้อมูลเป้าหมายมากที่สุด โดยโครงข่ายประสาทเทียมส่วนมากที่ใช้การเรียนรู้แบบมีผู้สอนจะเป็นแบบโครงข่ายกระตุ้นไปข้างหน้า (Feed Forward Network) คือโครงข่ายได้รับข้อมูลป้อนเข้าซึ่งเคลื่อนย้ายไปข้างหน้าผ่านทั้งโครงข่ายผลสุดท้าย จะได้รับข้อมูลส่งออก โครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำให้เข้าใจดังเช่น การกำหนดความสัมพันธ์ จากข้อมูล ป้อนเข้าไปยังข้อมูลส่งออก และการกำหนดความสัมพันธ์จะถูกกำหนดจากพารามิเตอร์อิสระของแบบจำลองซึ่งเป็น ค่าน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างเซลล์ประสาท



รูปที่ 2.10 การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning)

2.2.9.2 การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) เป็นการเรียนรู้ที่ถูกพัฒนาขึ้นให้ใกล้เคียงกับสมองมนุษย์มากขึ้น โดยไม่ต้องการชุดข้อมูลเป้าหมาย ต้องการเพียงชุดข้อมูลป้อนเข้าเท่านั้น โดยโครงข่ายจะสามารถเรียนรู้เพื่อปรับค่าถ่วงน้ำหนักให้เหมาะสมโดยใช้หลักการทางสถิติของชุดข้อมูล (เปรียบเทียบกับคน เช่น การที่เราสามารถแยกแยะพันธุ์พืช พันธุ์สัตว์ตามลักษณะรูปร่างของมันได้เองโดยไม่มีใครสอน



รูปที่ 2.11 การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning)

2.3 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม

หัวข้อนี้จะยกตัวอย่างการประยุกต์ที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการหาค่าพยากรณ์ โดยสร้างชุดข้อมูลมา 50 ชุด สำหรับการใช้ในฝึกสอนโครงข่าย ค่า y คำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์

$$y = x_1 + 2x_2 + 5x_3 + error \tag{2.7}$$

ซึ่ง x_1 = ตัวแปรสุ่มที่มีค่าระหว่าง 1 ถึง 5

x_2 = ตัวแปรสุ่มที่มีค่าระหว่าง 1 ถึง 10

x_3 = ตัวแปรสุ่มที่มีค่าระหว่าง 1 ถึง 10

$error$ = สิ่งรบกวนที่มีการกระจายตัวแบบปกติ $\mu \sim N(0,1)$

y = ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการ

ตารางที่ 2.2 ชุดข้อมูลทั้ง 50 ชุดสำหรับฝึกสอนและทดสอบโครงข่าย

$No.$	x_1	x_2	x_3	y	$No.$	x_1	x_2	x_3	y
1	2	7	6	44.98	26	4	1	2	16.98
2	3	1	5	31.06	27	3	2	10	58.18
3	4	9	1	26.39	28	4	10	9	69.33
4	2	5	8	53.13	29	4	3	2	18.97
5	1	5	2	20.81	30	3	6	8	54.65
6	4	10	2	32.46	31	5	10	4	44.20
7	1	5	2	20.43	32	2	3	8	47.58
8	3	7	9	61.88	33	1	3	4	27.87
9	1	3	9	50.58	34	1	10	3	37.40
10	2	8	8	56.21	35	5	7	10	69.49
11	5	2	4	29.06	36	1	9	5	43.49
12	5	10	9	70.49	37	2	4	4	31.64
13	5	7	8	58.86	38	1	7	9	61.96
14	5	6	6	48.07	39	5	3	6	41.05
15	3	2	7	42.77	40	2	2	1	11.35
16	2	8	10	68.56	41	4	8	4	40.34
17	2	6	5	38.95	42	4	5	6	45.31
18	2	6	2	24.71	43	4	5	10	62.95
19	3	4	6	42.59	44	5	6	1	24.03

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ชุดข้อมูลทั้ง 50 ชุดสำหรับฝึกสอนและทดสอบโครงข่าย

$No.$	x_1	x_2	x_3	y	$No.$	x_1	x_2	x_3	y
20	5	3	9	56.50	45	5	3	1	15.18
21	2	5	6	40.45	46	3	6	2	25.14
22	1	10	8	60.64	47	1	2	8	43.59
23	4	8	10	70.14	48	3	10	9	68.40
24	3	2	5	31.74	49	3	5	1	19.33
25	1	1	10	52.71	50	2	4	5	34.93

2.3.1 จำนวนชั้นและจำนวนนิวรอน

2.3.1.1 จำนวนชั้นของโครงข่าย

กำหนดให้โครงข่ายประสาทเทียมมีจำนวนชั้นเพียง 3 ชั้น ประกอบด้วยชั้นรับข้อมูลจำนวน 1 ชั้น ชั้นซ่อนจำนวน 1 ชั้นและชั้นแสดงผลจำนวน 1 ชั้น โดยการกำหนดจำนวนชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมในโปรแกรมแมทแลปนี้จะไม่นับรวมชั้นแสดงผล ดังนั้นจำนวนชั้นของโครงข่ายจะมีค่าเท่ากับ 2

2.3.1.2 จำนวนนิวรอน

จำนวนนิวรอนในแต่ละชั้นมีค่าดังนี้ ชั้นอินพุทจำนวน 3 นิวรอน ชั้นเอาท์พุทจำนวน 1 นิวรอน และชั้นซ่อนโดยส่วนมากแล้วจะถูกกำหนดให้เท่ากับสองเท่าของจำนวนนิวรอนในชั้นอินพุท ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดสมการที่ 1 ขึ้นมาเพื่อคำนวณหาจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนดังนี้

$$m = 2n \pm 3 \tag{2.8}$$

โดย n = จำนวนนิวรอนในชั้นอินพุท ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3

m = จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน

จะได้จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่มีค่าตั้งแต่ 3 นิวรอนและปรับเพิ่มขึ้นทีละ 1 นิวรอน จนมีค่าเท่ากับ 9 นิวรอน จำนวนนิวรอนในแต่ละชั้นของโครงข่ายเขียนได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การออกแบบการทดลองเพื่อหาจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่แตกต่างกัน 7 รูปแบบ

รูปแบบโครงสร้าง (จำนวนนิวรอน)					
รูปแบบที่	ชั้นรับข้อมูล	-	ชั้นซ่อน	-	ชั้นแสดงผล
1.	3	-	3	-	1
2.	3	-	4	-	1
3.	3	-	5	-	1
4.	3	-	6	-	1
5.	3	-	7	-	1
6.	3	-	8	-	1
7.	3	-	9	-	1

2.3.2 ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบ TANSIG

เป็นฟังก์ชันเงื่อนไขสำหรับการถ่ายโอนข้อมูลจากชั้นซ่อนไปยังชั้นแสดงผล

2.3.3 รูปแบบการเรียนรู้แบบ Feed-Forward Backpropagation

เป็นการปรับค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างนิวรอนทุกๆนิวรอนในแต่ละชั้นให้มีค่าที่เหมาะสมโดยวิธีการป้อนไปข้างหน้า และจะส่งค่าความผิดพลาดแบบแพร่ย้อนกลับไปยังชั้นป้อนข้อมูลเข้าใหม่เพื่อปรับค่าถ่วงน้ำหนักให้ได้ค่าความผิดพลาดที่น้อยลง และในการเรียนรู้นี้ก็จะทำซ้ำกระบวนการไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ค่าความผิดพลาดที่เป็นที่ยอมรับของกระบวนการ

2.3.4 รูปแบบการฝึกสอนแบบ Levenberg-Marquardt

การเรียนรู้ของโครงข่ายชนิด trainlm หรือ Levenberg-Marquardt

2.3.5 จำนวนชุดข้อมูลที่นำไปใช้ในการสร้างและทดสอบโครงข่าย

ชุดข้อมูที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมถูกแบ่งออกเป็น 3 ชุดข้อมูล ดังนี้

2.3.5.1 ชุดข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ (Training Set) จำนวน 70% คิดเป็น 34 ชุดข้อมูล

2.3.5.2 ชุดข้อมูลสำหรับการตรวจประเมิน (Validation Set) หรือการฝึกสอนโครงข่ายจำนวน 15% คิดเป็น 8 ชุดข้อมูล

2.3.5.3 ชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Testing Set) จำนวน 15% คิดเป็น 8 ชุดข้อมูล

ตารางที่ 2.4 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของ 7 รูปแบบ

รูปแบบโครงสร้าง (จำนวนนิวรอน)						MSE
รูปแบบที่	ชั้นรับข้อมูล	-	ชั้นซ่อน	-	ชั้นแสดงผล	
1.	3	-	3	-	1	0.40989
2.	3	-	4	-	1	0.43758
3.	3	-	5	-	1	0.28316
4.	3	-	6	-	1	0.28906
5.	3	-	7	-	1	0.02929
6.	3	-	8	-	1	0.51679
7.	**3**	**-**	**9**	**-**	**1**	**0.10119**

หลังทำการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายด้วยรูปแบบที่ต่างกันทั้ง 7 รูปแบบแล้ว จะพิจารณาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (*MSE*) ของชุดข้อมูลตรวจประเมินเพื่อเลือกใช้รูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสม นั่นคือโครงสร้างที่ 3-7-1 ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่น้อยที่สุดจาก 7 รูปแบบ จากนั้นทดสอบโครงข่ายด้วยชุดข้อมูลเดิม คำนวณเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด $(\%error)$ จากสมการ 2.9 ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 2.5

$$\%error = \left(\frac{y_{predict} - y}{y}\right) * 100\% \qquad (2.9)$$

โดย y = จำนวนนิวรอนในชั้นอินพุท ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3

$y_{predict}$ = จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน

$\%error$ = ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการ

ตารางที่ 2.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม

No.	y	$y_{predict}$	$\%error$	*No.*	y	$y_{predict}$	$\%error$
1	44.98	45.20	0.49	26	16.98	14.70	-13.43
2	31.06	27.98	-9.92	27	58.18	57.83	-0.60
3	26.39	25.42	-3.68	28	69.33	69.27	-0.09
4	53.13	52.23	-1.69	29	18.97	19.46	2.58
5	20.81	21.11	1.44	30	54.65	54.76	0.20

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม

$No.$	y	$y_{predict}$	$\%error$	$No.$	y	$y_{predict}$	$\%error$
6	32.46	31.64	-2.53	31	44.20	43.82	-0.86
7	20.43	21.11	3.33	32	47.58	47.61	0.06
8	61.88	61.59	-0.47	33	27.87	27.06	-2.91
9	50.58	52.35	3.50	34	37.40	35.47	-5.16
10	56.21	56.19	-0.04	35	69.49	69.82	0.47
11	29.06	31.28	7.64	36	43.49	43.00	-1.13
12	70.49	69.87	-0.88	37	31.64	31.78	0.44
13	58.86	58.88	0.03	38	61.96	61.11	-1.37
14	48.07	48.77	1.46	39	41.05	40.45	-1.46
15	42.77	43.34	1.33	40	11.35	13.54	19.30
16	68.56	68.61	0.07	41	40.34	40.02	-0.79
17	38.95	38.92	-0.08	42	45.31	45.04	-0.60
18	24.71	25.58	3.52	43	62.95	64.02	1.70
19	42.59	41.24	-3.17	44	24.03	23.82	-0.87
20	56.50	56.39	-0.19	45	15.18	17.31	14.03
21	40.45	40.24	-0.52	46	25.14	24.84	-1.19
22	60.64	61.08	0.73	47	43.59	43.26	-0.76
23	70.14	70.22	0.11	48	68.40	68.22	-0.26
24	31.74	30.93	-2.55	49	19.33	18.86	-2.43
25	52.71	53.07	0.68	50	34.93	34.84	-0.26

$$\%error_{AVG} = \frac{\sum|\%error|}{n} \tag{2.10}$$

โดย n = จำนวนข้อมูล

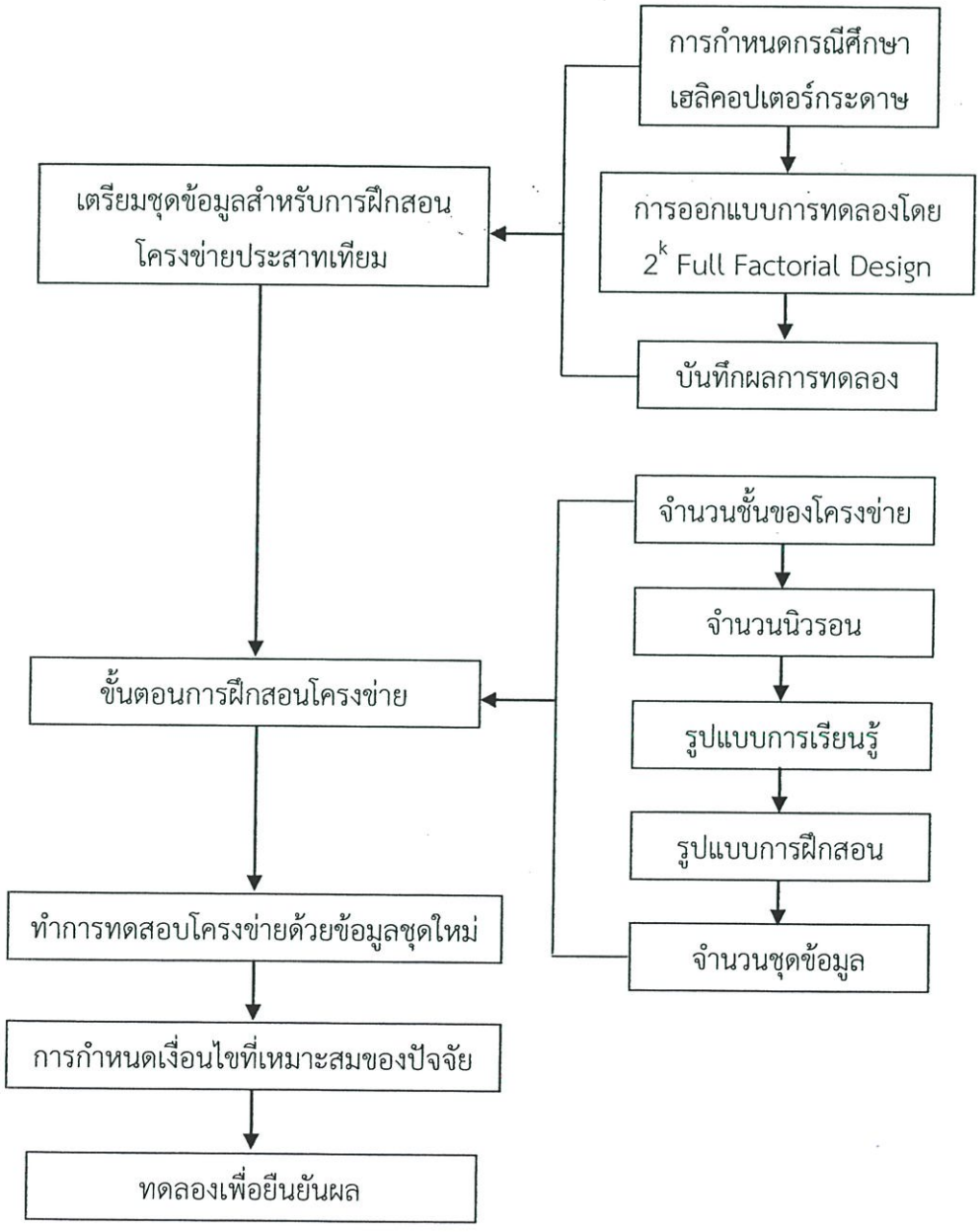
$error$ = ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด

$\%error_{AVG}$ = ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย

พิจารณาค่า $\%error$ ของทั้ง 50 ข้อมูลแล้วคำนวณหา $\%error$ เฉลี่ยได้เท่ากับ 2.46% ซึ่งโดยทั่วไปค่า $\%error$ ที่น้อยกว่า 15% ถือเป็นค่าที่ยอมรับได้ในการใช้งานโดยทั่วไป จากตัวอย่างการประยุกต์นี้สามารถสรุปได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้จริง

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

หลังจากได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง และการใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมในโปรแกรมแมทแลปแล้ว ในบทนี้จะอธิบายถึงขั้นตอนการดำเนินงาน ซึ่งมีวิธีการดังนี้



3.1 การเตรียมชุดข้อมูลสำหรับการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

3.1.1 การกำหนดกรณีศึกษา

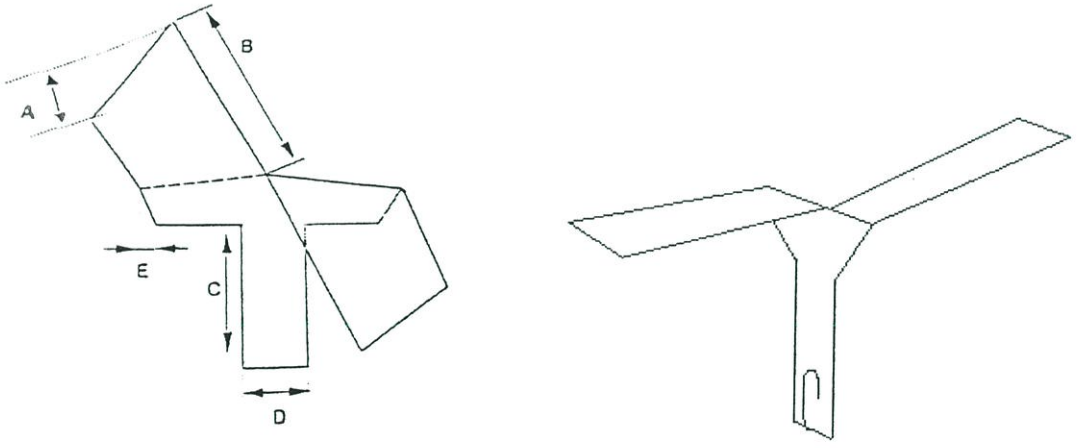
กรณีศึกษาคือเฮลิคอปเตอร์กระดาษ เพื่อหาค่าของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ระยะเวลาในการบินของเฮลิคอปเตอร์ที่ต้องการ ซึ่งมีปัจจัยนำเข้า 5 ปัจจัย

- วัตถุประสงค์

หาเงื่อนไขของปัจจัยในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์ โดยเริ่มตั้งแต่เฮลิคอปเตอร์ออกจากมือไปจนตกสู่พื้น

— ข้อจำกัดของขนาดมีดังนี้

ปัจจัย	ช่วง
A ความลึกของการตัดปีกเข้า	1.0 cm. - 2.0 cm.
B ความยาวของปีก	11.0 cm. - 13.0 cm.
C ความยาวของลำตัว	8.0 cm. - 9.0 cm.
D ความกว้างของลำตัว	2.0 cm. - 3.0 cm.
E ความลึกของการตัดลำตัวเข้า	0.0 cm. - 1.0 cm.



รูปที่ 3.1 ปัจจัยของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ

— วิธีการทดลอง

1. กำหนดความสูงของจุดปล่อยที่ระยะ 8 ฟุต ใช้เชือกกำหนดระยะ
2. ต้องมั่นใจว่าพื้นที่ทดสอบบิน มีมาตรฐานที่ปลอดภัยดังนี้
    a. ไม่มีลมในพื้นที่ทดสอบการบิน
    b. มีพื้นที่ว่างพอเพื่อหลีกเลี่ยงการชน

c. นักบินต้องมีความสามารถทางกีฬาพอสมควร เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดโอกาสตกจากเก้าอี้

3. นักบินปล่อยเฮลิคอปเตอร์ โดยนักบินต้องจับเฮลิคอปเตอร์ที่ปลายปีก

4. ผู้จับเวลา เช็คเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลา

5. บันทึกเวลาบินของเฮลิคอปเตอร์

6. ทดสอบเฮลิคอปเตอร์ลำต่อไป โดยเริ่มต้นที่ขั้นตอนที่ 3

7. รวมรวบข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผล

3.1.2 การออกแบบการทดลองโดยวิธี 2^k Full Factorial Design

ทำการออกแบบการทดลองด้วยรูปแบบมาตรฐาน (Full Factorial Design: 2^k) โดยมีปัจจัยทั้งหมด 5 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ได้จำนวนการทดลอง 32 ครั้ง แต่ละครั้งทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ฉะนั้นจะได้จำนวนการทดลองทั้งสิ้น 96 ครั้ง โดยลำดับของการทดลองได้มากจากการสุ่ม

ตารางที่ 3.1 ปัจจัยและระดับของปัจจัย

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		หน่วย
		Low (-)	High (+)	
A	ความลึกของการตัดปีกเข้า	1.0	2.0	เซนติเมตร
B	ความยาวของปีก	11.0	13.0	เซนติเมตร
C	ความยาวของลำตัว	8.0	9.0	เซนติเมตร
D	ความกว้างของลำตัว	2.0	3.0	เซนติเมตร
E	ความลึกของการตัดลำตัวเข้า	0.0	1.0	เซนติเมตร

3.1.3 บันทึกผลการทดลอง

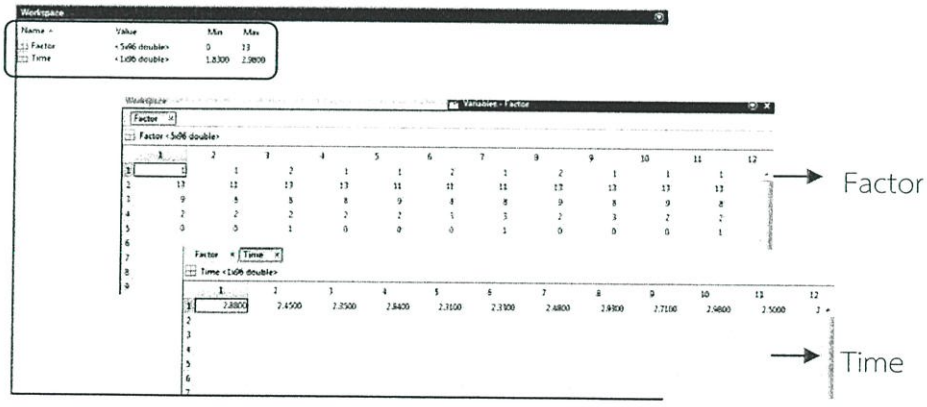
บันทึกเวลาการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์ทั้ง 96 ค่า เพื่อนำไปใช้เป็นชุดข้อมูลฝึกสอน

3.2 ขั้นตอนการฝึกสอนโครงข่าย

นำชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาป้อนให้กับโครงข่ายประสาทเทียม โดยจัดข้อมูลดังกล่าวให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ เมตริกซ์ของตัวแปรป้อนเข้าจะมีจำนวนหลักเท่ากับ 96 หลัก และมีจำนวนแถวเท่ากับจำนวนตัวแปรป้อนเข้าคือ 5 แถว ส่วนเมตริกซ์ของตัวแปรเป้าหมายจะมีจำนวนหลักเท่ากับ 96 หลัก และมีจำนวนแถวเท่ากับจำนวนตัวแปรเป้าหมายคือ 1 แถว

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรป้อนเข้าและตัวแปรเป้าหมาย

ตัวแปรป้อนเข้า	ความหมาย	หน่วย
1. A: Depth of cut wing	ความลึกของการตัดปีกเข้า	เซนติเมตร
2. B: Length of wing	ความยาวของปีก	เซนติเมตร
3. C: Length of body	ความยาวของลำตัว	เซนติเมตร
4. D: Width of body	ความกว้างของลำตัว	เซนติเมตร
5. E: Depth of cut body	ความลึกของการตัดลำตัวเข้า	เซนติเมตร
ตัวแปรเป้าหมาย		
1. Flight time	เวลาการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์	วินาที



รูปที่ 3.2 ชุดข้อมูลสำหรับการฝึกสอนโครงข่าย

สร้างชุดข้อมูลในพื้นที่ทำงานที่หน้าโปรแกรม จะได้ชุดข้อมูลสำหรับการฝึกสอนโครงข่ายดังรูปที่ 3.2 ชุดข้อมูลป้อนเข้าได้แก่ Factor และชุดข้อมูลเป้าหมายได้แก่ Time

3.2.1 จำนวนชั้นและจำนวนนิวรอน

3.2.1.1 จำนวนชั้นของโครงข่าย

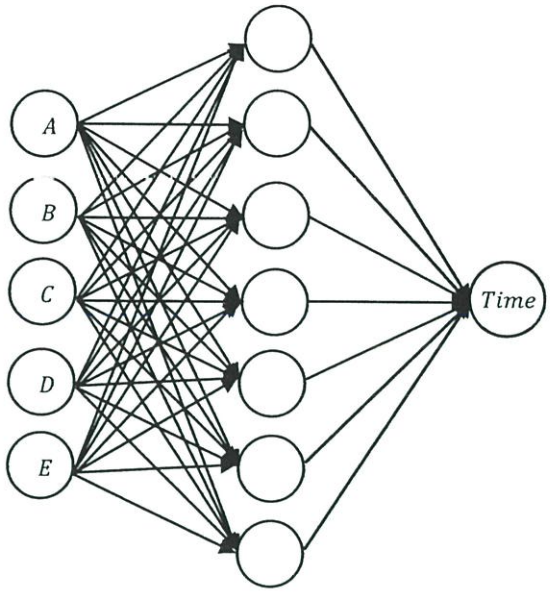
กำหนดให้โครงข่ายประสาทเทียมมีจำนวนชั้นเพียง 3 ชั้น ประกอบด้วยชั้นรับข้อมูลจำนวน 1 ชั้น ชั้นซ่อนจำนวน 1 ขั้นและชั้นแสดงผลจำนวน 1 ชั้น โดยการกำหนดจำนวนชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมในโปรแกรมแมทแลปนี้จะไม่นับรวมชั้นแสดงผล ดังนั้นจำนวนชั้นของโครงข่ายจะมีค่าเท่ากับ 2

3.2.1.2 จำนวนนิวรอน

จำนวนนิวรอนในแต่ละชั้นมีค่าดังนี้ ชั้นอินพุทจำนวน 5 นิวรอน ชั้นเอาท์พุทจำนวน 1 นิวรอน และในชั้นซ่อนกำหนดให้มีค่าตั้งแต่ 7 นิวรอนและปรับเพิ่มขึ้นทีละ 1 นิวรอน จนมีค่าเท่ากับ 13 นิวรอน จำนวนนิวรอนในแต่ละชั้นของโครงข่ายเขียนได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การออกแบบการทดลองเพื่อหาจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่แตกต่างกัน 7 รูปแบบ

รูปแบบโครงสร้าง (จำนวนนิวรอน)					
รูปแบบที่	ชั้นรับข้อมูล	-	ชั้นซ่อน	-	ชั้นแสดงผล
1.	5	-	7	-	1
2.	5	-	8	-	1
3.	5	-	9	-	1
4.	5	-	10	-	1
5.	5	-	11	-	1
6.	5	-	12	-	1
7.	5	-	13	-	1



รูปที่ 3.3 โครงข่ายประสาทเทียมที่มีรูปแบบโครงสร้างแบบ 5-7-1

จากรูปที่ 3.3 เป็นตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียมที่มีรูปแบบโครงสร้างแบบ 5-7-1 นั่นคือมีนิวรอนในชั้นรับข้อมูลจำนวน 5 นิวรอน ในชั้นซ่อนจำนวน 7 นิวรอน และชั้นแสดงผลจำนวน 1 นิวรอน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของรูปแบบโครงสร้างทั้ง 7 รูปแบบที่ได้ออกแบบมา

3.2.2 ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบ TANSIG

เลือกเป็นฟังก์ชันเงื่อนไขสำหรับการถ่ายโอนข้อมูลจากชั้นซ่อนไปยังชั้นแสดงผล

3.2.3 รูปแบบการเรียนรู้แบบ Feed-Forward Backpropagation

สำหรับส่งค่าผิดพลาดไปยังชั้นต่างๆของโครงข่าย

3.2.4 รูปแบบการฝึกสอนแบบ Levenberg-Marquardt

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้การเรียนรู้ของโครงข่ายชนิด trainlm หรือ Levenberg-Marquardt

3.2.5 จำนวนชุดข้อมูลที่นำไปใช้ในการสร้างและทดสอบโครงข่าย

ชุดข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมถูกแบ่งออกเป็น 3 ชุดข้อมูล ดังนี้

3.2.5.1 ชุดข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ (Training Set)

3.2.5.2 ชุดข้อมูลสำหรับการตรวจประเมิน (Validation Set) หรือการฝึกสอนโครงข่าย

3.2.5.3 ชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Testing Set)

3.3 การทดสอบโครงข่ายด้วยชุดข้อมูลใหม่

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้นำค่าของปัจจัยทั้ง 5 มาใช้ในการสร้างชุดข้อมูล โดยกำหนดให้ค่าของปัจจัยมีค่าตั้งแต่ค่าที่ต่ำที่สุดและเพิ่มขึ้นทีละ 0.1 ไปจนถึงค่าที่สูงที่สุด ดังนั้นแต่ละปัจจัยจะมีจำนวนข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 3.5 เมื่อนำจำนวนข้อมูลของแต่ละปัจจัยมาสร้างชุดข้อมูล เราจะได้ชุดข้อมูลได้จำนวน 307,461 ชุด ซึ่งค่าของชุดข้อมูลหาได้จากผลคูณของจำนวนข้อมูลของทุกปัจจัย

ตารางที่ 3.4 ค่าปัจจัยที่ใช้สร้างชุดข้อมูลเพื่อใช้หาค่าพยากรณ์

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ช่วง	จำนวนข้อมูล
A	ความลึกของการตัดปีกเข้า	1.0 – 2.0	11
B	ความยาวของปีก	11.0 – 13.0	21
C	ความยาวของลำตัว	8.0 – 9.0	11
D	ความกว้างของลำตัว	2.0 – 3.0	11
E	ความลึกชองการตัดลำตัวเข้า	0.0 – 1.0	11

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างชุดข้อมูลทดสอบจำนวน 307,461 ชุด

No.	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*
1	1.0	11.0	8.0	2.0	0.0
2	1.1	11.0	8.0	2.0	0.0
3	1.2	11.0	8.0	2.0	0.0
4	1.3	11.0	8.0	2.0	0.0
5	1.4	11.0	8.0	2.0	0.0
6	1.5	11.0	8.0	2.0	0.0
7	1.6	11.0	8.0	2.0	0.0
8	1.7	11.0	8.0	2.0	0.0
9	1.8	11.0	8.0	2.0	0.0
10	1.9	11.0	8.0	2.0	0.0
11	2.0	11.0	8.0	2.0	0.0
12	1.0	11.1	8.0	2.0	0.0
.	.	.	.	.	.
307,460	1.9	13.0	9.0	3.0	1.0
307,461	2.0	13.0	9.0	3.0	1.0

นำชุดข้อมูลทดสอบป้อนเข้าให้กับโครงข่ายเพื่อทำการทดสอบหาผลลัพธ์ โดยใช้รูปแบบของโครงข่ายที่ได้เลือกไว้ในข้างต้น จะได้ผลลัพธ์ออกมา 307,461 ชุด เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

3.4 การกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัย

หลังจากทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลชุดใหม่แล้ว ในขั้นตอนนี้เราต้องการหาเงื่อนไขของปัจจัยที่ให้เวลาการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์เท่ากับ 2.9 วินาที จึงเลือกใช้ปัจจัยที่ให้เวลาการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์อยู่ในช่วง 2.9±0.05 วินาที และมีพื้นที่กระดาษของเฮลิคอปเตอร์ที่น้อยที่สุด โดยพื้นที่กระดาษของเฮลิคอปเตอร์คำนวณได้จากสมการ 3.1 การกำหนดค่าของปัจจัยนี้เปรียบเสมือนการเลือกปัจจัยที่ทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมรวมทั้งลดค่าใช้จ่ายเรื่องวัตถุดิบด้วย

$$Area = 18 - 3A + 6B + CD - E \tag{3.1}$$

ซึ่ง $Area$ = พื้นที่ของกระดาษที่ใช้สร้างเฮลิคอปเตอร์ (ตารางเซนติเมตร)

A = ค่าของปัจจัย A ความลึกของการตัดปีกเข้า (เซนติเมตร)

B = ค่าของปัจจัย B ความยาวของปีก (เซนติเมตร)

C = ค่าของปัจจัย C ความยาวของลำตัว (เซนติเมตร)

D = ค่าของปัจจัย D ความกว้างของลำตัว (เซนติเมตร)

E = ค่าของปัจจัย E ความลึกของการตัดลำตัวเข้า (เซนติเมตร)

3.5 ทดลองเพื่อยืนยันผล

ผู้วิจัยได้เลือกเงื่อนไขของปัจจัยที่มีคุณสมบัติของข้อมูลดังข้างต้นมาทำการทดลองจำนวน 20 ครั้ง โดยทำการทดลองในสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับขั้นตอนการเก็บข้อมูลมากที่สุดเพื่อลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น แล้วพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้ว่าค่าปัจจัยเหล่านั้นทำให้ได้เป้าหมายที่ 2.9 วินาทีหรือไม่ โดยค่าความผิดพลาดจากการทดลองต้องมีค่าไม่เกิน 5% จึงจะยอมรับได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการพยากรณ์หาค่าที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้จริง

บทที่ 4
ผลการทดลอง

จากการดำเนินงานวิจัยตามขั้นตอนที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ได้ผลการทดลองที่ประกอบด้วยผลการที่มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการออกแบบการทดลองโดย 2^k Full Factorial Design

4.2 การประยุกต์ใช้งาน Neural Network ในโปรแกรมแมทแลป

4.3 การทดสอบโครงข่ายด้วยชุดข้อมูลใหม่

4.4 การกำหนดค่าที่เหมาะสมของปัจจัย

4.5 ทดลองเพื่อยืนยันผล

4.1 ผลการออกแบบการทดลองโดย 2^k Full Factorial Design

จากการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Full Factorial Design และทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จะได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 96 การทดลอง

ตารางที่ 4.1 ลำดับและระดับของการทดลองที่ได้จาก 2^5 Full Factorial Design

RunOrder	A	B	C	D	E	Rep 1	Rep 2	Rep 3
1	1	11	8	2	0	2.18	2.46	2.45
2	2	11	8	2	0	2.43	2.46	2.29
3	1	13	8	2	0	2.84	2.49	2.11
4	2	13	8	2	0	2.73	2.58	2.53
5	1	11	9	2	0	2.43	2.15	2.31
6	2	11	9	2	0	2.2	2.15	2.51
7	1	13	9	2	0	2.88	2.98	2.93
8	2	13	9	2	0	2.61	2.93	2.43
9	1	11	8	3	0	2.49	2.3	2.33
10	2	11	8	3	0	2.49	2.33	2.23
11	1	13	8	3	0	2.85	2.71	2.4
12	2	13	8	3	0	2.54	2.51	2.78

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ลำดับและระดับของการทดลองที่ได้จาก 2^5 Full Factorial Design

RunOrder	A	B	C	D	E	Rep 1	Rep 2	Rep 3
13	1	11	9	3	0	2.35	2.28	2.19
14	2	11	9	3	0	2.24	2.23	2.31
15	1	13	9	3	0	2.6	2.39	2.23
16	2	13	9	3	0	2.76	2.43	2.83
17	1	11	8	2	1	2.35	2.38	2.33
18	2	11	8	2	1	2.51	2.31	2.5
19	1	13	8	2	1	2.8	2.76	2.5
20	2	13	8	2	1	2.92	2.71	2.35
21	1	11	9	2	1	2.55	2.34	2.39
22	2	11	9	2	1	2.26	2.2	2.59
23	1	13	9	2	1	2.49	2.63	2.83
24	2	13	9	2	1	2.7	2.73	2.68
25	1	11	8	3	1	2.48	2.63	2.61
26	2	11	8	3	1	2.5	2.21	2.58
27	1	13	8	3	1	2.53	2.48	2.06
28	2	13	8	3	1	2.84	2.36	2.63
29	1	11	9	3	1	2.34	2.3	2.3
30	2	11	9	3	1	1.83	1.94	1.88
31	1	13	9	3	1	2.86	2.51	2.58
32	2	13	9	3	1	2.48	2.38	2.14

ทำการทดลองตามลำดับของ RunOrder ได้เวลาการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากนั้นวิเคราะห์ผลทางสถิติดังนี้

1. การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ

จากกราฟ Normal Probability Plot มีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ และจากกราฟ Histogram มีรูปทรงระฆังคว่ำ ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ

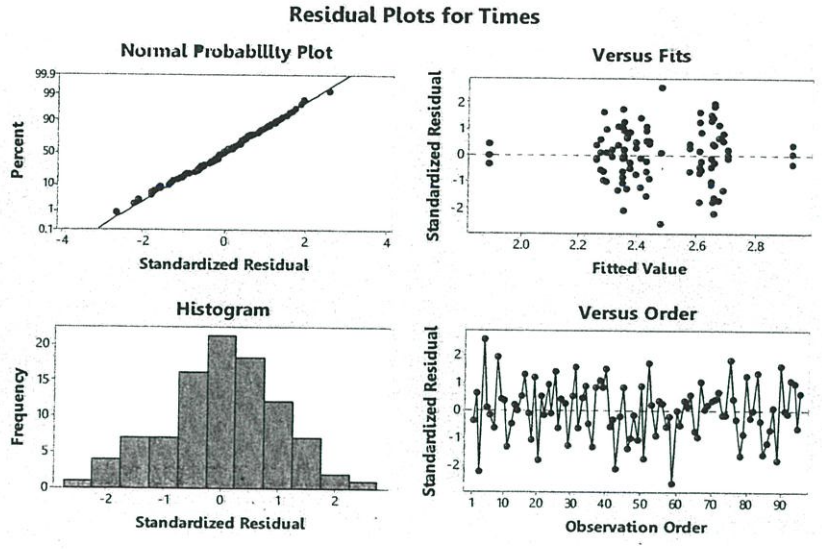
2. การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

จากกราฟ Versus Order ลักษณะของข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน เนื่องจากการกระจายไม่มีรูปแบบ

3. การตรวจสอบความแปรปรวนคงที่

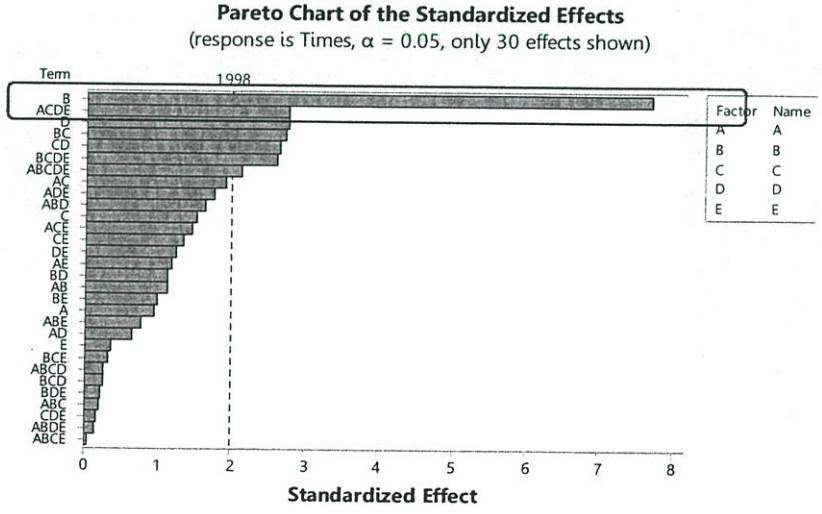
จากกราฟ Versus Fits ความแปรปรวนค่อนข้างมีความสม่ำเสมอ

จากการวิเคราะห์ผลข้างต้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเพียงพอที่จะนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ



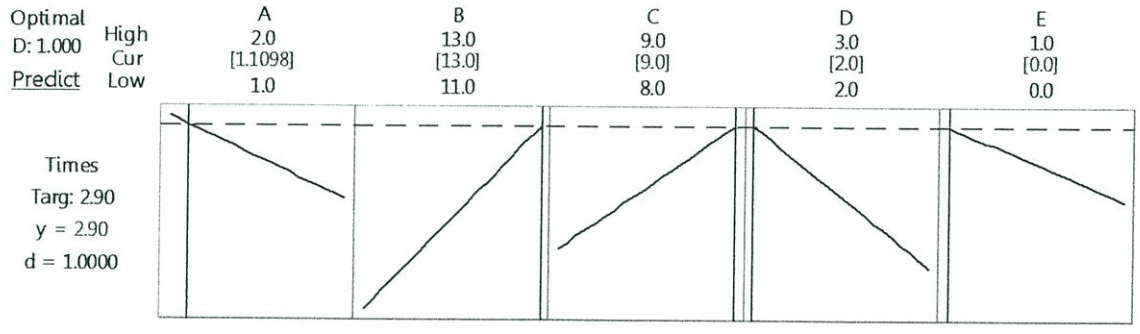
รูปที่ 4.1 กราฟสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเวลาการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษมากที่สุดได้แก่ ปัจจัยหลัก (Main Effect) B ซึ่งก็คือความยาวของปีก (Wing Length) ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 ส่วนปัจจัย A ความลึกของการตัดปีกเข้า (Cutting wing Depth) C ความยาวของลำตัว (Body Length) D ความกว้างของลำตัว (Body Width) และ E ความลึกของการตัดลำตัวเข้า (Cutting body Depth) ไม่มีอิทธิพลต่อเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟพาเรโต้แสดงอิทธิพลของแต่ละปัจจัย

ทำ Response Optimization โดยกำหนดค่าเป้าหมายคือเวลาการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์ มีค่าเท่ากับ 2.90 วินาที เงื่อนไขของปัจจัยที่ได้จากวิธีแฟคเทอเรียลเต็มรูปคือ ปัจจัย A=1.1098, B=13.0, C=9.0, D=2.0 และ E=0.0



รูปที่ 4.3 เงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสม

เมื่อนำเงื่อนไขของปัจจัยมาทำการทดลองเพื่อพิจารณาผลลัพธ์ 20 ครั้ง พบว่าค่าเฉลี่ยของผลการทดลองเท่ากับ 2.766 วินาที คิดเป็นความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 4.62% โดยผลจากการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองทั้ง 20 ครั้ง โดยเงื่อนไขของปัจจัยที่ได้จากวิธีแฟคเทอเรียลเต็มรูป

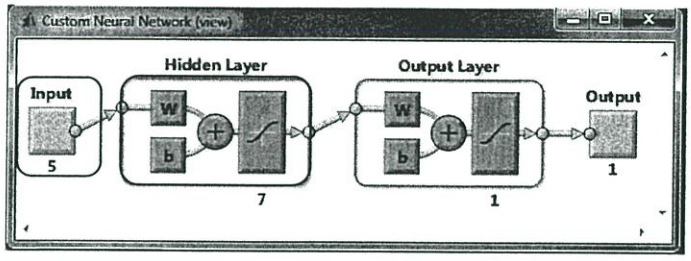
ทดลองครั้งที่	เวลา (วินาที)	ทดลองครั้งที่	เวลา (วินาที)
1	2.72	11	2.85
2	2.83	12	2.86
3	2.88	13	2.74
4	2.76	14	2.75
5	2.90	15	2.78
6	2.65	16	2.76
7	2.80	17	2.78
8	3.03	18	2.83
9	2.76	19	2.83
10	2.95	20	2.76

4.2 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม

4.2.1 จำนวนชั้นและจำนวนนิวรอน

4.2.1.1 จำนวนชั้นของโครงข่าย

จำนวนชั้นของโครงข่ายคือ 2 ชั้นไม่นับรวมชั้นแสดงผล ได้แก่ชั้นรับข้อมูล และชั้นซ่อน



รูปที่ 4.4 จำนวนชั้นของโครงข่าย

4.2.1.2 จำนวนนิวรอน

เมื่อปรับจำนวนนิวรอนทั้ง 7 รูปแบบ และหาค่า *MSE* ของแต่ละรูปแบบ โดยคำนวณจากชุดข้อมูลทั้งหมดจะได้ค่าดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่า *MSE* ของจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่แตกต่างกัน 7 รูปแบบ

รูปแบบโครงสร้าง (จำนวนนิวรอน)						*MSE*
รูปแบบที่	ชั้นรับข้อมูล	-	ชั้นซ่อน	-	ชั้นแสดงผล	
1.	5	-	7	-	1	0.031065
2.	5	-	8	-	1	0.029954
3.	5	-	9	-	1	0.023788
4.	**5**	**-**	**10**	**-**	**1**	**0.012283**
5.	5	-	11	-	1	0.019383
6.	5	-	12	-	1	0.029194
7.	5	-	13	-	1	0.021212

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า *MSE* ของชุดข้อมูลสำหรับการตรวจประเมินของโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 7 รูปแบบ โดยโครงสร้างแบบ 5-10-1 มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่น้อยที่สุดเท่ากับ 0.012283

4.2.2 ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบ TANSIG

ใช้เป็นเงื่อนไขการถ่ายโอนข้อมูลจากชั้นซ่อนไปยังชั้นแสดงผล

4.2.3 รูปแบบการเรียนรู้แบบ Feed-Forward Backpropagation

การเรียนรู้ของโครงข่ายจะเริ่มจากการจากสุ่มค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละนิวรอนขึ้นมา แล้วค่อยๆ ปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมอยู่ระหว่างนิวรอนทุกๆนิวรอนในแต่ละชั้นให้มีค่าที่เหมาะสม โดยการปรับค่าถ่วงน้ำหนักจะใช้วิธีที่เรียกว่า Feed-Forward ในการคำนวณค่าของความผิดพลาด จากนั้นเมื่อรู้ค่าความผิดพลาดแล้วก็จะ Backpropagation หรือแพร่ค่าย้อนกลับไปยังชั้นป้อนข้อมูลเข้าใหม่เพื่อปรับค่าถ่วงน้ำหนักให้ได้ค่าความผิดพลาดที่น้อยลง และในการเรียนรู้นี้ก็จะทำซ้ำกระบวนการไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ค่าความผิดพลาดที่เป็นที่ยอมรับของกระบวนการ

4.2.4 รูปแบบการฝึกสอนแบบ Levenberg-Marquardt

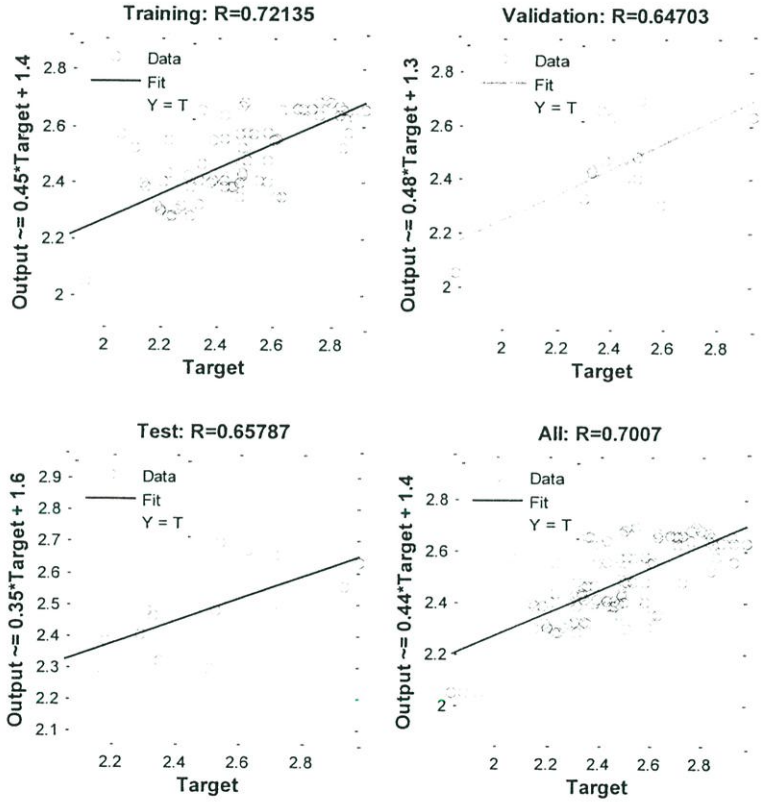
ในงานวิจัยนี้เลือกใช้การเรียนรู้ของโครงข่ายชนิด trainlm หรือ Levenberg-Marquardt ซึ่งเป็นฟังก์ชันแรกที่สามารถลู่เข้าเป้าหมายได้อย่างรวดเร็วโดยทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าไบแอสอัตโนมัติ โดยมีค่าเริ่มต้นเป็นค่าสุ่ม เพื่อลดค่าความผิดพลาดระหว่างค่าเป้าหมายกับค่าเอาท์พุท พารามิเตอร์การฝึกสอนแสดงดังตารางที่ 4.4 ซึ่งเป็นค่าเป้าหมายที่จะหยุดการสอนของโครงข่าย

ตารางที่ 4.4 ค่าเป้าหมายสำหรับการเรียนรู้โครงข่ายชนิด trainlm

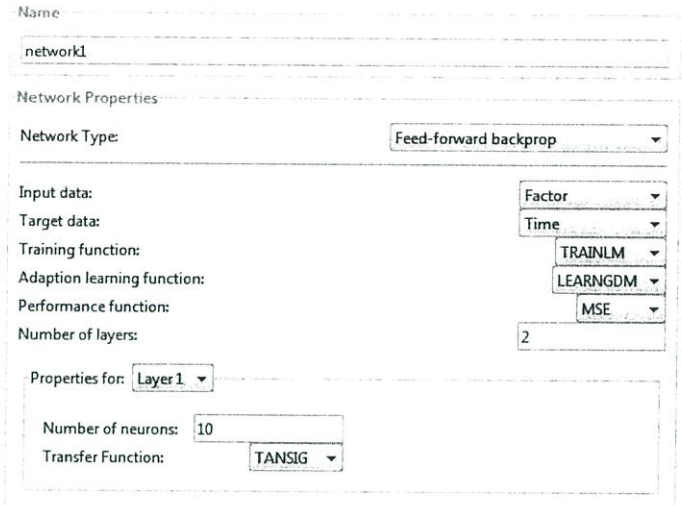
รายการ	ค่าเป้าหมาย	รายละเอียด
showCommandLine	0	Generate command-line output
showWindow	1	Show training GUI
show	25	Epochs between displays (NaN for nodisplays)
epochs	1000	Maximum number of epochs to train
time	Inf	Maximum time to train in seconds
goal	0	Performance goal
min_grad	1e-05	Minimum performance gradient
max_fail	6	Maximum validation failures

4.2.5 จำนวนชุดข้อมูลที่นำไปใช้ในการสร้างและทดสอบโครงข่าย

ชุดข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมถูกแบ่งออกเป็น 3 ชุดข้อมูล โดยในรูปที่ 4.6 Regression Plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเป้าหมายและผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายถูกแบ่งเป็น 3 ชุดข้อมูล แต่ละชุดจะมีค่า *R* ซึ่งใช้บอกความสามารถในการอธิบายข้อมูลของผลลัพธ์จากโครงข่าย โดยชุดแรกจะเป็นชุดข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ (Training Set) จำนวน 70% คิดเป็น 67 ชุดข้อมูล ชุดข้อมูลที่ใช้ในการตรวจประเมิน (Validation Set) จำนวน 15% คิดเป็น 14 ชุดข้อมูล ชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ (Testing Set) จำนวน 15% คิดเป็น 14 ชุดข้อมูล และสุดท้ายเป็นชุดข้อมูลทั้งหมด



รูปที่ 4.5 Regression Plot



รูปที่ 4.6 คุณสมบัติของโครงข่าย

รูปที่ 4.6 เป็นการตั้งค่าคุณสมบัติของโครงข่ายดังที่กล่าวมาข้างต้นได้แก่ รูปแบบการเรียนรู้ของโครงข่ายเป็นแบบ Feed-forward backpropagation ตัวแปรป้อนเข้าและตัวแปรเป้าหมายคือ Factor และ Time รูปแบบการฝึกสอนแบบ TRAINLM จำนวนชั้นของโครงข่ายเท่ากับ 2 จำนวนนิวรอนเท่ากับ 10 และสุดท้ายเป็นฟังก์ชันการถ่ายโอนข้อมูลจากชั้นป้อนเข้าไปยังชั้นแสดงผลเป็นแบบ TANSIG

4.3 การทดสอบโครงข่ายด้วยชุดข้อมูลใหม่

นำชุดข้อมูลทดสอบป้อนเข้าให้กับโครงข่ายเพื่อทำการทดสอบหาผลลัพธ์ โดยใช้ลักษณะโครงสร้างแบบ 5-10-1 จะได้ผลลัพธ์จากโครงข่ายออกมา 307,461 ชุด

4.4 การกำหนดเงื่อนที่เหมาะสมของปัจจัย

หลังจากทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลชุดใหม่ และเลือกใช้ชุดข้อมูลที่ให้เวลาการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์อยู่ในช่วง 2.9±0.05 วินาที จะได้ชุดข้อมูลจำนวน 8 ชุด นำปัจจัยทั้ง 8 ชุด มาหาพื้นที่การใช้งานของกระดาษได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ปัจจัยป้อนเข้าและเวลาการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์ที่ได้จากการพยากรณ์ของโครงข่าย

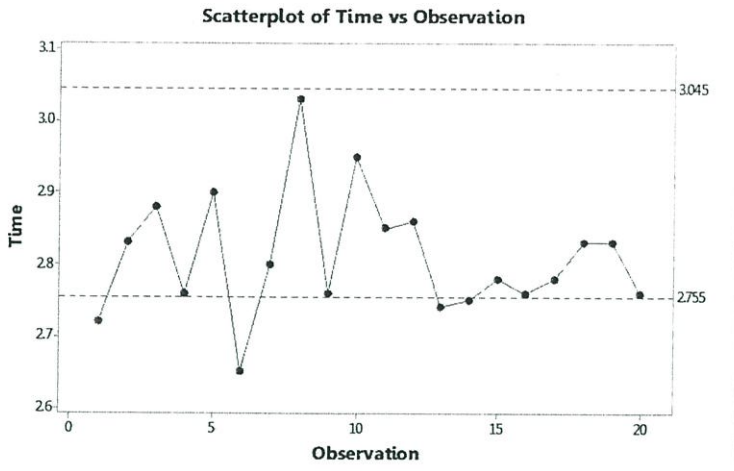
No.	A (cm.)	B (cm.)	C (cm.)	D (cm.)	E (cm.)	Time (sec.)	Area (cm^2)
1	1.1	12.9	9.0	2.0	0.0	2.852	110.1
2	1.2	12.9	9.0	2.0	0.0	2.852	109.8
3	**1.3**	**12.9**	**9.0**	**2.0**	**0.0**	**2.850**	**109.5**
4	1.0	13.0	9.0	2.0	0.0	2.854	111.0
5	1.1	13.0	9.0	2.0	0.0	2.856	110.7
6	1.2	13.0	9.0	2.0	0.0	2.855	110.4
7	1.3	13.0	9.0	2.0	0.0	2.853	110.1
8	1.0	13.0	9.0	2.1	0.0	2.851	111.9

4.5 ทดลองเพื่อยืนยันผล

นำเงื่อนไขของปัจจัยที่เลือกจากหัวข้อที่แล้วมาทำการทดลอง โดยเงื่อนไขขอองปัจจัยมีค่าดังนี้ ปัจจัย A=1.3, B=12.9, C=9.0, D=2.0 และ E=0 ทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการพยากรณ์ของโครงข่าย ทั้ง 20 ครั้ง พบว่าค่าเฉลี่ยของผลการทดลองเท่ากับ 2.811 วินาที คิดเป็นความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 3.07% ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่ 2.9±5% หรือที่ 2.755 ถึง 3.045 วินาที โดยผลจากการทดลองแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองทั้ง 20 ครั้ง โดยเงื่อนไขของปัจจัยที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม

ทดลองครั้งที่	เวลา (วินาที)	ทดลองครั้งที่	เวลา (วินาที)
1	2.72	11	2.85
2	2.83	12	2.86
3	2.88	13	2.74
4	2.76	14	2.75
5	2.90	15	2.78
6	2.65	16	2.76
7	2.80	17	2.78
8	3.03	18	2.83
9	2.76	19	2.83
10	2.95	20	2.76



รูปที่ 4.7 กราฟการกระจายตัวของผลการทดลอง 20 ครั้ง

จากกราฟการกระจายตัวพบว่าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 2.755 ถึง 3.045 วินาที ซึ่งจะสังเกตได้ว่ามีข้อมูลเพียง 3 ใน 20 ข้อมูล ที่อยู่นอกช่วงการควบคุมซึ่งสอดคล้องกับโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 2.850 วินาที จากผลข้างต้นสรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำไปใช้งานได้จริงทั้งในการหาเงื่อนไขของปัจจัยและค่าผลลัพธ์

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการหาปัจจัยที่ทำให้ได้ค่าที่ต้องการ โดยโครงข่ายประสาทเทียมนี้มีข้อมูลป้อนเข้า 5 ตัวแปร และมีผลลัพธ์ 1 ตัวแปรซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

จากกรณีศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระดาษ เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ โดยมีตัวแปรทั้งสิ้น 5 ตัวแปร แต่ละตัวมี 2 ระดับ จากนั้นดำเนินการออกแบบการทดลองตามขั้นตอนด้วยวิธีการ 2^k Factorial พบว่า ตัวแปรหลัก (Main Effect) คือ ตัวแปร B ความยาวของปีก (Wing Length) มีอิทธิพลต่อเวลาในการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ

นำผลการทดลองมาใช้ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัย โดยโครงข่ายนี้มีข้อมูลป้อนเข้า 5 ตัวแปร และมีผลลัพธ์ 1 ตัวแปร ใช้หลักการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับร่วมกับการฝึกสอนแบบเลเวนเบิร์ก-มาร์ควอร์ท ซึ่งจะทำการเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสของโครงข่ายเพื่อปรับผลลัพธ์ของแบบจำลองให้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด โดยลักษณะโครงสร้างของโครงข่ายมีทั้งหมด 7 รูปแบบ ซึ่งจะทำการหาจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่แตกต่างกันออกไปเพื่อออกแบบโครงข่ายที่ทำให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ต่ำที่สุด โดยรายละเอียดของโครงข่ายมีดังนี้

- ปัจจัยที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ปัจจัยป้อนเข้า (Input) ได้แก่ A คือความลึกของการตัดปีกเข้า B คือความยาวของปีก C คือความยาวของลำตัว D คือความกว้างของลำตัว และ E คือความลึกของการตัดลำตัวเข้า

ปัจจัยผลลัพธ์ (Output) ได้แก่ Time คือเวลาการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์

- รูปแบบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

รูปแบบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดได้แก่ โครงสร้างแบบ 5-10-1 นั่นคือ มีจำนวนนิวรอนในชั้นป้อนข้อมูลเข้าเท่ากับ 5 จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนเท่ากับ 10 และจำนวนนิวรอนในชั้นแสดงผลเท่ากับ 1 ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบแทน-ซิกมอยด์ โดยค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของกระบวนการเรียนรู้ ซึ่งหาได้จากชุดข้อมูลสำหรับการประเมินมีค่าเท่ากับ 0.012283

— เงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสม

เงื่อนไขของปัจจัยที่ได้จากการพยากรณ์ของโครงข่ายมีค่าดังนี้ ปัจจัย A=1.3 B=12.9 C=9.0 D=2.0 และ E=0 และเมื่อทำการทดลองทั้งหมด 20 ครั้ง โดยใช้ปัจจัยที่กล่าวไว้จะได้ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองเท่ากับ 2.811 วินาที มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 3.07% มีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้คือ 2.90 วินาที ±5% โดยค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการพยากรณ์ของโครงข่ายที่ 2.85 วินาที แสดงว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

5.2 บทวิจารณ์

งานวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงการใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม โดยเริ่มตั้งแต่การทำงานของโครงข่าย การเรียนรู้ การฝึกสอน ซึ่งถือว่าตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ในเริ่มแรก และหากต้องการให้เกิดประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นในการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายก็สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการเรียนรู้และการฝึกสอนของโครงข่าย เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมที่ทำให้ได้คำตอบที่ดียิ่งขึ้นไปอีก

5.3 ปัญหาและอุปสรรคที่พบ

ปัญหาที่พบในงานวิจัยครั้งนี้คือ

1. ปัญหาเกี่ยวกับการทดลอง โดยในการทดลองต้องควบคุมปัจจัยอื่นๆที่ควบคุมไม่ได้ยกตัวอย่างเช่น กระดาษที่ใช้ คลิปหนีบกระดาษ สภาพแวดล้อมต่างๆเพื่อให้เกิดความผิดพลาดที่น้อยที่สุด โดยในการเก็บข้อมูลนี้ต้องทำถึงสองครั้งเนื่องจากครั้งแรกใช้กระดาษที่ต่างกันในการทำเฮลิคอปเตอร์
2. ปัญหาการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเป็นการทำงานแบบ black box ทำให้ไม่ทราบว่าข้อมูลไหนที่ถูกใช้ในการฝึกสอน ทดสอบ และประเมินโครงข่าย

เอกสารอ้างอิง

- ชาญณรงค์ รอดระหงส์, ปริญญา เคนถาวร, สรณคมน์ นาคะเสถียร, 2551. การจำแนกชนิดยานพาหนะจากแผ่นป้ายทะเบียนโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นวภัค เอื้ออนันต์, 2546. เอกสารประกอบการเรียนวิชาวงจรโครงข่ายนิวรอลเทียม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- รศ.ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, รศ.ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท้อป.
- สุธิดา ปรีชาเดช, 2553. การพยากรณ์เวลาที่ใช้ในการขัดแผ่นซิลิคอนโดยโครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

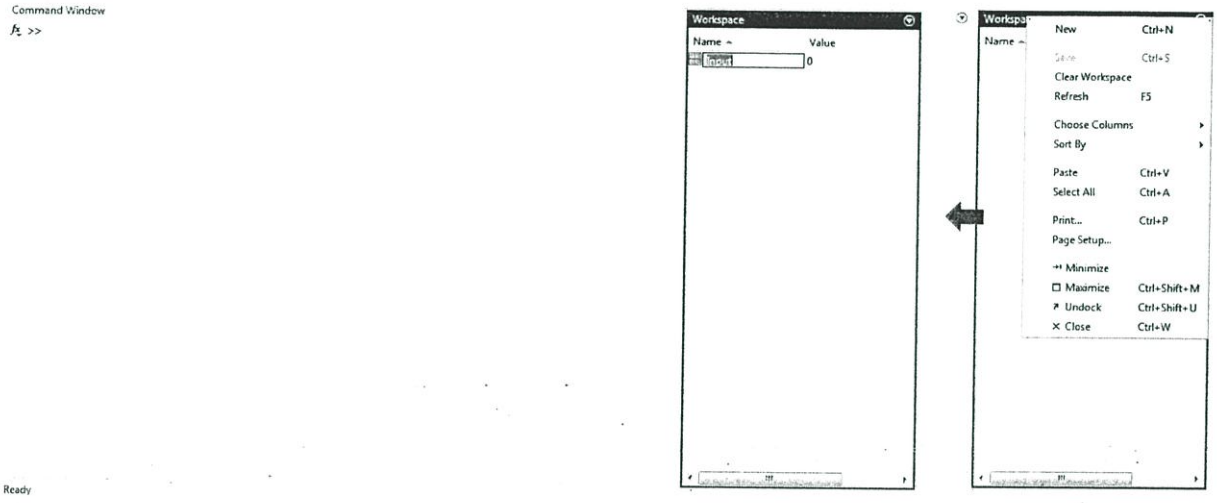
ภาคผนวก ก

คู่มือการใช้งานโปรแกรมแมทแลป (Matlab)

ที่ใช้ในการพยากรณ์หาเวลาการร่อนลงจอดของเฮลิคอปเตอร์กระดาษ

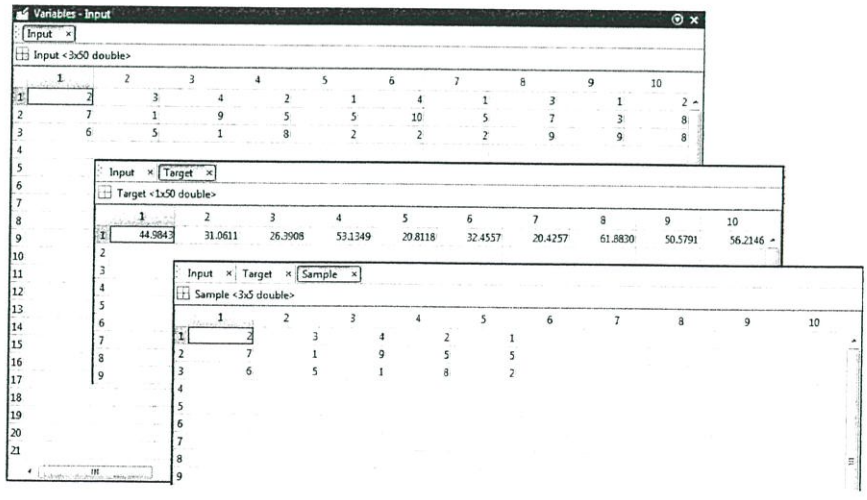
ขั้นตอนในการใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network Toolbox) ในโปรแกรมแมทแลปประกอบด้วยขั้นตอน 10 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: สร้างแผ่นงานสำหรับกรอกชุดข้อมูล แล้วกำหนดชื่อแผ่นงานตามต้องการ



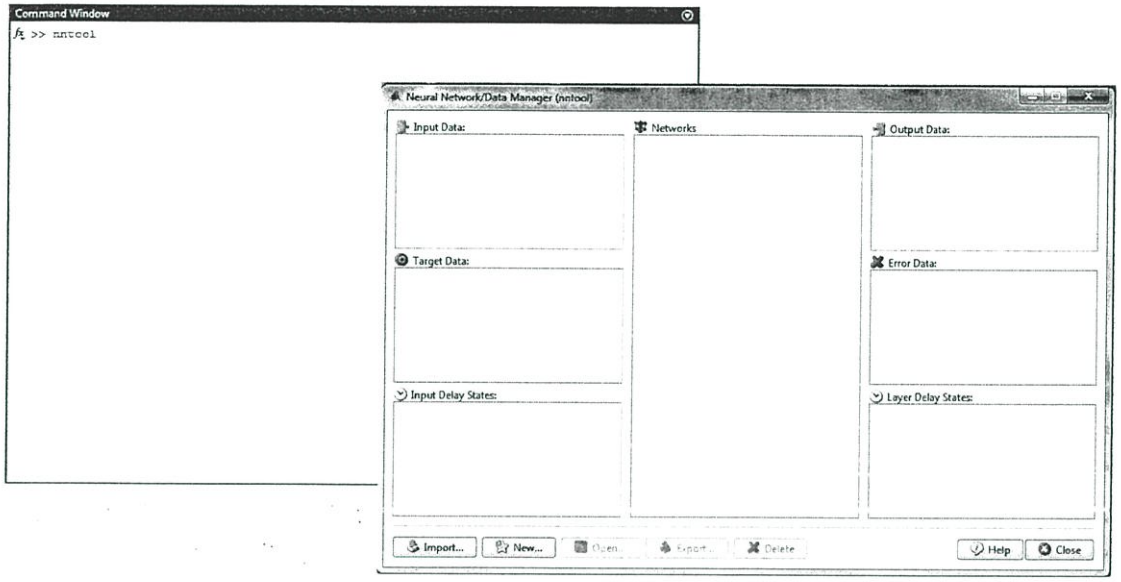
รูปที่ ผก 1 หน้าต่างหลักของตัวโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 2: กรอกข้อมูลลงในแผ่นงานจัดให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ โดยมีจำนวนแถวเท่ากับจำนวนตัวแปร และมีจำนวนหลักเท่ากับจำนวนชุดข้อมูล ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ 'Input' มีตัวแปรอินพุท 3 ค่า จำนวน 50 ชุด นั่นคือข้อมูลจะมีจำนวนแถว 3 แถวและมีจำนวนหลักเท่ากับ 50 หลัก ส่วน 'Target' มีจำนวนตัวแปรเอาท์พุท (ค่าเป้าหมาย) 1 ค่า จำนวน 50 ชุด และ 'Sample' มีตัวแปรอินพุทสำหรับหาผลลัพธ์ 3 ค่า จำนวน 5 ชุดตามลำดับ

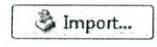


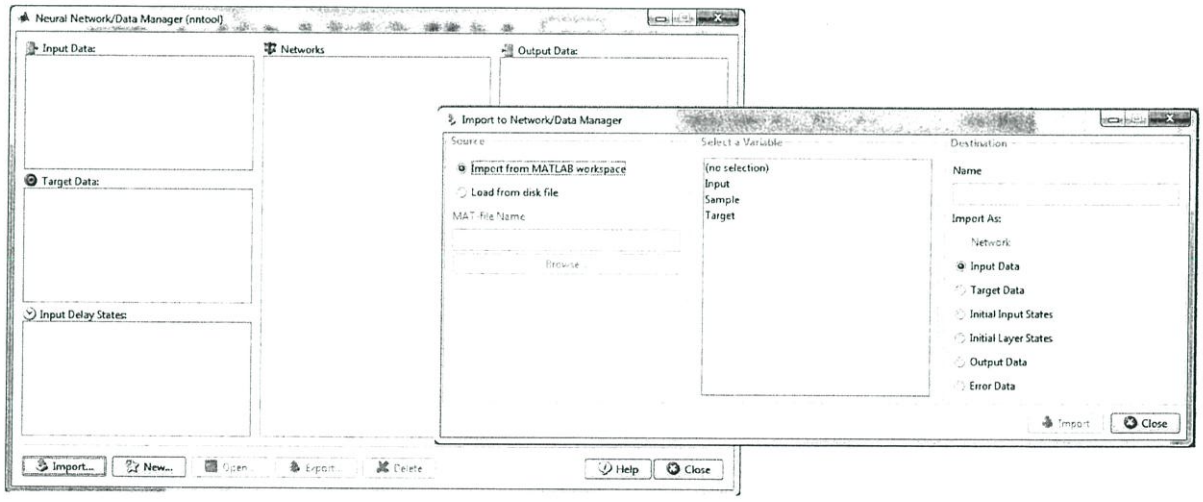
รูปที่ ผก 2 ชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอนและทดสอบโครงข่าย

ขั้นตอนที่ 3: ไปที่ Command Window พิมพ์คำสั่ง nntool แล้วกด enter เพื่อเริ่มใช้งาน neural network จากนั้นหน้าต่าง Neural Network/Data Manager (nntool) จะถูกเปิดขึ้น



รูปที่ ผก 3 หน้าต่างใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม

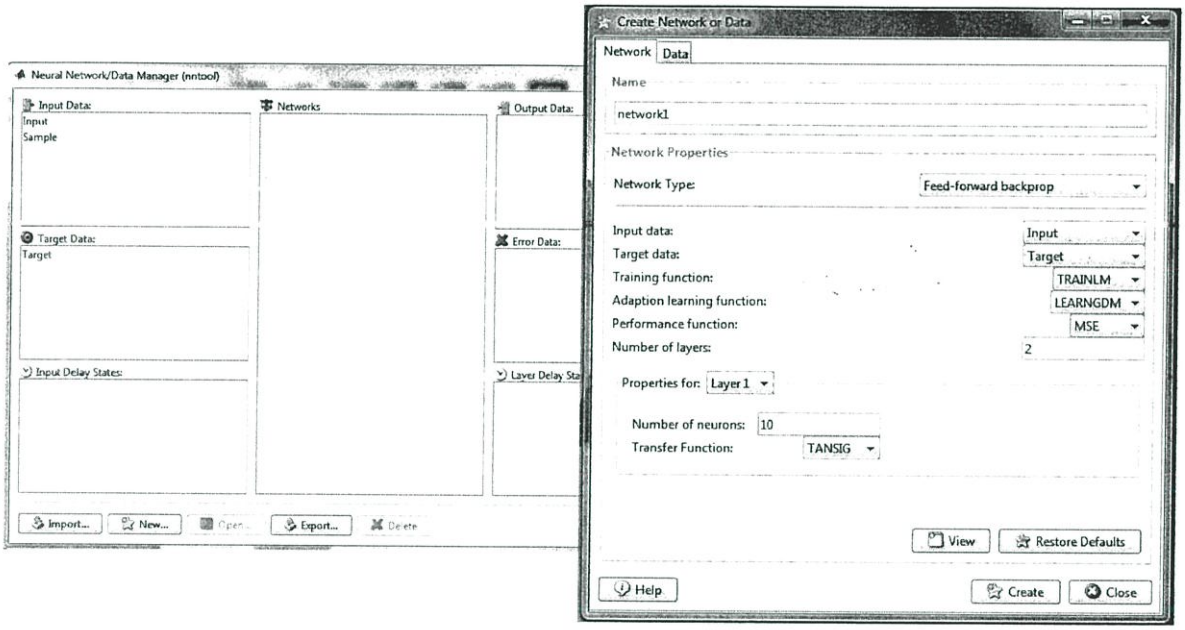
ขั้นตอนที่ 4: ป้อนข้อมูลเข้าเพื่อใช้ในการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายโดยคลิก 



รูปที่ ผก 4 หน้าต่างนำข้อมูลป้อนเข้า

เลือกข้อมูล 'Input' เพื่อกำหนดให้เป็นตัวแปรอินพุท (Input Data) โดยกด Import... ตามด้วย Ok จากนั้นเลือกข้อมูล 'Target' เพื่อกำหนดให้เป็นค่าเป้าหมาย (Target Data) และเลือกข้อมูล 'Sample' เพื่อกำหนดให้เป็นตัวแปรอินพุท(Input Data) สำหรับหาผลลัพธ์เช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อทำการโหลดข้อมูลเรียบร้อยแล้วให้ปิดหน้าต่างโดยกด Close

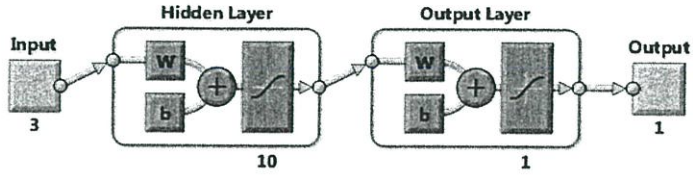
ขั้นตอนที่ 5: หลังจากนำข้อมูลเข้าเรียบร้อยแล้ว ให้สร้างโครงข่ายเพื่อทำการฝึกสอนโดยเลือก New... หน้าต่าง Create Network or Data จะถูกเปิดขึ้น ตั้งชื่อโครงข่าย และตั้งค่าคุณสมบัติของโครงข่ายดังรูป



รูปที่ ผก 5 หน้าต่างคุณสมบัติของโครงข่าย

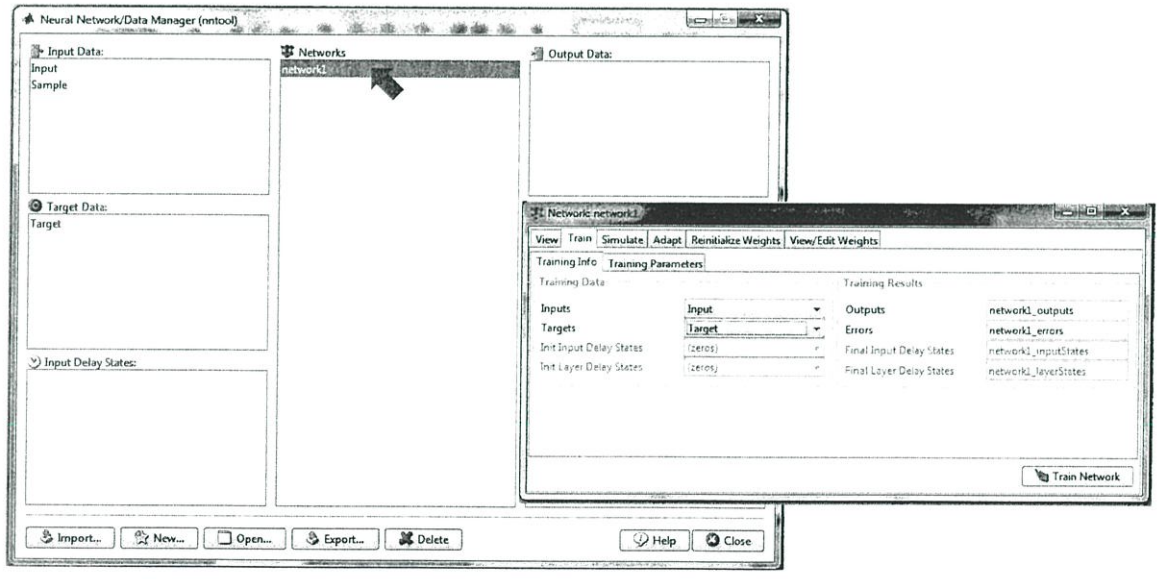
ชนิดของโครงข่ายเลือก Feed-forward backprop ซึ่งเป็นแบบแพร่ค่าป้อนไปข้างหน้าและมีการแพร่ค่าย้อนกลับของค่าผิดพลาด เลือกข้อมูล 'Input' กำหนดให้เป็นตัวแปรอินพุท และข้อมูล 'Target' กำหนดให้เป็นค่าเป้าหมาย ส่วนเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการฝึกสอนเลือก TRAINLM ถัดมาเป็นการกำหนดโครงสร้างของโครงข่าย โดยให้จำนวนชั้นของโครงข่ายเป็น 2 ซึ่งหมายถึงมีจำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น และจำนวนชั้นแสดงผล 1 ชั้น (ไม่นับรวมชั้นรับข้อมูล) จากนั้นตั้งค่าชั้นซ่อนของโครงข่าย โดยผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนจำนวนนิวรอนได้ เพื่อหาโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่าผิดพลาดระหว่างคำตอบที่แท้จริงและผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมต่ำที่สุด และสุดท้ายเลือกชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น TANSIG

หากต้องการดูแบบจำลองของโครงข่ายให้เลือก View ซึ่งแบบจำลองจะแสดงจำนวนนิวรอนของชั้นรับข้อมูล นิวรอนของชั้นซ่อน และนิวรอนของชั้นแสดงผล และหลังจากตั้งค่าคุณสมบัติของโครงข่ายเรียบร้อยแล้วให้เลือก Create และ Ok ตามลำดับ



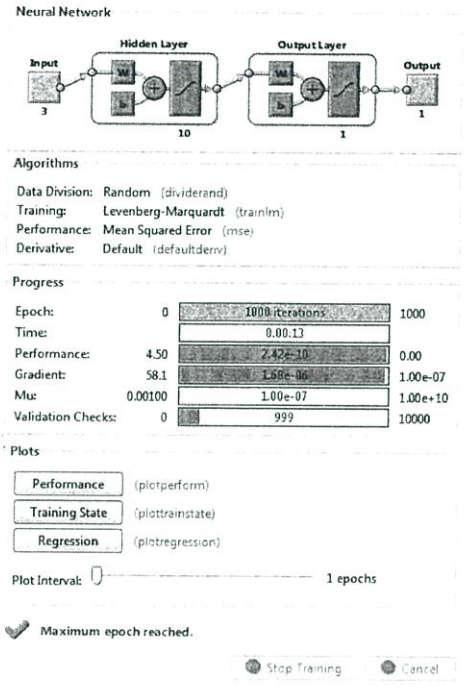
รูปที่ ผก 6 แบบจำลองแสดงจำนวนนิวรอนในแต่ละชั้น

ขั้นตอนที่ 6: เปิดโครงข่ายที่สร้างขึ้นเพื่อทำการฝึกสอน โดยเลือกการฝึกสอน เลือกตัวแปรอินพุทเป็นข้อมูล 'Input' ส่วนตัวแปรเป้าหมายเลือกข้อมูล 'Target' ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนชื่อของข้อมูลผลลัพธ์ได้ทางด้านขวามือ เมื่อกำหนดค่าเรียบร้อยแล้วให้เลือก Train Network เพื่อเริ่มต้นการฝึกสอน

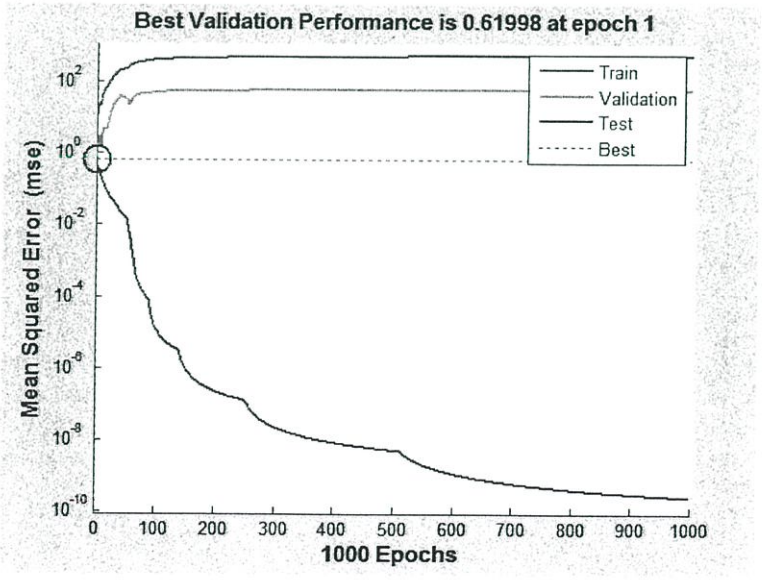


รูปที่ ผก 7 หน้าต่างเลือกข้อมูลฝึกสอน

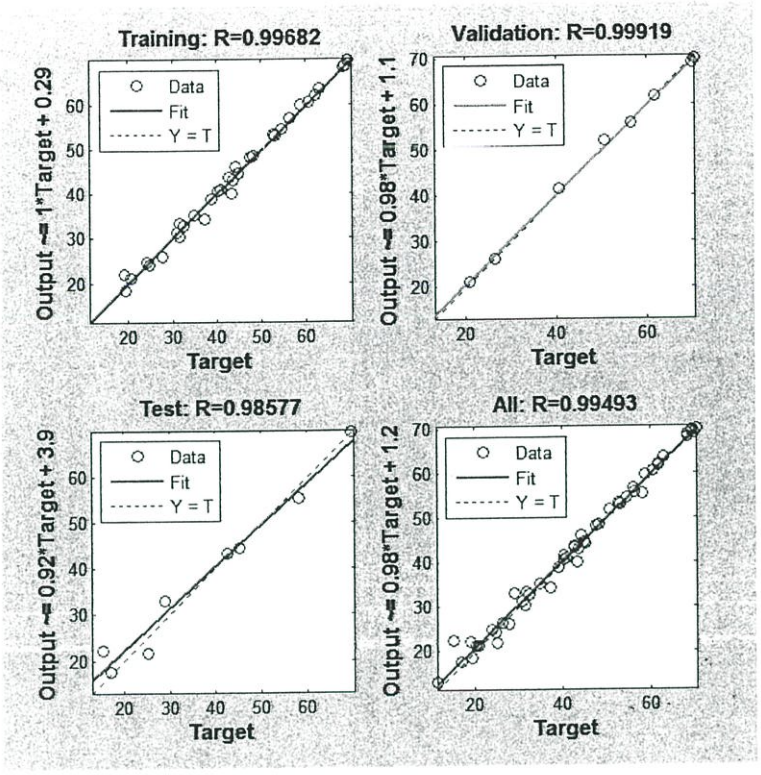
เมื่อการฝึกสอนโครงข่ายสิ้นสุดลง หน้าต่างการฝึกสอนจะถูกเปิดขึ้นดังรูปที่ ผก 8 ซึ่งแสดงข้อมูลที่เกี่ยวกับการฝึกสอนได้แก่ จำนวนรอบในการฝึกสอน ระยะเวลาการฝึกสอน รวมถึงกราฟที่ได้จากการฝึกสอนด้วย



รูปที่ ผก 8 หน้าต่างข้อมูลการฝึกสอนโปรแกรม



รูปที่ ผก 9 Performance Plot



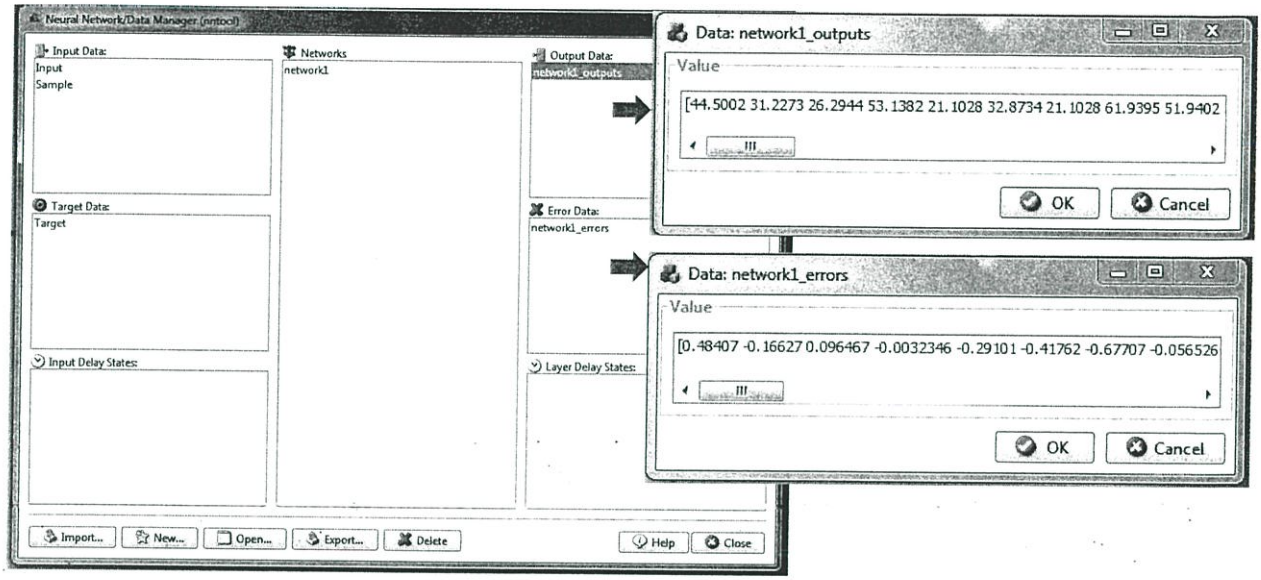
รูปที่ ผก 10 Regression Plot

กราฟที่ได้จากการเรียนรู้ของโครงข่ายแสดงดังรูปที่ ผก 9 Performance Plot แสดงค่า *MSE* ของชุดข้อมูลทั้ง 3 ชุด ในแต่ละรอบของการคำนวณ โดยจำนวนรอบที่ข้อมูล Validation มีค่าความผิดพลาดที่ต่ำคือรอบการคำนวณที่ 1 ซึ่งมีค่า *MSE* = 0.61998

ส่วน Regression Plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเป้าหมายและผลลัพธ์ (ค่าพยากรณ์) คือ ถ้าการฝึกสอนมีความสมบูรณ์มาก ข้อมูลจะอยู่บนเส้นพอดีนั่นหมายถึงค่าเป้าหมายและผลลัพธ์มีค่าเท่ากัน แต่ถ้าการฝึกสอนไม่สมบูรณ์ข้อมูลจะอยู่ห่างจากเส้นออกไป โดยข้อมูลจะถูกแบ่งแบ่งเป็น 3 กลุ่ม

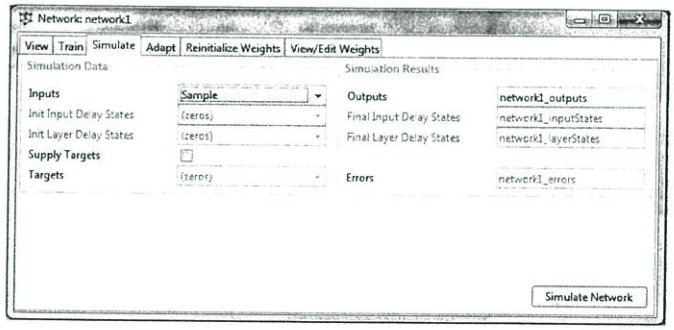
1. Training Set จำนวน 70% คิดเป็น 34 ชุดข้อมูล
2. Validation Set จำนวน 15% คิดเป็น 8 ชุดข้อมูล
3. Testing Set จำนวน 15% คิดเป็น 8 ชุดข้อมูล

ขั้นตอนที่ 7: ผลลัพธ์และค่าความผิดพลาดที่ได้จากการทดสอบจะถูกนำเข้าโดยอัตโนมัติ ซึ่งแสดงอยู่ด้านขวาของหน้าต่าง หากต้องการเข้าดูข้อมูลให้คลิกเลือกที่ข้อมูลนั้นดังรูปที่ ผก 11

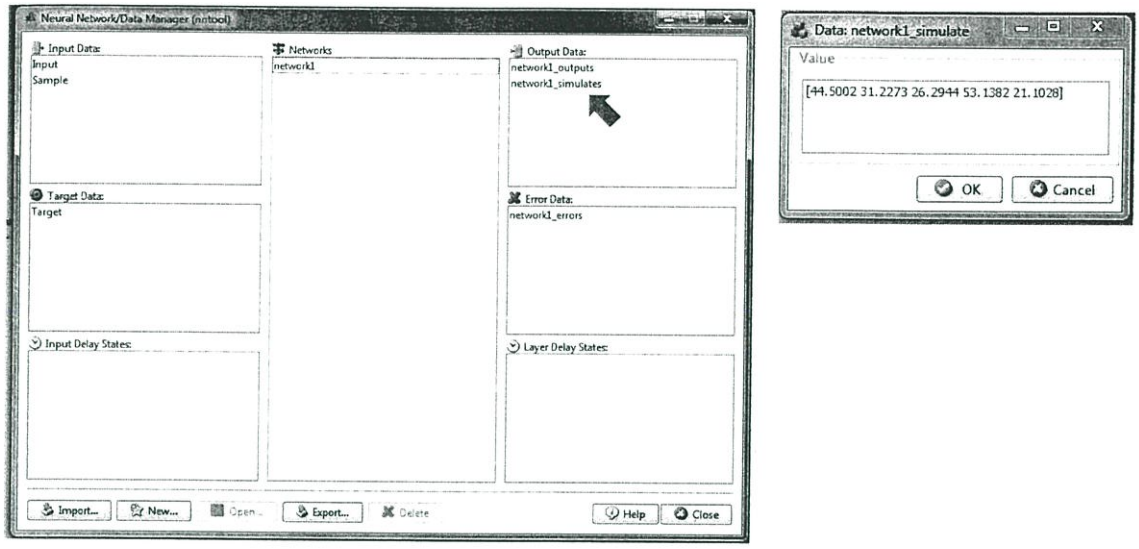


รูปที่ ผก 11 ผลลัพธ์จากโครงข่ายประสาทเทียม

ขั้นตอนที่ 8: จากขั้นตอนที่ 6 ถ้าต้องการใช้แบบจำลองที่ได้สำหรับหาค่าพยากรณ์ให้เลือกใช้ข้อมูลนำเข้าจากขั้นตอนที่ 5 ชื่อ ข้อมูล 'Sample' เป็นตัวแปรอินพุท จากนั้นเลือก Simulate Network หน้าต่างการจำลองจะเปิดขึ้นอัตโนมัติ เมื่อการทำงานสิ้นสุดลงให้เลือก Ok



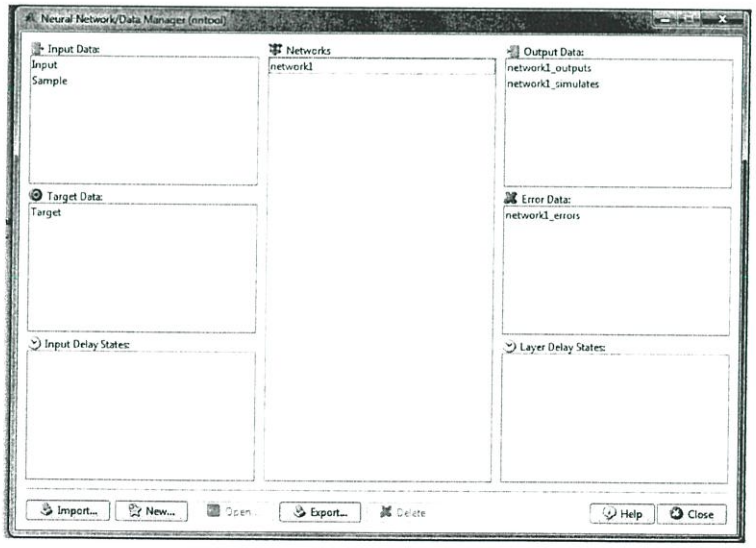
รูปที่ ผก 12 ขั้นตอนการหาค่าพยากรณ์



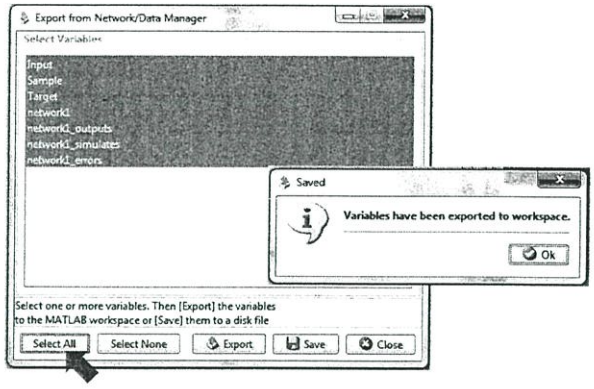
รูปที่ ผก 13 ค่าพยากรณ์จากโครงข่ายประสาทเทียม

รูปที่ ผก 13 แสดงค่าพยากรณ์ที่ได้จะถูกนำเข้าสู่โครงข่ายโดยอัตโนมัติ ซึ่งมี 5 ค่า จากชุดข้อมูลอินพุทที่ใส่เข้าไป 3 ค่า จำนวน 5 ชุด

ขั้นตอนที่ 9: ส่งข้อมูลไปยังพื้นที่ทำงานที่หน้าแรกโดยเลือก



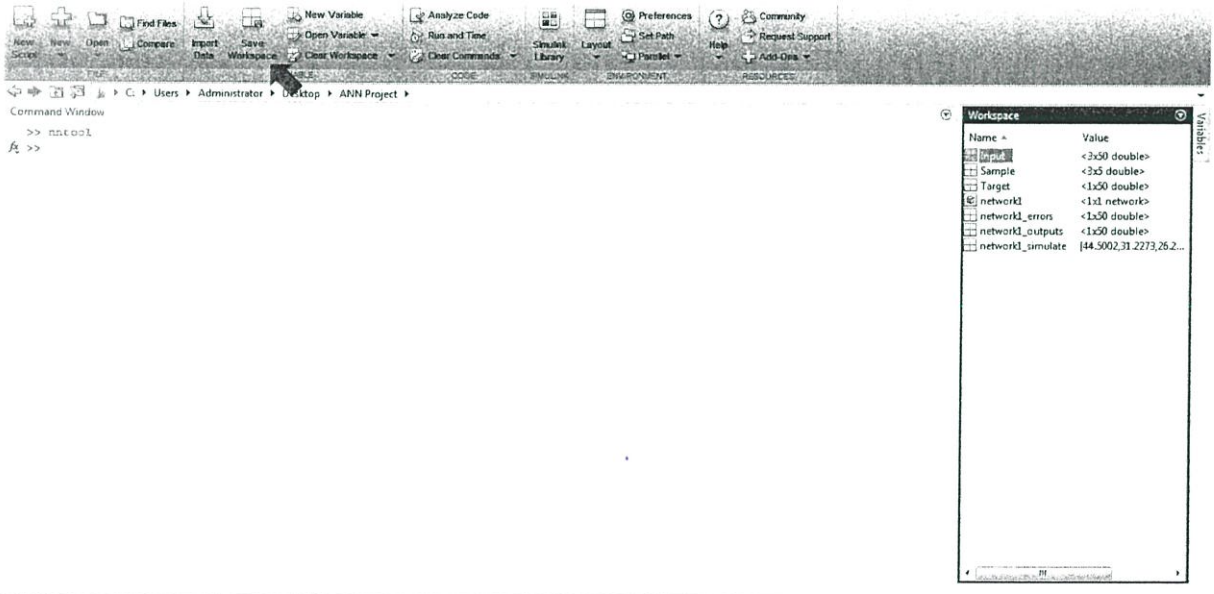
รูปที่ ผก 14 การเลือกส่งข้อมูลไปยังพื้นที่ทำงาน



รูปที่ ผก 15 เลือกข้อมูลสำหรับส่งออก

เมื่อหน้าต่างใหม่เปิดขึ้น ให้กดเลือก Select All เพื่อส่งข้อมูลทั้งหมดไปยังแผ่นงาน จากนั้นคลิกเลือก Export... และ Ok ตามลำดับ หลังจากส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้วให้คลิกเลือก Close เพื่อปิดหน้าต่าง

ขั้นตอนที่ 10: ข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำไว้ในพื้นที่ทำงานด้านขวามือของหน้าต่าง หากต้องการจัดเก็บข้อมูลทั้งหมดให้เลือก Save Workspace แถบด้านบน



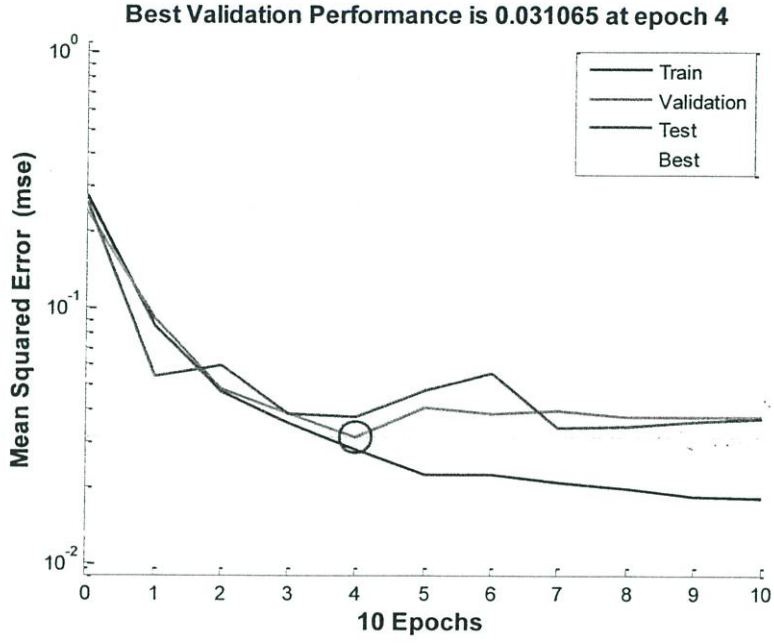
รูปที่ ผก 16 การจัดเก็บข้อมูล

โปรแกรมจะตั้งชื่องานให้อัตโนมัติ ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนชื่องาน รวมทั้งพื้นที่ที่ต้องการจัดเก็บงานได้ หากตั้งชื่องานและเลือกพื้นที่จัดเก็บเรียบร้อยแล้วให้กดเลือก Save เพื่อทำการจัดเก็บและออกจากโปรแกรม

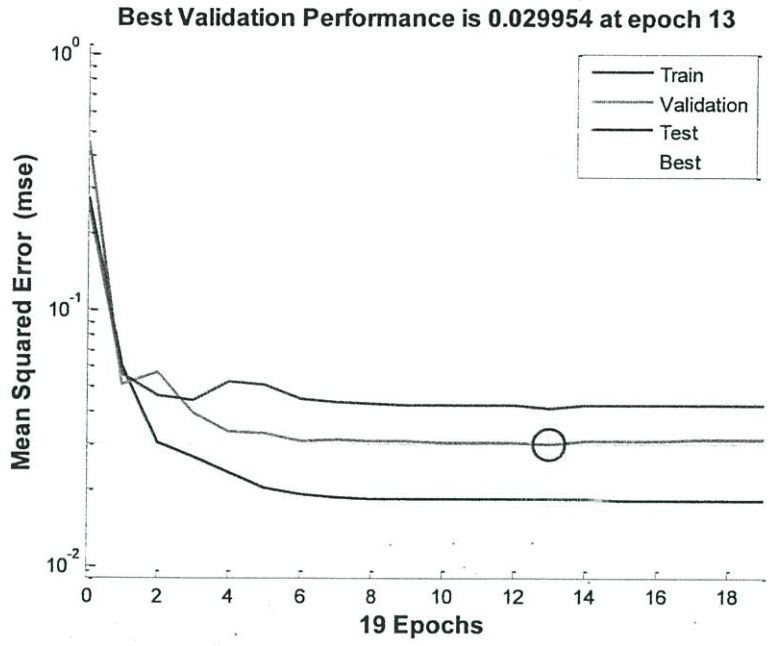
ภาคผนวก ข

กราฟแสดงการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 7 รูปแบบ

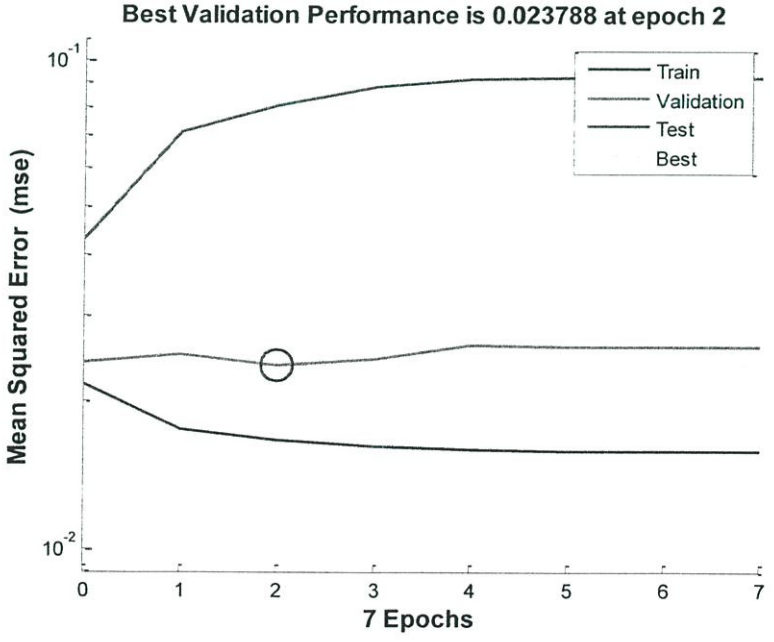
กราฟแสดงการเรียนรู้ของโครงข่ายทั้ง 7 รูปแบบ แต่ละรูปแบบมีจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่แตกต่างกันเริ่มตั้งแต่ 7 นิวรอน ไปจนถึง 13 นิวรอน โดยกราฟจะแสดงจำนวนรอบในการคำนวณ และค่า *MSE* ของชุดข้อมูลสำหรับตรวจประเมินโครงข่าย (Validation Set) ที่ใช้ในขั้นตอนการเลือกรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม



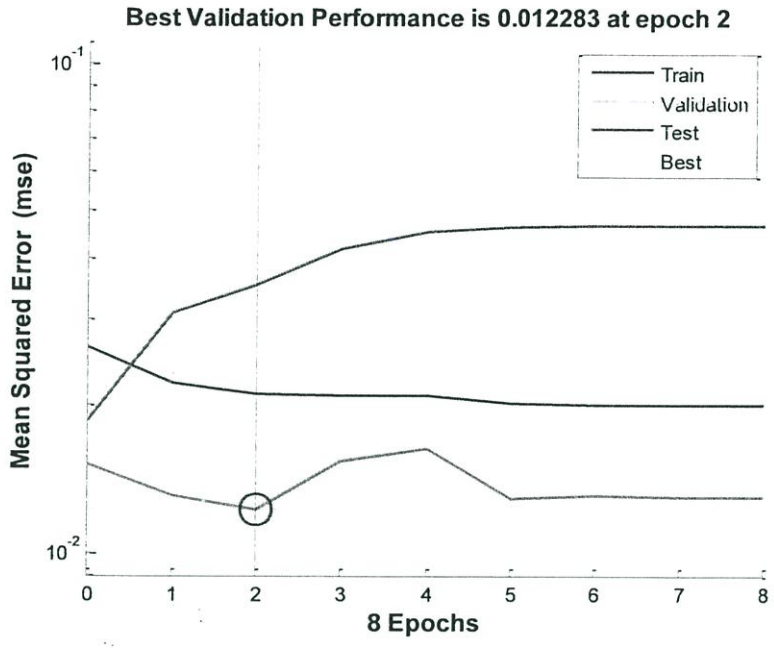
รูปที่ ผข 1 กราฟแสดงการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีรูปแบบโครงสร้างแบบ 5-7-1



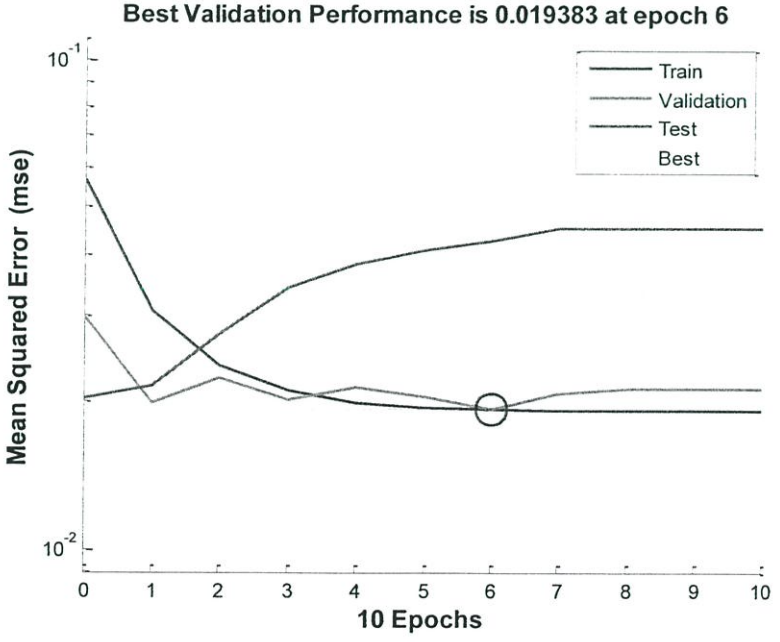
รูปที่ ผข 2 กราฟแสดงการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีรูปแบบโครงสร้างแบบ 5-8-1



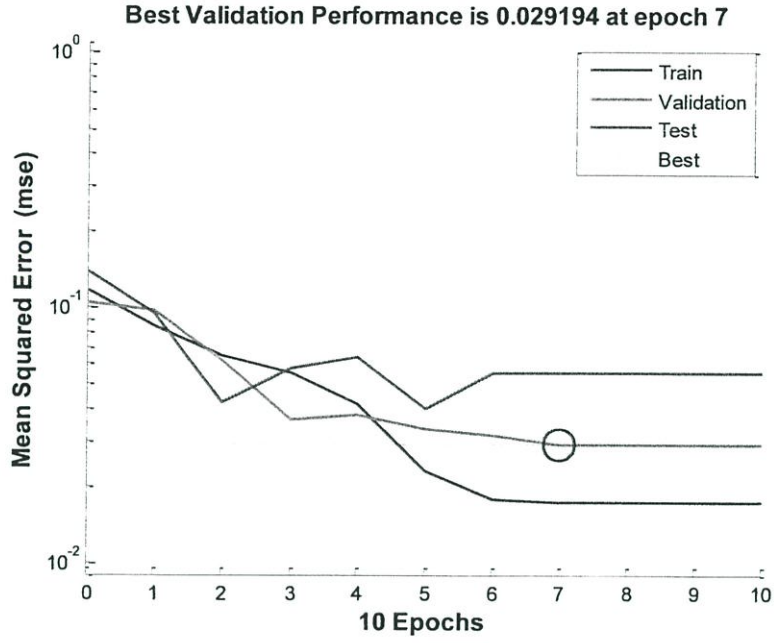
รูปที่ ผข 3 กราฟแสดงการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีรูปแบบโครงสร้างแบบ 5-9-1



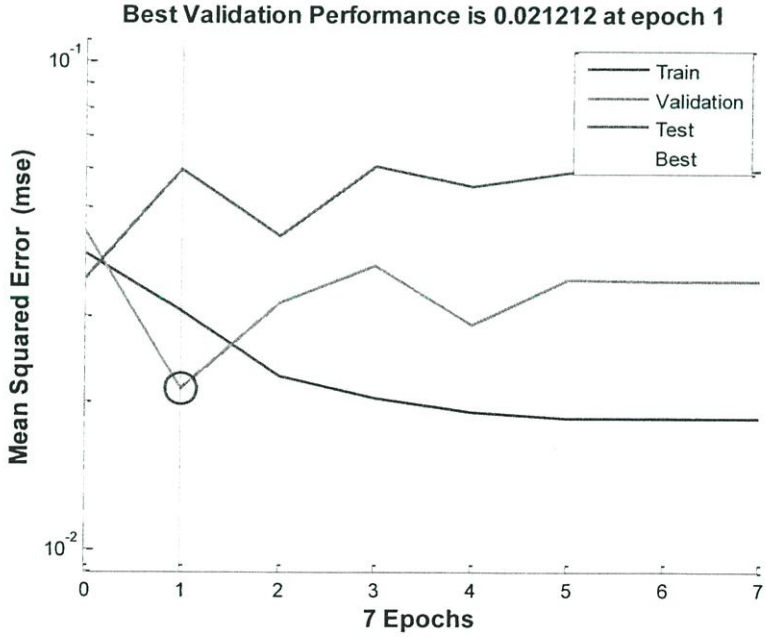
รูปที่ ผข 4 กราฟแสดงการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมทีมีรูปแบบโครงสร้างแบบ 5-10-1



รูปที่ ผข 5 กราฟแสดงการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมทีมีรูปแบบโครงสร้างแบบ 5-11-1



รูปที่ ผข 6 กราฟแสดงการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีรูปแบบโครงสร้างแบบ 5-12-1



รูปที่ ผข 7 กราฟแสดงการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีรูปแบบโครงสร้างแบบ 5-13-1