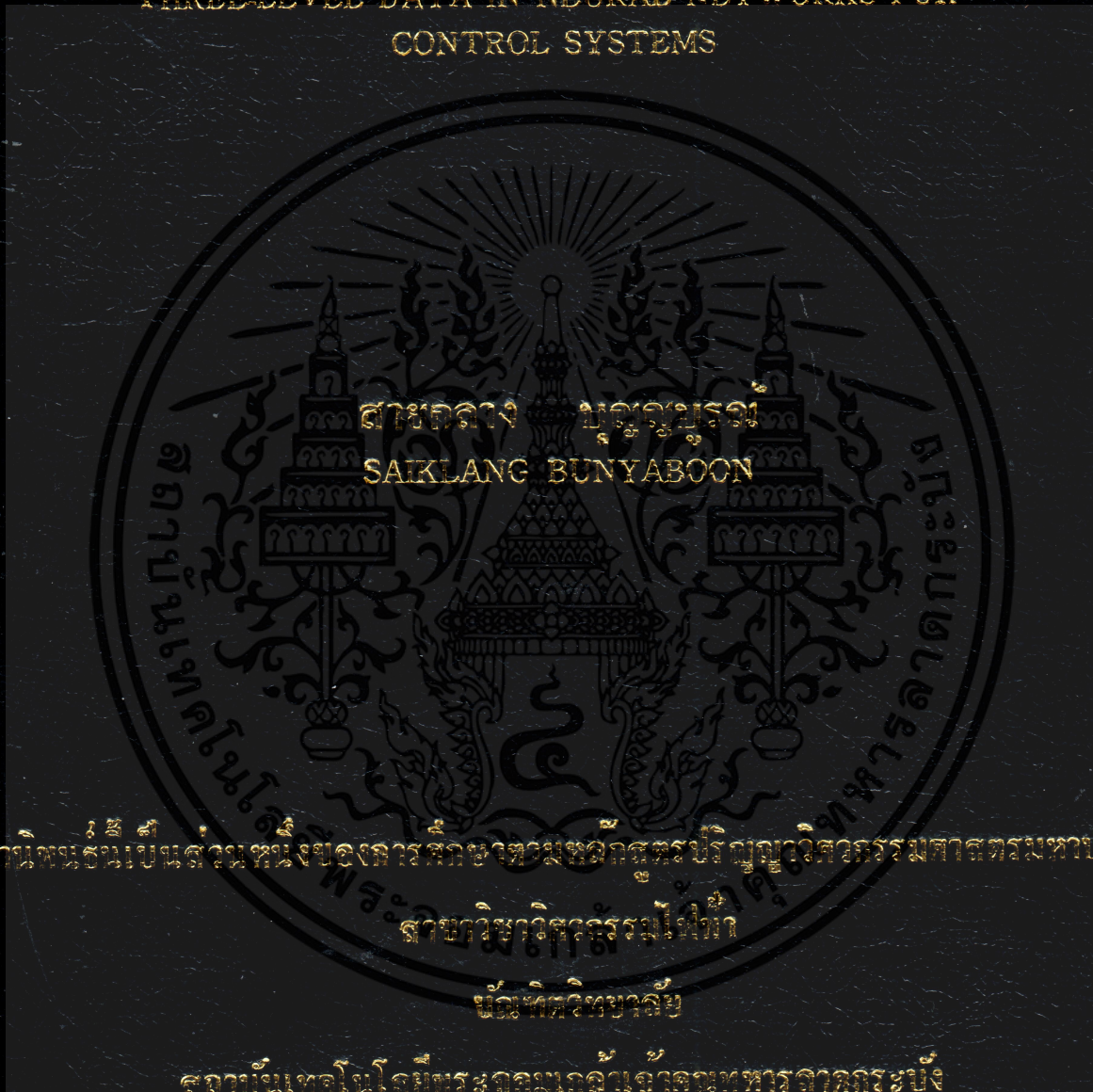


การใช้โครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับควบคุมระบบ

THREE-LEVEL DATA IN NEURAL NETWORKS FOR  
CONTROL SYSTEMS



สาขาคณะ บุนยาบูน  
SAIKLANG BUNYABOON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาต่อหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พุทธศักราช 2545

ISBN 974-324-040-3

การใช้โครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับควบคุมระบบ

THREE-LEVEL DATA IN NEURAL NETWORKS FOR CONTROL SYSTEMS



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน...44048  
วัน, เดือน, ปี...25 ต.ค. 2545

b. 7356033  
i. 11226395

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พุทธศักราช 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ ISBN 974-324-040-3 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**THREE-LEVEL DATA IN NEURAL NETWORKS FOR  
CONTROL SYSTEMS**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2002**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษา **ISBN 974-324-040-3** นี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2002**

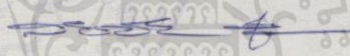

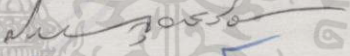


**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การใช้โครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับควบคุมระบบ  
THREE-LEVEL DATA IN NEURAL NETWORKS FOR CONTROL  
SYSTEMS  
ชื่อนักศึกษา นายสายกลาง บุญบุญบูรณ์  
รหัสประจำตัว 39061057  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.จنگล งามวิวิทย์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วันชัย ธีรรัฐจา	
รศ.วิพันธ์ ปรีชาพานิช	
ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์	
ผศ.วิริยะ กองรัตน์	
รศ.ดร.จنگล งามวิวิทย์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 2 สิงหาคม 2545 เวลา 10.30-12.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-403)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญรัตน์ อัคร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

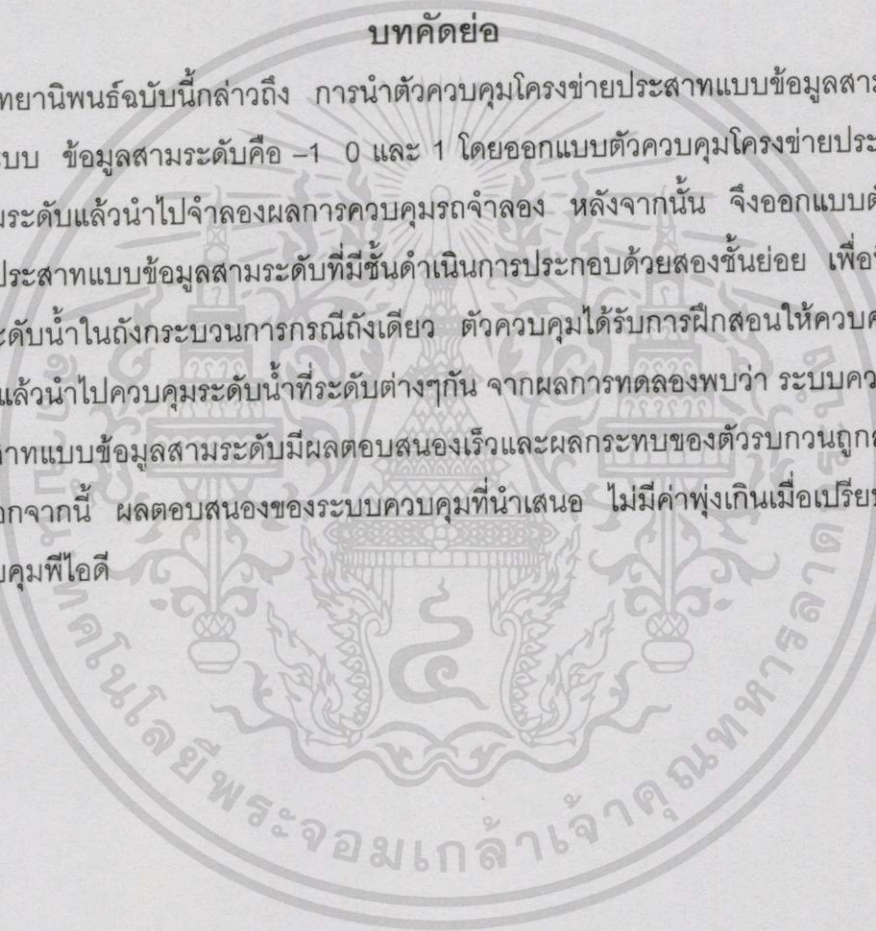
วันที่.....13.....เดือน.....กันยายน.....พ.ศ.2545....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้โครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับควบคุมระบบ
นักศึกษา	นายสายกลาง บุญญบุญรณ์
รหัสประจำตัว	39061057
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พุทธศักราช	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. จงกล งามวิวิทย์

**บทคัดย่อ**

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึง การนำตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับไปควบคุมระบบ ข้อมูลสามระดับคือ -1 0 และ 1 โดยออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับแล้วนำไปจำลองผลการควบคุมรถจำลอง หลังจากนั้น จึงออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่มีขั้นตอนการประกอบด้วยสองชั้นย่อย เพื่อที่จะนำไปควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถึงเดียว ตัวควบคุมได้รับการฝึกสอนให้ควบคุมที่ระดับระบุก่อน แล้วนำไปควบคุมระดับน้ำที่ระดับต่างๆกัน จากผลการทดลองพบว่า ระบบควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับมีผลตอบสนองเร็วและผลกระทบของตัวรบกวนถูกลดให้หายไปได้ นอกจากนี้ ผลตอบสนองของระบบควบคุมที่นำเสนอ ไม่มีค่าพุ่งเกินเมื่อเปรียบเทียบกับระบบควบคุมพีไอดี



<b>Thesis Title</b>	Three-Level Data in Neural Networks for Control Systems
<b>Student</b>	Mr. Saiklang Bunyaboon
<b>Student ID.</b>	39061057
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	2002
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof.Dr. Jongkol Ngamwiwit

### ABSTRACT

This thesis proposes the three-level data in neural networks for control systems. The three-level data means  $-1$ ,  $0$  and  $1$ . The three-level data in neural network (TDNN) controller is first developed and applied to control a model car by computer simulation. Next, a TDNN controller, of which the hidden layer consisting of two sub-hidden layers, is then designed for controlling one tank level process. The TDNN controller has been trained at nominal level and applied to control the process at different levels. The experimental results in controlling each level are shown that the responses of the TDNN control system are fast and the effect of disturbances can be rejected. Furthermore, the system responses of the proposed control system have no overshoot when compared to the PID control system.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากความเมตตา กรุณา ของรองศาสตราจารย์ ดอกเตอร์ จงกล งามวิวิทย์ อีกทั้งยังกรุณาเอาใจใส่สอบถามถึงความก้าวหน้าอย่างสม่ำเสมอ ยังความปลาบปลื้ม ให้บังเกิดอันเป็นประมาณมิได้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

กราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ดอกเตอร์ วิวัฒน์ กิรานนท์ เป็นอย่างสูงในความเมตตา กรุณา และพรอันประเสริฐที่อาจารย์ให้ กราบขอบพระคุณพี่ สุรีย์ กิรานนท์ เป็นอย่างสูงที่ให้ ความเมตตา กรุณา และเอาใจใส่ดูแล

กราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ดอกเตอร์ ปราโมทย์ วาดเขียน ในความเมตตา กรุณา ให้ที่พัก อาหาร สันทนาการ และเอาใจใส่สอบถามถึงความก้าวหน้าอย่างสม่ำเสมอ

กราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรสุข รัตโรจน์อนันต์ รองศาสตราจารย์ สุเธียร เกียรติสุนทร ดอกเตอร์ นนทวัฒน์ จุลเดชะ รองศาสตราจารย์ดอกเตอร์ วันชัย ธีรรุจา ดอกเตอร์ ชรินทร์ บุญลักษณ์านุสรณ์ รองศาสตราจารย์ วิทยา ทิพย์สุวรรณพร ที่ให้ความ เมตตา กรุณา และเอาใจใส่สอบถามถึงความก้าวหน้าอย่างสม่ำเสมอ

กราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ดอกเตอร์ กอบชัย เดชหาญ และดอกเตอร์ สุธี ผู้เจริญขณะชัย ที่ให้แนวคิดในการศึกษาและวิจัย

ขอบคุณอาจารย์ สว่าง เลิศศิริสุนทร ที่ให้การช่วยเหลือและคำปรึกษาต่างๆ

ขอบคุณอาจารย์ ถาวร เบญจนราสุทธิ ที่ให้การช่วยเหลือและคำปรึกษาต่างๆ เป็นผู้นำ ทางท่องเที่ยวที่ดี ให้ยืมหนังสืออ่านประกอบ ช่วยยืมหนังสือจากห้องสมุดให้ ตลอดจนดูแล คอมพิวเตอร์ให้ใช้งานได้เป็นอย่างดีเยี่ยมเสมอมา รวมทั้งอีกหลายๆสิ่งที่มีได้กล่าวถึง

ขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ดอกเตอร์ วิภา แสงพิสิทธิ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดอกเตอร์ จริยา เลิศจรัสอร่ามดี อาจารย์ บัณฑิต พัสยา คุณ นพดล มณีรัตน์ ในความเอื้ออาทรและ เอาใจใส่สอบถามถึงความก้าวหน้าอย่างสม่ำเสมอ

ขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม โครงการสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยี สารสนเทศ (ReCCIT) และ Japan International Cooperation Agency (JICA) ที่สนับสนุน เครื่องมือในการทำวิจัย ตลอดจนสถานที่ พร้อมทั้งอำนวยความสะดวก

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคน ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณ พ่อ แม่ ที่เคารพรักยิ่ง พร้อมทั้งขอบคุณพี่สาว ที่ให้โอกาสได้ร่ำเรียน ตลอดจนให้การสนับสนุนเสมอมา

ด้วยประโยชน์อันพึงสำเร็จแห่งวิทยานิพนธ์ จงอำนวยแด่ผู้มีพระคุณแลฯ ผู้คนทั่วถ้วนเออย

สายกลาง บุญบุญบุรณ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VI
สารบัญรูป .....	VII
คำย่อและสัญลักษณ์ .....	IX
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ประวัติและแนวคิดของวิทยานิพนธ์ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	1
1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์ .....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี</b> .....	<b>3</b>
2.1 ทฤษฎีโครงข่ายประสาท .....	3
2.1.1 การรวบรวม .....	4
2.1.2 การถ่วงให้ไม่เป็นเชิงเส้น .....	5
2.2 สรุป .....	9
<b>บทที่ 3 การออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ</b> .....	<b>10</b>
3.1 การออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับเพื่อใช้ควบคุมรถจำลอง .....	10
3.1.1 โครงสร้างรถจำลอง .....	11
3.1.2 ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับเพื่อใช้ควบคุมรถจำลอง .....	12
3.1.3 แบบฝึกสอนของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมรถจำลอง .....	14
3.1.4 วิธีการและผลการทดสอบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ .....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 การออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับเพื่อใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียว .....	16
3.2.1 ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับเพื่อใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียว .....	16
3.2.2 แบบฝึกสอนของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียว .....	20
3.3 สรุป .....	21
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองควบคุมระดับน้ำ .....</b>	<b>22</b>
4.1 โครงสร้างและการทำงานของถังกระบวนการ.....	22
4.1.1 โครงสร้างของถังกระบวนการ .....	24
4.1.2 การทำงานของถังกระบวนการ .....	24
4.2 ผลการทดลองควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ .....	25
4.3 ผลการทดลองควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมพีไอดี .....	29
4.4 การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับกับระบบควบคุมพีไอดี.....	31
4.5 สรุปผลการทดลอง .....	32
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย .....</b>	<b>33</b>
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>34</b>
<b>ภาคผนวก .....</b>	<b>35</b>
ภาคผนวก ก .....	36
ภาคผนวก ข .....	39
ภาคผนวก ค .....	47
ภาคผนวก ง .....	52
<b>ประวัติผู้เขียน .....</b>	<b>63</b>

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตัวอย่างแบบฝึกสอนของโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมรถจำลอง ...	14
3.2 ตัวอย่างแบบฝึกสอนของโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมรถจำลอง ระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าว ..... 21	21
4.1 ค่าสมรรถนะของระบบโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับกับระบบควบคุมพีไอดี ในการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าวที่ค่าสัญญาณอ้างอิงต่าง ๆ กัน ...	31



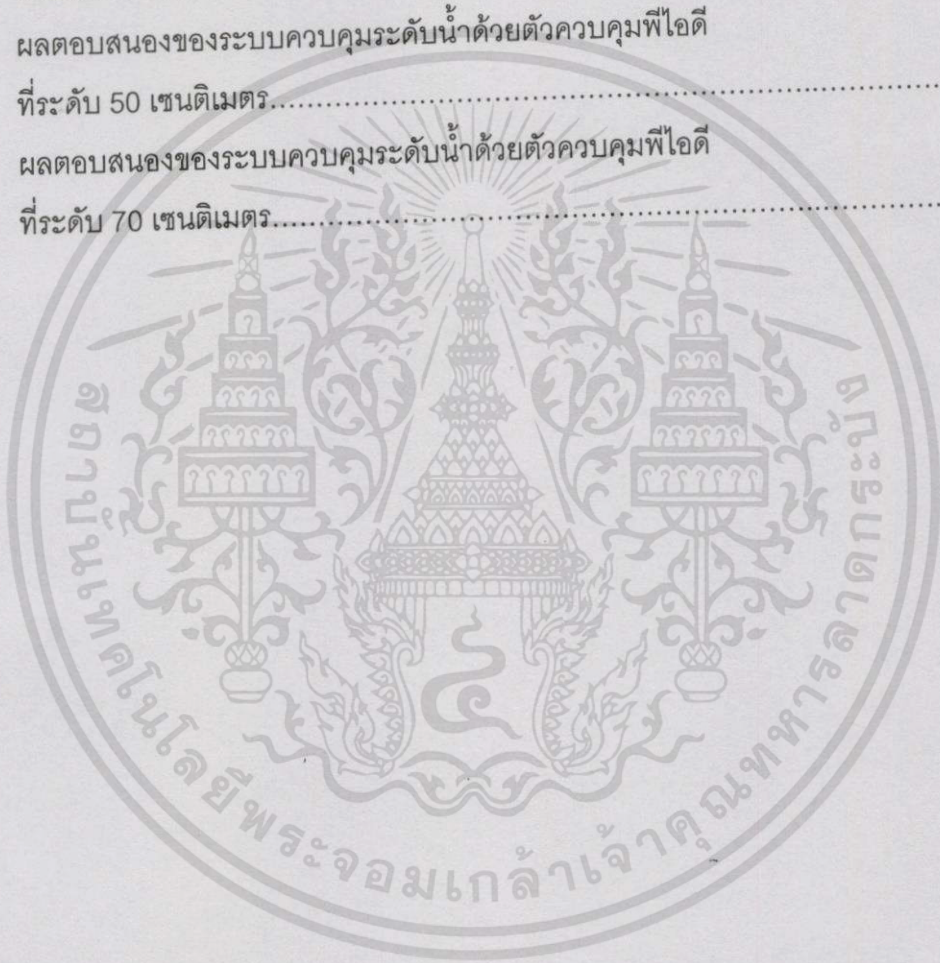
# สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างการคำนวณของเซลล์ประสาทในการแมปปิ้งไม่เป็นเชิงเส้น .....	4
2.2	การถ่วงให้ไม่เป็นเชิงเส้นสามระดับ $\Psi [d(t)]$ .....	5
2.3 (a)	โครงข่ายประสาทแบบสามชั้น .....	7
2.3 (b)	บล็อกไดอะแกรมของโครงข่ายประสาทแบบสามชั้น .....	7
2.4	วิธีปรับน้ำหนักและการทำงานของโครงข่ายประสาทขณะเรียนรู้ .....	8
2.5	การควบคุมระบบโดยตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ.....	9
3.1	โครงสร้างรถจำลอง .....	11
3.2	ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมรถจำลอง.....	12
3.3	การเชื่อมต่อสัญญาณจากเซลล์ประสาทในชั้นรับข้อมูลไปยังเซลล์ประสาทใน ชั้นดำเนินการทุกๆ ตัว .....	12
3.4	การเชื่อมต่อสัญญาณจากเซลล์ประสาทในชั้นดำเนินการไปยังเซลล์ประสาทใน ชั้นสั่งการ.....	13
3.5	การเชื่อมต่อสัญญาณจากเซลล์ประสาทในชั้นสั่งการดำเนินการไปส่วนควบคุม .....	13
3.6	เส้นทางวิงทดสอบการควบคุมรถ .....	15
3.7	เวลาที่ใช้วิ่งในแต่ละเส้นทาง .....	15
3.8	โครงสร้างของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำ ในถังกระบวนการกรณีถังเดียว.....	16
3.9	การเชื่อมต่อสัญญาณจากเซลล์ประสาทในชั้นรับข้อมูลไปยังเซลล์ประสาทใน ชั้นดำเนินการทุกๆ ตัว.....	17
3.10	การเชื่อมต่อสัญญาณจากเซลล์ประสาทในชั้นดำเนินการ .....	19
3.11	การเชื่อมต่อสัญญาณจากเซลล์ประสาทในชั้นสั่งการไปยังวาล์วควบคุม.....	19
4.1	ภาพของถังกระบวนการที่ใช้ในการทดลอง.....	23
4.2	โครงสร้างของถังกระบวนการ.....	23
4.3	ผลตอบสนองระบบเปิดของการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียว .....	25
4.4	ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียวด้วยตัวควบคุม โครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ ที่ระดับ 30 เซนติเมตร .....	26
4.5	ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียวด้วยตัวควบคุม โครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ ที่ระดับ 50 เซนติเมตร .....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.6	ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียวด้วยตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูล ที่ระดับ 70 เซนติเมตร .....	28
4.7	ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมพีไอดีที่ระดับ 30 เซนติเมตร.....	29
4.8	ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมพีไอดีที่ระดับ 50 เซนติเมตร.....	30
4.9	ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมพีไอดีที่ระดับ 70 เซนติเมตร.....	30



## คำย่อและสัญลักษณ์

TDNN (Three-level Data in Neural Networks) หมายถึง โครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสาม

ระดับ

$r(t)$  หมายถึง เวกเตอร์ของสัญญาณหรือข้อมูลที่ป้อนเข้าสู่เซลล์ประสาทในโครงข่ายประสาท

$r_a(t)$  หมายถึง เวกเตอร์ของสัญญาณหรือข้อมูลที่ป้อนเข้าสู่เซลล์ประสาทในโครงข่ายประสาทโดยรวมค่าไบอัส(bias)ไว้ด้วย

$r_1(t)$  หมายถึง ค่าสัญญาณหรือข้อมูลที่ป้อนเข้าสู่เซลล์ประสาทในโครงข่ายประสาทซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ  $r(t)$

Ne หมายถึง การแปลงหรือแมปปีงอย่างไม่เป็นเชิงเส้นจากเวกเตอร์หนึ่งไปยังอีกเวกเตอร์หนึ่ง

$u(t)$  หมายถึง ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทซึ่งในที่นี้นำไปเป็นสัญญาณควบคุมด้วย

$u_o(t)$  หมายถึง ผลลัพธ์เซลล์ประสาทที่ต้องการให้โครงข่ายประสาทคำนวณผลออกมาให้มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากัน

$w(t)$  หมายถึง เวกเตอร์น้ำหนักไซแนปส์ซึ่งเป็นส่วนที่ปรับค่าได้ตามการคำนวณหรือฝึกสอน

$w_o(t)$  หมายถึง เวกเตอร์น้ำหนักไซแนปส์ซึ่งเป็นส่วนที่ปรับค่าได้ตามการคำนวณหรือฝึกสอนโดยรวมค่าไบอัสไว้ด้วย

$w_r(t)$  หมายถึง น้ำหนักไซแนปส์ซึ่งเป็นส่วนที่ปรับค่าได้ตามการคำนวณหรือฝึกสอนและเป็นส่วนหนึ่งของ  $w(t)$

$\Delta w(t)$  หมายถึง การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักไซแนปส์ช่วงเวลาใดๆ

$z(t)$  หมายถึง เวกเตอร์อินพุตเดนไดรต์

$z_o(t)$  หมายถึง เวกเตอร์อินพุตเดนไดรต์โดยรวมค่าไบอัสไว้ด้วย

$z_r(t)$  หมายถึง อินพุตเดนไดรต์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ  $z(t)$

$D(t)$  หมายถึง เวกเตอร์ของสัญญาณหรือข้อมูลที่ป้อนเข้าสู่ส่วนรวบรวมของโครงข่ายประสาท

$d_r(t)$  หมายถึง ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทซึ่งในที่นี้นำไปเป็นสัญญาณควบคุมด้วย

$\Psi[d(t)]$  หมายถึง การถ่วงให้ไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการวัดหรือการนำไปใช้งาน

$\mu$  หมายถึง อัตราการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาท

© หมายถึง การรวบรวมค่าสัญญาณต่างๆ ในแต่ละชั้นของโครงข่ายประสาท

$N_i$  หมายถึง ชั้นต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของโครงข่ายประสาท

$E_{neural}$  หมายถึง ค่าความผิดพลาดรวมของโครงข่ายประสาทขณะเรียนรู้

# บทที่ 1

## บทนำ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงการนำตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ (Three-level Data in Neural Networks) หรือ TDNN ที่ได้ออกแบบขึ้น ไปควบคุมระบบเพื่อให้ได้สมรรถนะของระบบควบคุมตามที่ต้องการ การนำตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบสามระดับมาใช้งาน มีวัตถุประสงค์ที่จะให้เกิดความสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น สามารถสร้างตัวควบคุมที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนนัก พัฒนาให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น และกว้างขวางขึ้นในอนาคตต่อไป

### 1.1 ประวัติและแนวคิดของวิทยานิพนธ์

เนื่องมาจากการศึกษาบทความเรื่อง " The truck backer-upper : An example of self-learning in neural networks " ของ Nguyen และ Widrow [1] ซึ่งเป็นเรื่องเกี่ยวกับการนำโครงข่ายประสาท (neural networks) หรือโครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural networks) มาควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ จึงได้แนวคิดที่ว่าโครงข่ายประสาท สามารถนำมาประยุกต์ให้เป็นตัวควบคุมได้ ต่อมาได้ศึกษาโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเพิ่มเติมจากบทความเรื่อง " Backpropagation through time : What it does and how to do it " ของ Werbos [2] แต่ทั้งสองบทความต่างใช้โครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสองระดับคือ 0 กับ 1 จึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับคือ -1 0 และ 1 ขึ้นมาใช้งาน เพื่อปรับข้อมูลให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งาน รวมทั้งเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการนำโครงข่ายประสาทมาใช้เป็นตัวควบคุม อันส่งผลให้ระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทมีสมรรถนะตามที่ต้องการ จากการจำลองโดยคอมพิวเตอร์พบว่า ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับใช้เวลาในการควบคุมรถจำลองน้อยลง และเมื่อนำไปทดสอบควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนกรรณิถังเดียวในห้องปฏิบัติการพบว่า สามารถควบคุมให้ระบบมีผลตอบสนองเร็ว และไม่มีค่าพุ่งเกิน(overshoot)

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาโครงข่ายประสาทและนำแนวคิดมาใช้ออกแบบตัวควบคุม
2. ออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่เหมาะสมกับการใช้งาน
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ได้ออกแบบขึ้นมา และสมรรถนะของระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมนี้

### 1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาโครงข่ายประสาท และตัวควบคุมโครงข่ายประสาท
2. ออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับและนำไปหาผลจำลองการควบคุมรถจำลองเพื่อแสดงว่า ตัวควบคุมที่ได้ออกแบบขึ้นนี้สามารถนำไปใช้งานได้
3. นำวิธีการเดียวกันมาออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับเพื่อนำไป ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียว

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด 5 บท ดังนี้  
 บทที่ 1 กล่าวถึงประวัติและแนวคิดของวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ และขอบเขตของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของโครงข่ายประสาท ซึ่งประกอบด้วย ส่วนการรวบรวม (confluence operation) และส่วนการถ่วงให้ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear activation operation)

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ หลังจากนั้นจึงนำไปจำลองผลโดยการควบคุมรถจำลอง ต่อมาใช้วิธีการเดียวกันออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับเพื่อนำไปควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียว

บทที่ 4 หลังจากที่ได้ออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับสำหรับควบคุมกระบวนการขึ้นมาแล้ว ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลองและผลการทดลองควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียวโดยเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองที่ใช้ตัวควบคุมพีไอดีซึ่งออกแบบตามวิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols) ด้วย

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

กล่าวโดยสรุป วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอการใช้ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับไปควบคุมกระบวนการ โดยเริ่มต้นจากการศึกษาทฤษฎีโครงข่ายประสาท ต่อมาจึงออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับแล้วนำไปทดสอบเพื่อแสดงว่า ตัวควบคุมที่ออกแบบขึ้นมาสามารถทำงานได้ โดยจำลองผลการควบคุมรถจำลอง ปรากฏว่าสามารถควบคุมรถจำลองได้ หลังจากนั้น จึงได้ใช้หลักการเดียวกันไปออกแบบตัวควบคุมเพื่อควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียวเพื่อทดสอบการใช้งานจริง จากผลการทดลองพบว่า สมรรถนะของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับในการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียวดีกว่าตัวควบคุมพีไอดี เมื่อเปรียบเทียบกัน กล่าวคือ ผลตอบสนองชั่วคราวไม่มีค่าพุ่งเกิน

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการทํางานของโครงข่ายประสาทโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนําไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ หรือ TDNN หลักการทํางานของโครงข่ายประสาทประกอบด้วยสองส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนการรวบรวมและส่วนการถ่วงให้ไม่เป็นเชิงเส้น

#### 2.1 ทฤษฎีโครงข่ายประสาท

โครงข่ายประสาทเป็นวิธีการทํางานที่จำลองมาจากการทํางานของสมองมนุษย์ [3] แต่ในที่นี้ได้ใช้นิยามว่า เป็นส่วนประกอบของหน่วยประมวลผลหลายๆส่วนเชื่อมโยงกันในแบบขนานเพื่อแปลงข้อมูลจากแบบหนึ่งไปเป็นอีกแบบหนึ่ง [4] โครงข่ายประสาทหรือโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อนํามาประยุกต์ใช้กับเครื่องจักร ช่วยให้เครื่องจักรสามารถตัดสินใจและควบคุมตัวเองได้ในระดับหนึ่ง ภายใต้ขอบเขตที่มีการกำหนดไว้ล่วงหน้า

ตัวอย่างการนำโครงข่ายประสาทไปใช้ เช่น ควบคุมการเคลื่อนที่ของรถดั่งในวิทยานิพนธ์ของ Nguyen และ Widrow [1] เป็นต้น ต่อมามีการนำหลักการของฟัซซี (fuzzy) มาประยุกต์ใช้เป็นตัวควบคุมแทน ดังวิทยานิพนธ์ของ Kosko [5] หลังจากนั้น Kuntanapreeda, Gunderson และ Fullmer [6] ได้ใช้วิธีโมเดลอ้างอิง (model reference) เพื่อควบคุมระบบไม่เป็นเชิงเส้น และ Jenkins และ Yuhas [7] ได้กลับมาใช้โครงข่ายประสาทที่ได้รับการปรับปรุงไปควบคุมการเคลื่อนที่ของรถอีกครั้งหนึ่ง สำหรับงานวิจัยที่ [1] [6] และ [7] ใช้ข้อมูลสองระดับคือ 0 กับ 1 เท่านั้น

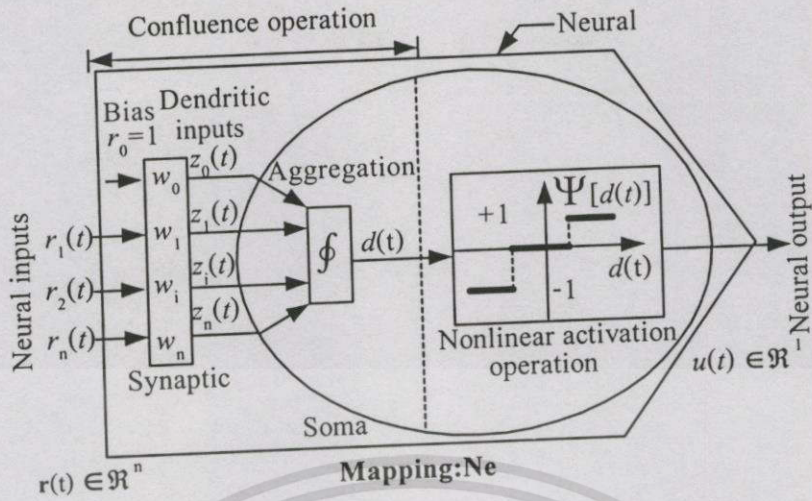
วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอการใช้ข้อมูลสามระดับคือ -1 0 และ 1 แทนข้อมูลสองระดับ พร้อมทั้งแสดงวิธีการนำไปใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของรถจำลองและการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการ โครงข่ายประสาทที่ใช้เป็นแบบแพร่ไปข้างหน้า (feedforward propagation) อาศัยการเรียนรู้แบบแพร่กลับ (backpropagation) [2]

เซลล์ประสาทหรือหน่วยประมวลผลข้อมูล (processing element) แต่ละหน่วยในโครงข่ายประสาทจะต่อกับเวกเตอร์เซลล์ประสาทอินพุต  $r(t)$  ขนาด  $n$  มิติดังนี้

$$r(t) = [r_1(t), r_2(t), \dots, r_i(t), \dots, r_n(t)]^T \in \mathcal{R}^n \quad (2.1)$$

เมื่อ  $n$  เป็นจำนวนนับ  $1, 2, 3, \dots$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างการคำนวณของเซลล์ประสาทในการแมปึงไม่เป็นเชิงเส้น

วิธีประมวลผลของเซลล์ประสาทด้วยการแมปึงไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear mapping operation)  $Ne$  จากเวกเตอร์อินพุต  $r(t)$  มายังสเกลาร์เอาต์พุต  $u(t)$  ดังรูปที่ 2.1 นั้น แสดงได้ด้วยสมการ (2.2)

$$u(t) = Ne[r(t) \in \mathcal{R}^n] \in \mathcal{R}^1 \tag{2.2}$$

โดยที่

$$Ne: r(t) \in \mathcal{R}^n \rightarrow u(t) \in \mathcal{R}^1 \tag{2.3}$$

การแมปึงไม่เป็นเชิงเส้น แบ่งเป็นสองส่วนคือ การรวบรวมและการถ่วงให้ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.1.1 การรวบรวม

การรวบรวม ประกอบด้วย การตั้งค่าเริ่มต้น (thresholding) การรวม (aggregating) และการถ่วงน้ำหนัก (weighting) จากรูปที่ 2.1 ตัวแปร  $r(t), w(t)$  และ  $z(t)$  มีนิยามดังต่อไปนี้

$r(t) \in \mathcal{R}^n$  แทนเวกเตอร์เซลล์ประสาทอินพุต

$w(t) \in \mathcal{R}^n$  แทนเวกเตอร์น้ำหนักไซแนปส์ (synaptic weight)

และ  $z(t) \in \mathcal{R}^n$  แทนเวกเตอร์อินพุตเดนไดรต์ (dendrite)

หลังจากรวมค่าไบอัส (bias) ที่อยู่ในส่วนการรวบรวมเข้ากับเวกเตอร์แต่ละตัวแล้ว จะได้เวกเตอร์ทั้งสามเป็น  $r_a(t) \in \mathcal{R}^{n+1}$   $w_a(t) \in \mathcal{R}^{n+1}$  และ  $z_a(t) \in \mathcal{R}^{n+1}$  ตามลำดับ นั่นคือเวกเตอร์เซลล์ประสาทอินพุต  $r_a(t)$  และน้ำหนักไซแนปส์  $w_a(t)$  เป็นดังนี้

$$r_a(t) = [r_0(t), r_1(t), r_2(t), \dots, r_l(t), \dots, r_n(t)]^T \in \mathcal{R}^{n+1} \quad (2.4 \text{ ก})$$

$$w_a(t) = [w_0(t), w_1(t), w_2(t), \dots, w_l(t), \dots, w_n(t)]^T \in \mathcal{R}^{n+1} \quad (2.4 \text{ ข})$$

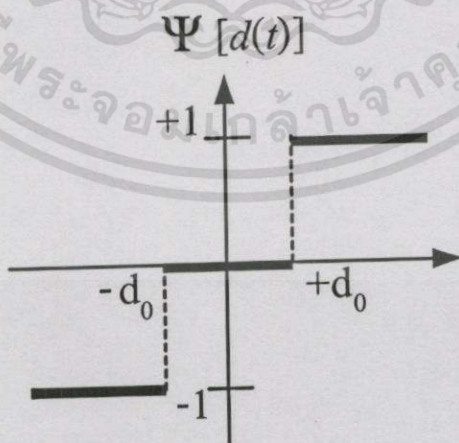
โดยที่  $r_0(t) = 1$  และ  $w_0(t)$  เป็นค่าไบอัส เริ่มต้นน้อยๆ ในการรวบรวม สมการ (2.4 ก) และ (2.4 ข) จะเป็นสมการพื้นฐานการคำนวณหาผลลัพธ์  $u(t)$  ซึ่งจะนำไปใช้เป็นสัญญาณควบคุม (control signal) ของระบบควบคุมต่อไป

### 2.1.2 การถ่วงให้ไม่เป็นเชิงเส้น $\Psi[d(t)]$

การถ่วงให้ไม่เป็นเชิงเส้น ขึ้นอยู่กับลักษณะการวัดหรือการนำไปใช้งาน ในวิทยานิพนธ์นี้ เลือกใช้สมการถ่วงให้ไม่เป็นเชิงเส้นสามระดับคือ -1 0 และ 1 ดังแสดงในสมการ (2.5)

$$\Psi[d(t)] = \begin{cases} \text{sgn}[d] & \text{ถ้า } |d| \geq d_0 \\ 0 & \text{ถ้า } |d| < d_0 \end{cases} \quad (2.5)$$

และแสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การถ่วงให้ไม่เป็นเชิงเส้นสามระดับ  $\Psi[d(t)]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่า  $d(t)$  ในสมการ(2.5)นั้น จะเป็นค่าที่ได้จากการรวบรวมตามส่วนประกอบแรก  
ของโครงข่ายประสาท นั่นคือ ค่า  $d(t) \in \mathcal{R}^1$  จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างเวกเตอร์เซลล์ประสาท  
อินพุต  $\mathbf{r}_a(t) \in \mathcal{R}^{n+1}$  กับน้ำหนักไซแนปส์  $\mathbf{w}_a(t) \in \mathcal{R}^{n+1}$  ดังแสดงในสมการ (2.6)

$$d(t) = \mathbf{w}_a(t)^T \mathbf{r}_a(t) = \sum_{i=0}^n w_i r_i \quad (2.6)$$

การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทใช้วิธีพิจารณาความผิดพลาด (Error-based learning  
algorithm) หรือฝึกสอน(supervise) ซึ่งสมการทั่วไปของแนวทางการเรียนรู้ความผิดพลาดคือ

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \Delta w_i(t) \quad (2.7 \text{ ก})$$

เมื่อ

$$\Delta w_i(t) = \mu r_i(t) [u_d(t) - u_i(t)] \quad (2.7 \text{ ข})$$

โดยที่

$w_i(t)$  คือน้ำหนักไซแนปส์ที่สอดคล้องกับอินพุต  $r_i(t)$

$\Delta w_i(t)$  คือการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักไซแนปส์ในเวลาใดๆ

$\mu$  คืออัตราการเรียนรู้

$u_d(t)$  คือเอาต์พุตเซลล์ประสาทที่ต้องการ

และ  $u_i(t)$  คือเอาต์พุตเซลล์ประสาทที่ได้จากการคำนวณ

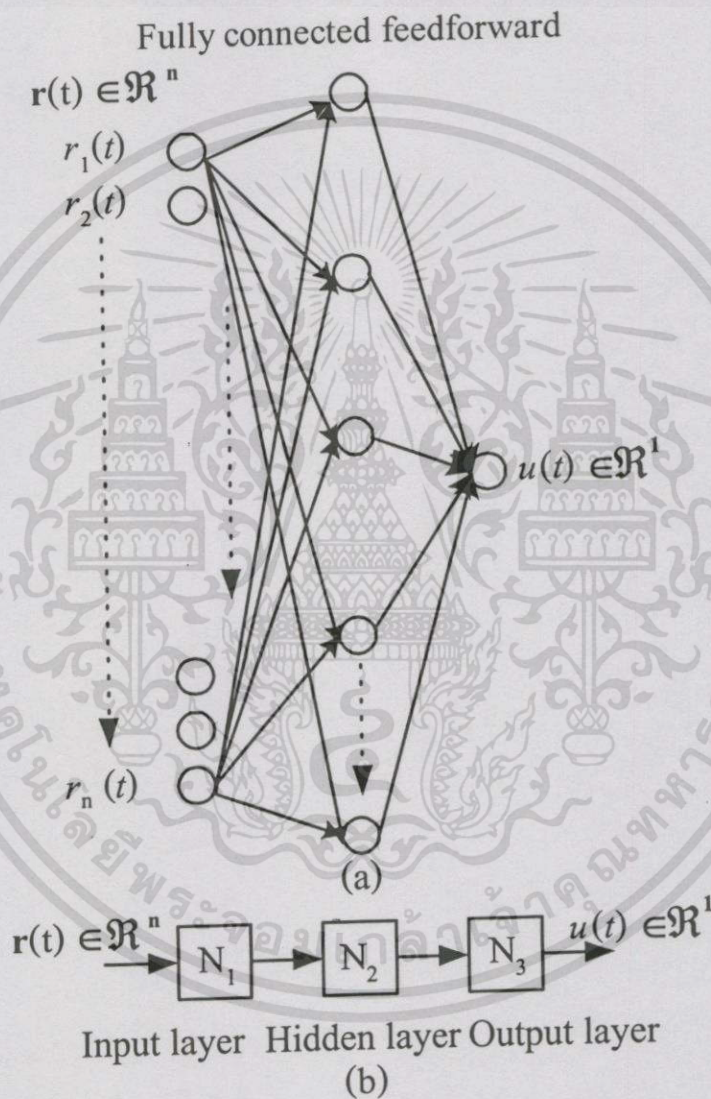
น้ำหนักไซแนปส์ในตอนเริ่มต้นจะสุ่มเลือกให้มีค่าน้อยๆโดยไม่เกิน 0.009[8] และใช้ชุด  
น้ำหนักไซแนปส์  $\mathbf{w}_a(t)$  ที่ทำให้ค่าความผิดพลาดรวม  $E_{neural}$  ของระบบเท่ากับ 0.05[8] ซึ่งเป็นค่า  
ความผิดพลาดที่ยอมรับได้

การเลือกอัตราการเรียนรู้  $\mu$  ถ้าเลือกให้มีค่าน้อย การเรียนรู้ทำได้ช้า และถ้าให้มีค่ามาก  
การเรียนรู้จะเร็ว แต่ระบบอาจเกิดการแกว่งหรือไม่เสถียรได้ ซึ่งในที่นี้เลือก  $\mu$  ให้เท่ากับ 0.2[8]

ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับซึ่งในที่นี้ใช้การเรียนรู้แบบแพร่กลับ  
ประกอบด้วย 3 ชั้นคือ ชั้นรับข้อมูลหรือชั้นอินพุต (input layer) มีเซลล์ประสาทตามจำนวน  
เซนเซอร์ หรืออินพุตของระบบ ชั้นต่อมาคือ ชั้นดำเนินการหรือชั้นซ่อน (hidden layer)  
จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นนี้ต้องเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งานหากเลือกจำนวนน้อย โครงข่าย  
ประสาทอาจไม่สามารถเรียนรู้หรือใช้งานได้ แต่ถ้ามีจำนวนเซลล์ประสาทมากเกินไปจะต้องใช้เวลา  
การคำนวณหรือฝึกสอนนาน และชั้นที่สามคือ ชั้นสั่งการหรือชั้นเอาต์พุต (output layer)  
ประกอบด้วยจำนวนเซลล์ตามจำนวนตัวแปรที่ต้องใช้ในการควบคุมระบบ หรือตามแต่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาท์พุทของเซลล์ประสาททุกเซลล์ในทุกๆชั้น ยกเว้นในชั้นเอาท์พุท จะต่อกับทุกๆเซลล์ในชั้นถัดไป (fully connected feedforward) เมื่อกำหนดให้วงกลมแทนเซลล์ประสาท เส้นลูกศรชี้เข้าหาเซลล์ประสาทแทนเส้นประสาทเข้า (neural inputs) เส้นลูกศรชี้ออกจากเซลล์ประสาทแทนเส้นประสาทออก (neural outputs) แสดงได้ดังรูปที่ 2.3(a) และเมื่อเขียนแทนด้วยบล็อกไดอะแกรม จะได้ดังรูปที่ 2.3(b)



รูปที่ 2.3 (a) โครงข่ายประสาทแบบสามชั้น

(b) บล็อกไดอะแกรมของโครงข่ายประสาทแบบสามชั้น

ความสัมพันธ์ระหว่างเวกเตอร์อินพุตและเวกเตอร์เอาท์พุทเป็นดังนี้

$$u(t) = N_3[N_2[N_1[r(t) \in \mathcal{R}^n]]] \in \mathcal{R}^1 \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแปลงสมการ(2.8)ให้อยู่ในรูปเครื่องหมายรวม  $\odot$  และสมการถ่วงให้ไม่เป็นเชิงเส้นสามารถระดับ  $\Psi[d(t)]$  แล้วจะได้  $u(t)$  เป็น

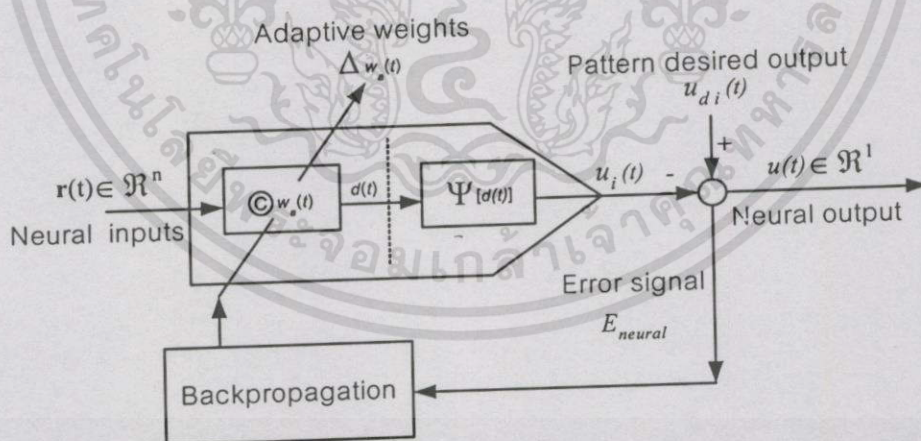
$$u(t) = \Psi^3[w_a^3(t) \odot \Psi^2[w_a^2(t) \odot \Psi^1[w_a^1(t) \odot r_a(t)]]] \quad (2.9)$$

เซลล์ประสาทแต่ละตัวจะปรับน้ำหนักตามสมการ (2.7) จนค่าความผิดพลาดรวม  $E_{neural}$  ของระบบเท่ากับ 0.05 โดยใช้ค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสอง (least - mean square) ระหว่างเอาต์พุตที่ต้องการกับเอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณ

$$E_{neural} = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^M [u_{di}^{(p)} - u_i^{(p)}]^2 \quad (2.10)$$

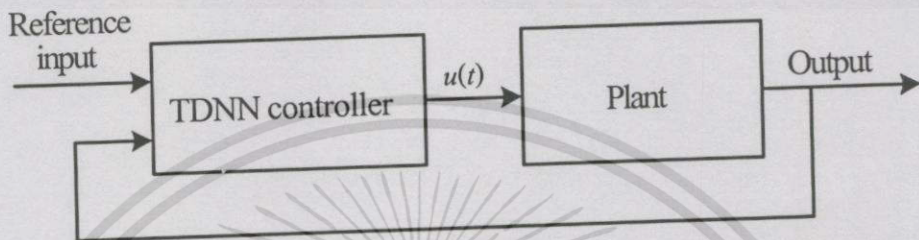
เมื่อ  $p = 1, 2, \dots, P$  และ  $i = 1, 2, \dots, M$  โดยที่  $P$  คือจำนวนแบบฝึกสอน  $M$  คือมิติของปริภูมิเอาต์พุต  $u_{di}^{(p)}$  คือเอาต์พุตที่ต้องการของแต่ละแบบฝึกสอนและ  $u_i^{(p)}$  คือเอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณของแต่ละแบบฝึกสอน

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นสามารถแสดงวิธีปรับน้ำหนักและการทำงานของโครงข่ายประสาทขณะเรียนรู้ได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วิธีปรับน้ำหนักและการทำงานของโครงข่ายประสาทขณะเรียนรู้

เมื่อฝึกสอนตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับแล้ว การนำไปควบคุมระบบแสดงดังรูปที่ 2.5 ค่าความผิดพลาดระหว่างเอาต์พุตจากระบบควบคุมกับเป้าหมายหรือสัญญาณอ้างอิง (reference signal) จะป้อนเข้าสู่ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับและตัวควบคุมจะส่งสัญญาณควบคุมตามที่ได้เรียนรู้หรือฝึกสอนเอาไว้ไปควบคุมพลานต์ (plant) จนกระทั่งได้เอาต์พุตตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.5 การควบคุมระบบโดยตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ

## 2.2 สรุป

โครงข่ายประสาทเป็นวิธีการทำงานที่จำลองมาจากการทำงานของสมองมนุษย์ โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้นิยามว่า เป็นส่วนประกอบของหน่วยประมวลผลหลายๆส่วนที่เชื่อมโยงกันในแบบขนานเพื่อแปลงข้อมูลจากแบบหนึ่งไปเป็นอีกแบบหนึ่ง ต่อมาได้เสนอให้ใช้ข้อมูลสามระดับคือ  $-1$   $0$  และ  $1$  แทนข้อมูลสองระดับคือ  $0$  และ  $1$  หลักการทำงานของโครงข่ายประสาทประกอบด้วยสองส่วนใหญ่ๆ คือ การรวบรวมและการถ่วงให้ไม่เป็นเชิงเส้น และเพื่อให้โครงข่ายประสาทสามารถคำนวณข้อมูลสามระดับได้ จึงได้นำเสนอสมการถ่วงให้ไม่เป็นเชิงเส้นสามระดับ  $\Psi [d(t)]$  ขึ้นมาใหม่ด้วย

## บทที่ 3

# การออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบ ข้อมูลสามระดับ

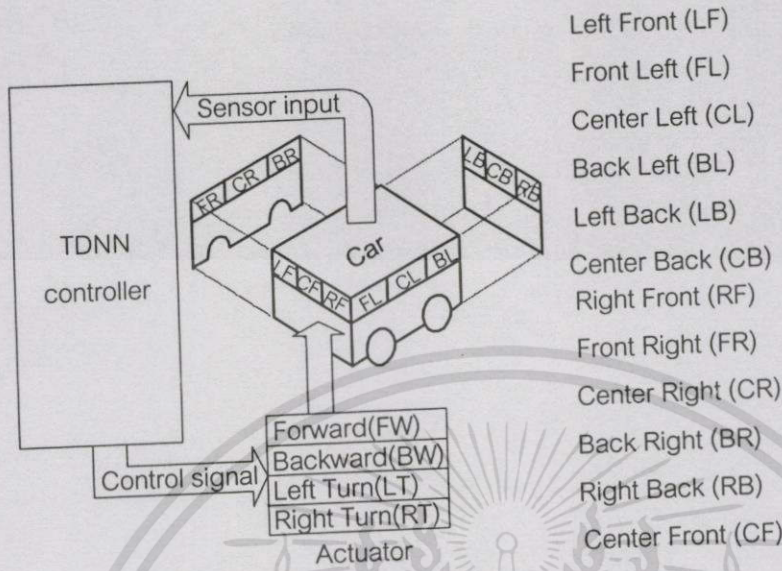
ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับหรือ TDNN ต่อจากนั้นจึงนำตัวควบคุมที่ได้ออกแบบขึ้นมาไปทดสอบว่า สามารถควบคุมระบบหรือกระบวนการได้หรือไม่ โดยนำมาจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบการควบคุมรจจำลองที่ได้ออกแบบขึ้นมาเป็นการเฉพาะ และกล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถึงเดี่ยวด้วย หัวข้ออธิบายในบทนี้ประกอบด้วย การออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับเพื่อใช้ควบคุมรจจำลอง วิธีการและผลการทดสอบตัวควบคุม และการออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับเพื่อใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถึงเดี่ยว จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถควบคุมรจจำลองหรือควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถึงเดี่ยวได้

### 3.1 การออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับเพื่อใช้ควบคุมรจจำลอง

จากทฤษฎีโครงข่ายประสาทที่ได้กล่าวมาแล้วในบทก่อน ต่อไปจะเป็นการนำทฤษฎีดังกล่าวมาออกแบบเป็นตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับเพื่อจะนำไปใช้งานต่อไป โครงข่ายประสาทที่ออกแบบนี้จะแตกต่างเป็นพิเศษจากโครงข่ายประสาททั่วไป เริ่มจากอินพุตที่ป้อนเข้าสู่โครงข่ายประสาท การถ่วงน้ำหนัก และสัญญาณสั่งการหรือเอาท์พุตที่ได้จากการคำนวณของเซลล์ประสาทแต่ละตัว จะมีสามระดับทั้งหมด คือ  $-1$ ,  $0$  และ  $1$  ตามลำดับ หรืออาจกล่าวได้ว่า ในทุกขั้นตอนการคำนวณจะได้ข้อมูลออกมาเพียงสามระดับ นั่นคือ อาจจะเป็น  $-1$  หรือ  $0$  หรือ  $1$  เพียงระดับใดระดับหนึ่งเท่านั้น หลังจากนั้นจึงนำตัวควบคุมที่ได้ออกแบบไว้มาจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบการควบคุมรจจำลองที่ได้ออกแบบขึ้นมาโดยเฉพาะ ผลการทดสอบปรากฏว่า สามารถควบคุมรจจำลองให้เคลื่อนที่ไปตามแนวทางทดสอบเบื้องต้นที่ออกแบบไว้ล่วงหน้าได้ ดังแสดงในบทความสองฉบับที่อยู่ในภาคผนวกของวิทยานิพนธ์นี้ คือเรื่อง "การประยุกต์ใช้ข้อมูลสามระดับกับโครงข่ายประสาท"[9] และเรื่อง "Application of Three-level Data in Neural Networks"[10] ตามลำดับ จากผลสำเร็จดังกล่าวสามารถอธิบายถึงวิธีการออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

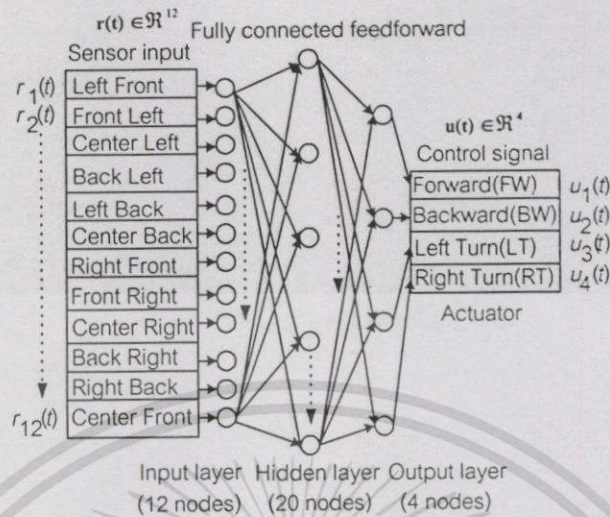
3.1.1 โครงสร้างรถจำลอง



รูปที่ 3.1 โครงสร้างรถจำลอง

โครงสร้างรถจำลองที่แสดงดังรูปที่ 3.1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ รถจำลองมีความกว้างของตัวรถเท่ากับความยาว ความกว้างของเส้นทางมากกว่าความยาวของตัวรถโดยเท่ากันตลอดทั้งเส้นทาง บนตัวรถติดตั้งตัวตรวจวัดเส้นทางหรือเซนเซอร์ (sensor) เพื่อวัดระยะห่างจากขอบเส้นทางซึ่งเป็นแนวขอบสูงเสมอหรือมากกว่าตัวรถ โดยที่ตัวตรวจวัดเส้นทางแต่ละจุดประกอบด้วยตัวตรวจวัดสามชุดคือ ชุดวัดระยะไกล ชุดวัดระยะปานกลางและชุดวัดระยะใกล้ จากนั้นสัญญาณจากตัวตรวจวัดเส้นทางจะนำไปป้อนที่ชั้นรับข้อมูลหรือชั้นอินพุตของโครงข่ายประสาทสัญญาณควบคุมหรือเอาต์พุตของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับต่อกับชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของรถซึ่งประกอบด้วยชุดควบคุมย่อยสี่ชุดคือ ชุดควบคุมเดินหน้า (forward) ชุดควบคุมถอยหลัง(backward) ชุดควบคุมเลี้ยวซ้าย(left turn) และชุดควบคุมเลี้ยวขวา(right turn) สัญญาณจากชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของรถจะต่อไปยังรถจำลองเพื่อควบคุมให้เคลื่อนที่ไปตามคำสั่งต่อไป คำสั่งควบคุมรถทั้งสี่คำสั่งคือ เดินหน้า(FW) ถอยหลัง (BW) เลี้ยวซ้าย (LT) และเลี้ยวขวา (RT) แต่ละชุดคำสั่งมีสามระดับ เช่น คำสั่งเดินหน้ามี เดินหน้าเร็ว (FW=1) เดินหน้าช้า (FW= -1) และพักรอ (FW=0) และคำสั่งอื่นๆ ก็จะมีสามระดับเช่นเดียวกัน

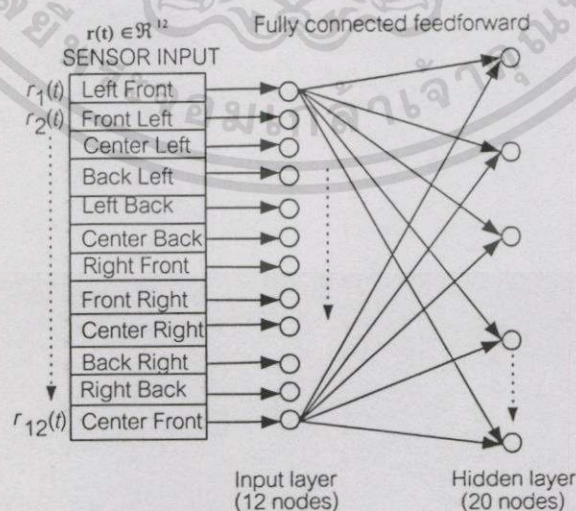
### 3.1.2 ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมรถจำลอง



รูปที่ 3.2 ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมรถจำลอง

โครงข่ายประสาทที่ได้กล่าวมาแล้วมีโครงสร้างเป็นแบบทั่วไป การนำไปออกแบบตัวควบคุมเพื่อควบคุมรถจำลองต้องออกแบบให้เหมาะสม ซึ่งตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับแสดงดังรูปที่ 3.2 และมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

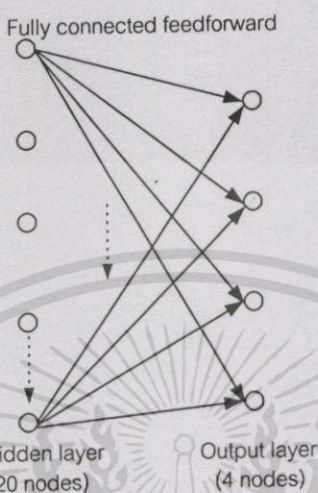
1. ชั้นรับข้อมูล หรือชั้นอินพุต ทำหน้าที่รับข้อมูลจากภายนอก ซึ่งในที่นี้จะรับสัญญาณจากเซนเซอร์ของตัวรถจำลอง แล้วคำนวณข้อมูลที่รับมาโดยการปรับน้ำหนัก จากนั้นจึงส่งต่อไปยังเซลล์ประสาทในชั้นดำเนินการต่อไป ชั้นรับข้อมูลนี้ประกอบด้วยเซลล์ประสาท  $n = 12$  ตัว แต่ละตัวจะส่งสัญญาณต่อไปยังเซลล์ประสาทในชั้นดำเนินการทุกๆตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การเชื่อมต่อสัญญาณจากเซลล์ประสาทในชั้นรับข้อมูลไปยังเซลล์ประสาทในชั้นดำเนินการทุกๆตัว.

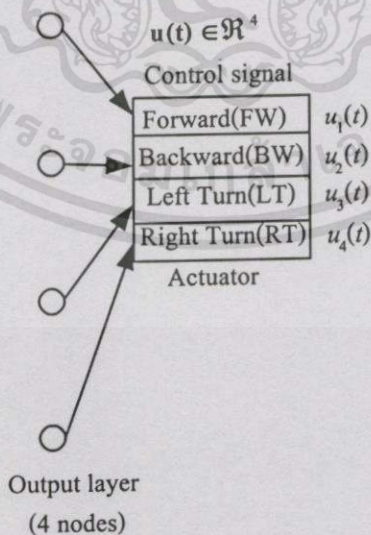
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชั้นดำเนินการ หรือชั้นซ่อน จะเป็นชั้นที่ทำหน้าที่คำนวณข้อมูลที่รับมาจากเซลล์ประสาทในชั้นรับข้อมูลโดยการปรับน้ำหนัก แล้วส่งต่อไปยังเซลล์ประสาทในชั้นสั่งการต่อไป ชั้นดำเนินการประกอบไปด้วยเซลล์ประสาททั้งหมด 20 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การเชื่อมต่อสัญญาณจากเซลล์ประสาทในชั้นดำเนินการไปยังเซลล์ประสาทในชั้นสั่งการ

3. ชั้นสั่งการ หรือชั้นเอาต์พุต จะทำหน้าที่คำนวณข้อมูลที่รับมาจากเซลล์ประสาทในชั้นดำเนินการ แล้วส่งต่อไปยังส่วนควบคุม สำหรับชั้นสั่งการนี้จะประกอบด้วยเซลล์ประสาทจำนวน 4 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่อสัญญาณจากเซลล์ประสาทในชั้นสั่งการดำเนินการไปส่วนควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 แบบฝึกสอนของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมรถจำลอง

ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมรถจำลองนั้น จะทำการควบคุมได้ต้องมีการฝึกสอนก่อนโดยใช้แบบฝึกสอน ความหมายของข้อมูลสามระดับที่ได้จากตัวตรวจวัดเส้นทางในแบบฝึกสอนมีความหมายดังนี้

- 1 คือขอบทางอยู่ไกลหรือมากกว่าหนึ่งเท่าครึ่งของความกว้างตัวรถ
- 0 คือขอบทางอยู่ใกล้หรือชนขอบทางนั้นตั้งแต่ครึ่งเท่าของความกว้างตัวรถลงมา
- 1 คือขอบทางอยู่ระยะปานกลางหรือตั้งแต่ครึ่งเท่าถึงหนึ่งเท่าครึ่งของความกว้างตัวรถ

ตัวอย่างแบบฝึกสอนที่ออกแบบขึ้นแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างแบบฝึกสอนของโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมรถจำลอง

Sensor Input												Control Signal			
LF	CF	RF	LB	CB	RB	FL	CL	BL	FR	CR	BR	FW	BW	RT	LT
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1
-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1

ความหมายแบบฝึกสอนของโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมรถจำลองดังแสดงในตารางที่ 3.1 มีดังนี้

บรรทัดแรก หมายความว่า เป็นทางตรง ด้านหน้าว่าง ให้เดินหน้าด้วยความเร็ว

บรรทัดที่สอง หมายความว่า ด้านหน้าทางตัน ด้านหลัง ด้านซ้ายและด้านขวาว่างให้เลี้ยวซ้ายด้วยความเร็ว

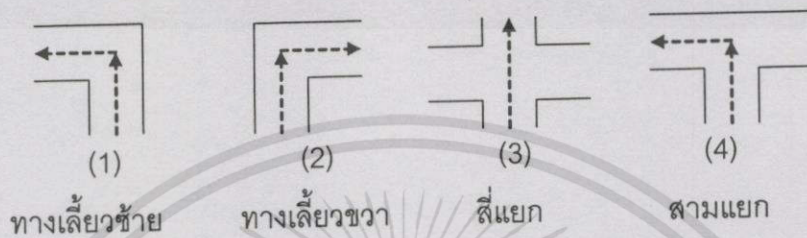
บรรทัดที่สาม หมายความว่า เป็นทางตรง มีสิ่งกีดขวางทางด้านหน้าในระยะปานกลาง ให้เดินหน้าช้า ๆ

บรรทัดที่สี่ หมายความว่า สุดทางตรง ด้านหลังว่าง ให้ถอยหลังด้วยความเร็ว

บรรทัดที่ห้า หมายความว่า ด้านหลังทางตัน ด้านหน้า ด้านซ้ายและด้านขวาว่างให้เลี้ยวซ้ายด้วยความเร็ว

### 3.1.4 วิธีการและผลการทดสอบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ

หลังจากที่ได้ออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับเพื่อใช้ควบคุมรถจำลองขึ้นมาแล้ว ต่อไปจะนำตัวควบคุมดังกล่าวมาทดสอบโดยการจำลองผลให้ควบคุมรถวิ่งไปตามเส้นทาง 4 เส้นทางดังต่อไปนี้คือ ทางเลี้ยวซ้าย ทางเลี้ยวขวา สี่แยกและสามแยกตามลำดับ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เส้นทางวิ่งทดสอบการควบคุมรถ

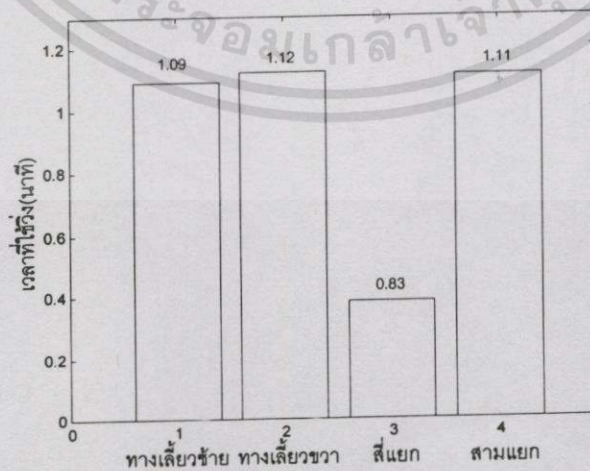
เมื่อนำรถที่ใช้ข้อมูลทั้งสองแบบมาจำลองการวิ่งด้วยโปรแกรมไปตามเส้นทางตัวอย่างทั้งสี่ดังรูปที่ 3.6 โดยให้รถมีความเร็วเมื่อเทียบกับการวิ่งในระยะทางจริงเป็นดังนี้

0 เซนติเมตรต่อวินาทีคือพักรอ (FW=0)

3 เซนติเมตรต่อวินาทีคือเดินหน้าช้า (FW= -1)

และ 9 เซนติเมตรต่อวินาทีคือเดินหน้าเร็ว (FW=1)

กำหนดให้รถวิ่งทดสอบ 9 ครั้งในแต่ละเส้นทางตัวอย่างแล้วหาค่าเฉลี่ย ผลการทดสอบปรากฏว่าตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับสามารถควบคุมรถให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่กำหนดได้ โดยใช้เวลาในแต่ละเส้นทางแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เวลาที่ใช้วิ่งในแต่ละเส้นทาง

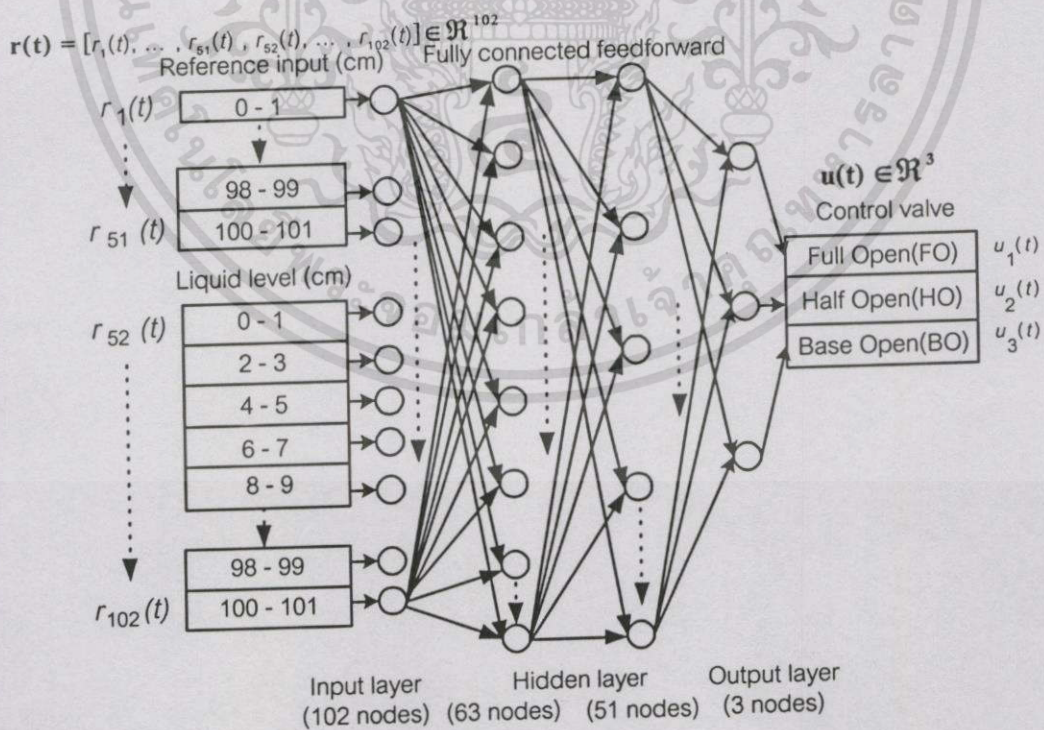
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับเพื่อใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังเดียว

ในการออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับเพื่อใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังเดียว มีหลักการเช่นเดียวกันกับการออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับเพื่อใช้ควบคุมรถจำลองคือ ต้องมีโครงสร้างที่เหมาะสม ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงส่วนประกอบของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังเดียว และแบบฝึกสอนของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังเดียว

#### 3.2.1 ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังเดียว

หลังจากที่ได้ทดสอบว่าตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับสามารถใช้งานได้ ลำดับต่อไปจะนำวิธีดังกล่าวไปออกแบบตัวควบคุมสำหรับควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังเดียว เพื่อหาประสิทธิภาพของตัวควบคุมและผลของการควบคุมระบบ โครงสร้างของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังเดียวแสดงได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 โครงสร้างของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังเดียว

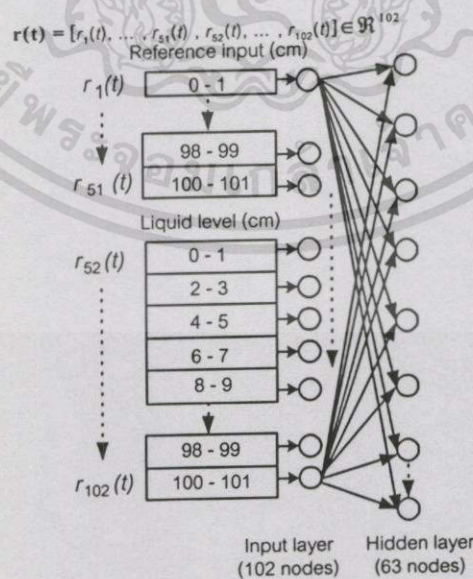
#### ในถังกระบวนการกรณีดังเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.8 ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าวประกอบด้วย 3 ชั้นคือ ชั้นรับข้อมูล ชั้นดำเนินการและชั้นสั่งการ ตามลำดับ เซลประสาททุกตัวในแต่ละชั้นจะรับข้อมูล ค่าพารามิเตอร์ และส่งผลลัพธ์เป็นข้อมูลสามระดับเท่านั้น ดังนั้น จึงต้องแปลความหมายของระดับน้ำในถังกระบวนการให้เป็นข้อมูลสามระดับโดยแบ่งระดับน้ำตั้งแต่ 0 เซนติเมตรถึง 100 เซนติเมตร ออกเป็น 51 ช่วงๆละ 2 เซนติเมตร แทนด้วยข้อมูลสามระดับหนึ่งชุดต่อระดับน้ำหนึ่งช่วง ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำจะรับสัญญาณอ้างอิงระดับน้ำที่ต้องการเป็นข้อมูลเข้าไปด้วย ในชั้นดำเนินการของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำจะออกแบบเป็นพิเศษให้มีสองชั้นเพื่อประสิทธิภาพในการเรียนรู้ของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับในชั้นสั่งการตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำจะประกอบด้วยเซลล์ประสาทเพียงสามตัวเนื่องจากนำสัญญาณไปควบคุมวาล์วเปิด-ปิดเพียงตัวเดียว

ส่วนประกอบของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าว มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ชั้นรับข้อมูล ทำหน้าที่รับข้อมูลจากภายนอกซึ่งในที่นี้จะรับสัญญาณมาตรวัดระดับน้ำ (level transmitter) และสัญญาณอ้างอิงระดับน้ำที่ต้องการ แล้วคำนวณข้อมูลที่ได้รับมาโดยการปรับน้ำหนัก จากนั้นจึงส่งต่อไปยังเซลล์ประสาทในดำเนินการต่อไป ชั้นรับข้อมูลนี้ประกอบด้วยเซลล์ประสาท 102 ตัว แต่ละตัวจะส่งสัญญาณต่อไปยังเซลล์ประสาทในชั้นดำเนินการทุกๆ ตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การเชื่อมต่อสัญญาณจากเซลล์ประสาทในชั้นรับข้อมูลไปยังเซลล์ประสาทในชั้นดำเนินการทุกๆ ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.9 ได้แสดงการแบ่งสัญญาณอ้างอิงระดับน้ำที่ต้องการ(รูปที่ 4.2)จากทั้งหมด 100 เซนติเมตรออกเป็น 51 ช่วงๆละ 2 เซนติเมตรซึ่งจะเป็นเซลล์ประสาทรับข้อมูล โดยเริ่มต้นจาก 0 ถึง 101 เซนติเมตรเป็น  $r_1(t), r_2(t), \dots, r_{51}(t)$  ตามลำดับ เพื่อแปลงข้อมูลสัญญาณอ้างอิงระดับน้ำที่ต้องการให้เป็นข้อมูลสามระดับ โดยมีความหมายดังนี้ เช่นช่วงที่  $r_1(t)$  หรือช่วง 0 - 1 เซนติเมตร สัญญาณอ้างอิงระดับน้ำที่ต้องการเป็น

-1 หมายความว่าสัญญาณอ้างอิงระดับน้ำที่ต้องการอยู่ที่ 0 เซนติเมตร

0 หมายความว่าสัญญาณอ้างอิงระดับน้ำที่ต้องการไม่อยู่ช่วง  $r_1(t)$  คือ 0 - 1 เซนติเมตร

1 หมายความว่าสัญญาณอ้างอิงระดับน้ำที่ต้องการอยู่ที่ 1 เซนติเมตร

ส่วนช่วงสัญญาณอ้างอิงระดับน้ำที่ต้องการอื่นๆ เช่นช่วงที่  $r_2(t)$  และช่วงที่  $r_3(t)$  มีความหมายในทำนองเดียวกัน

สัญญาณระดับน้ำในถังที่หนึ่งเริ่มจาก 0 เซนติเมตรถึง 100 เซนติเมตร ได้แบ่งออกเป็น 51 ช่วง ๆ ละ 2 เซนติเมตรเช่นเดียวกับสัญญาณอ้างอิงระดับน้ำที่ต้องการโดยเริ่มต้นจาก 0 ถึง 101 เซนติเมตรเป็น  $r_{52}(t), r_{53}(t), \dots, r_{102}(t)$  ตามลำดับ เพื่อแปลงข้อมูลระดับน้ำให้เป็นข้อมูลสามระดับ และมีความหมายดังนี้ เช่น ที่  $r_{52}(t)$  หรือช่วง 0 - 1 เซนติเมตร สัญญาณระดับน้ำเป็น

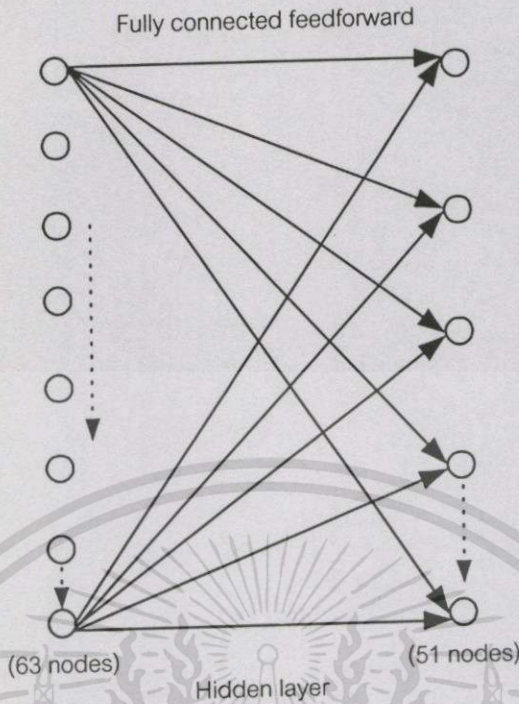
-1 หมายความว่าระดับน้ำอยู่ที่ 0 เซนติเมตร

0 หมายความว่าระดับน้ำไม่อยู่ช่วง  $r_{52}(t)$  คือ 0 - 1 เซนติเมตร

1 หมายความว่าระดับน้ำอยู่ที่ 1 เซนติเมตร

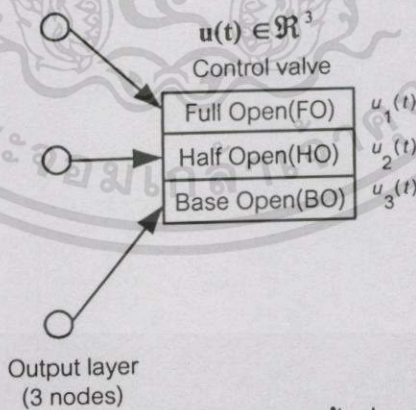
และในส่วนช่วงสัญญาณระดับน้ำอื่นๆ เช่นช่วงที่  $r_{54}(t)$  และช่วงที่  $r_{55}(t)$  มีความหมายในทำนองเดียวกัน

2. **ขั้นตอนการ** ทำหน้าที่คำนวณข้อมูลที่รับมาจากเซลล์ประสาทในชั้นรับข้อมูลโดยการปรับน้ำหนักแล้วส่งต่อไปยังเซลล์ประสาทในชั้นสั่งการต่อไป สำหรับในขั้นตอนการของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าว ได้ออกแบบให้มี 2 ชั้นเพื่อให้ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทสามารถเรียนรู้ได้และมีโครงสร้างเหมาะสมกับจำนวนอินพุตจากเซลล์ประสาทในชั้นรับข้อมูล โดยขั้นตอนการขั้นแรกประกอบไปด้วยเซลล์ประสาท 63 ตัว ชั้นที่สองประกอบไปด้วยเซลล์ประสาท 51 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การเชื่อมต่อสัญญาณจากเซลล์ประสาทในชั้นดำเนินการ

3. ชั้นสั่งการ ทำหน้าที่คำนวณข้อมูลที่ได้รับมาจากเซลล์ประสาทในชั้นดำเนินการแล้วส่งต่อไปยังวาล์วควบคุม(control valve) ชั้นสั่งการของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าวได้ออกแบบให้มีเซลล์ประสาท 3 ตัวเพื่อให้สอดคล้องกับวาล์วควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าถังกระบวนการ ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การเชื่อมต่อสัญญาณจากเซลล์ประสาทในชั้นสั่งการไปยังวาล์วควบคุม

จากรูปที่ 3.11 วาล์วควบคุมมีลักษณะการทำงานสามแบบดังนี้  $u_1(t)$  คือเปิดเต็มที่(full open)  $u_2(t)$  คือเปิดครึ่งหนึ่ง(haft open) และ  $u_3(t)$  คือเปิดปรกติ(base open) ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละลักษณะการทำงานจะมีสัญญาณควบคุมสามระดับ และแต่ละระดับมีความหมายดังต่อไปนี้

เมื่อวาล์วควบคุมเปิดเต็มที่ สัญญาณควบคุมเป็น

- 1 คือเปิดวาล์ว 73%
- 0 คือข้ามคำสั่งควบคุมในช่วงนี้
- 1 คือเปิดวาล์ว 100%

เมื่อวาล์วควบคุมเปิดครึ่งหนึ่ง สัญญาณควบคุมเป็น

- 1 คือเปิดวาล์ว 41.5%
- 0 คือข้ามคำสั่งควบคุมในช่วงนี้
- 1 คือเปิดวาล์ว 50%

เมื่อวาล์วควบคุมเปิดปรกติ สัญญาณควบคุมเป็น

- 1 คือเปิดวาล์ว 20.9%
- 0 คือข้ามคำสั่งควบคุมในช่วงนี้
- 1 คือเปิดวาล์ว 37.9%

ระดับการเปิดวาล์วจะปรับขึ้นลงได้โดยอัตโนมัติ ตามคุณสมบัติการปรับตัวได้ของตัวควบคุมโครงข่ายประสาท โดยนำสัญญาณระดับน้ำที่วัดได้ในขณะนั้นๆ เทียบกับสัญญาณอ้างอิงระดับน้ำที่ต้องการ จากนั้นจึงส่งสัญญาณที่ได้ไปยังวาล์วควบคุมต่อไป

กล่าวโดยสรุปได้ว่า ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียวที่ได้ออกแบบขึ้นประกอบด้วยสามชั้นคือ ชั้นรับข้อมูลมีเซลล์ประสาท 102 ตัว ต่อมาคือชั้นดำเนินการแบ่งออกเป็นชั้นย่อยอีกสองชั้น ชั้นแรกมีเซลล์ประสาท 63 ตัว ชั้นที่สองมีเซลล์ประสาท 51 ตัว ชั้นสุดท้ายของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทคือชั้นสั่งการมีเซลล์ประสาท 3 ตัว

### 3.2.2 แบบฝึกสอนของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียว

ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียวจะต้องทำการฝึกสอนให้ตัวควบคุมรู้จักวิธีการควบคุมก่อน โดยใช้แบบฝึกสอนที่ออกแบบขึ้น ซึ่งในที่นี้จะใช้แบบฝึกสอนที่ระดับสัญญาณอ้างอิง 50 เซนติเมตรเป็นหลัก ตารางที่ 3.2 แสดงตัวอย่างแบบฝึกสอนของโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างแบบฝึกสอนของโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าว

Liquid Level (Centimeter)									Control Valve		
40-41	42-43	44-45	46-47	48-49	50-51	52-53	54-55	56-57	FO	HO	BO
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0

ความหมายของแบบฝึกสอนในตารางที่ 3.2 มีดังนี้

บรรทัดแรก หมายความว่าที่ระดับน้ำ 49 เซนติเมตรเปิดวาล์ว 41.5%

บรรทัดที่สอง หมายความว่าที่ระดับน้ำ 50 เซนติเมตรเปิดวาล์ว 50%

บรรทัดที่สาม หมายความว่าที่ระดับน้ำ 51 เซนติเมตรเปิดวาล์ว 41.5%

บรรทัดที่สี่ หมายความว่าที่ระดับน้ำ 52 เซนติเมตรเปิดวาล์ว 37.9%

บรรทัดที่ห้า หมายความว่าที่ระดับน้ำ 53 เซนติเมตรเปิดวาล์ว 100%

### 3.3 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ ต่อจากนั้นนำตัวควบคุมที่ออกแบบขึ้นมาไปจำลองผลการควบคุมรถจำลอง พบว่าสามารถควบคุมรถจำลองได้ และได้ออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับเพื่อใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าวด้วย สำหรับผลการทดลองควบคุมระดับน้ำ จะได้กล่าวถึงต่อไปในบทที่ 4

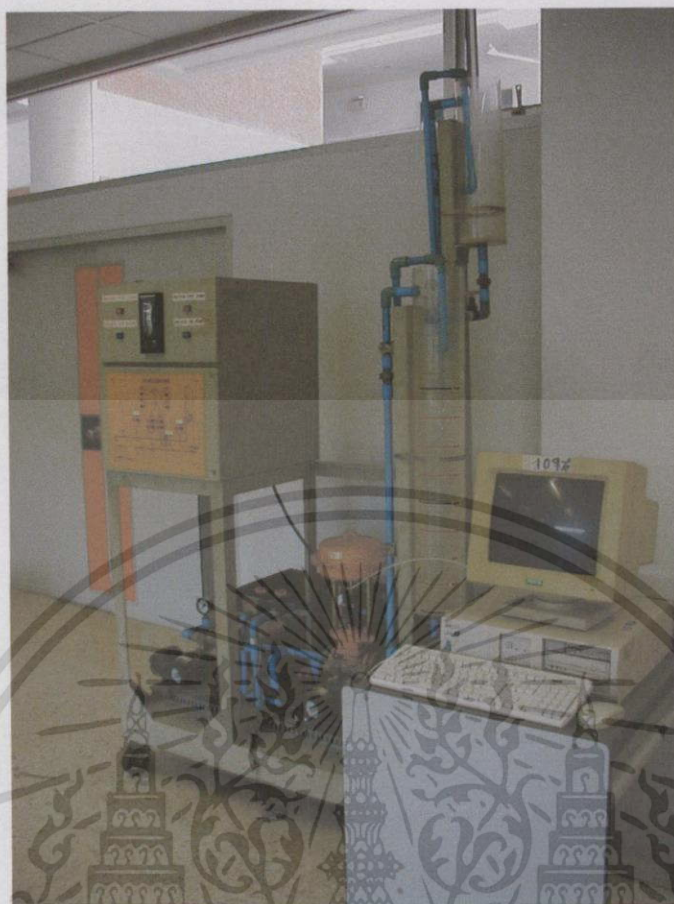
## บทที่ 4

# ผลการทดลองควบคุมระดับน้ำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการนำตัวควบคุมโครงข่ายแบบข้อมูลสามระดับที่ได้ออกแบบขึ้น มาทดลองควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียวเพื่อแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมดังกล่าวสามารถใช้ได้กับระบบควบคุมที่มีใช้งานกันทั่วไป โดยอธิบายถึงโครงสร้างของถังกระบวนการ วิธีการทำงานของถังกระบวนการ วิธีการทดลองและผลการทดลองควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียว พร้อมทั้งเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับกับระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมพีไอดีที่ออกแบบตามวิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์ และสรุปผลการทดลองในตอนท้าย

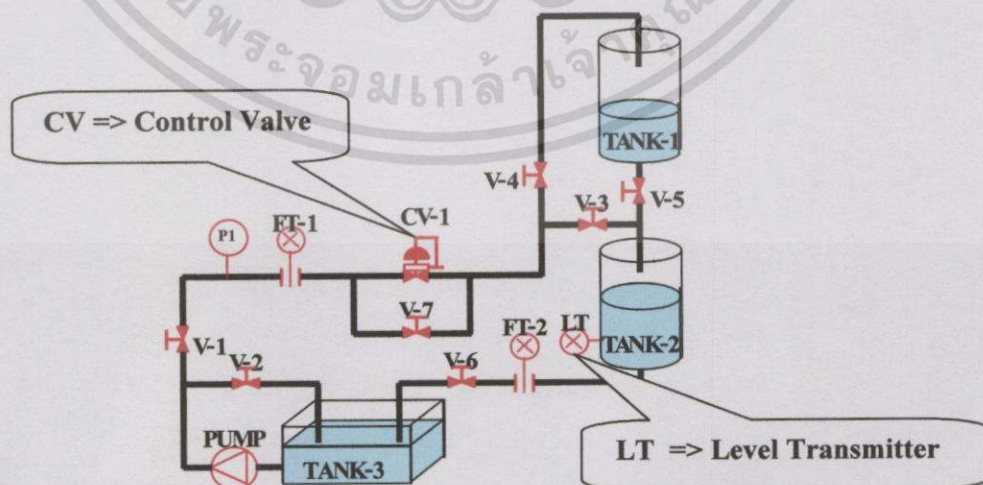
### 4.1 โครงสร้างและการทำงานของถังกระบวนการ

การนำตัวควบคุมโครงข่ายแบบข้อมูลสามระดับที่ได้ออกแบบขึ้น มาทดลองควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียวเป็นการพัฒนาต่อมาจากบทความสองฉบับดังแสดงในภาคผนวกของวิทยานิพนธ์นี้ คือเรื่อง "การประยุกต์ใช้ข้อมูลสามระดับกับวงจรโครงข่ายประสาท" [9] และเรื่อง "Application of Three-level Data in Neural Networks"[10] ตามลำดับ จากผลสำเร็จดังกล่าว จึงได้นำตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับมาทดลองควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียว ซึ่งเป็นระบบควบคุมทั่วไป ที่มีการประยุกต์ใช้งานจริงตามโรงงานต่างๆ โดยในที่นี้เลือกแสดงตัวอย่างเป็นการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียว ดังกระบวนการแสดงดังรูปที่ 4.1 เพื่อแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมที่ได้ออกแบบขึ้นนี้ สามารถใช้งานได้กับระบบควบคุมทั่วไป ในการทดลองจะเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับกับผลตอบสนองของระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมพีไอดีซึ่งออกแบบตามวิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์ โดยทั้งหมดนี้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมระดับน้ำของถังกระบวนการในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 4.1 ภาพของถังกระบวนการที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 4.1 เป็นภาพที่แสดงถึงถังกระบวนการที่ใช้ในการทดลองและมีโครงสร้างดังรูปที่ 4.2 รายละเอียดโครงสร้างและการทำงานของถังกระบวนการมีดังนี้



รูปที่ 4.2 โครงสร้างของถังกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1 โครงสร้างของถังกระบวนการ

โครงสร้างของถังกระบวนการประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

1. ถังสาม (TANK-3) ทำหน้าที่สำรองน้ำที่ใช้ในกระบวนการทั้งหมด
2. เครื่องสูบน้ำหรือปั๊ม (pump) ทำหน้าที่สูบน้ำไปตามท่อเข้าสู่ส่วนต่าง ๆ ของกระบวนการหรือระบบควบคุม
3. วาล์วควบคุม (CV-1) ทำหน้าที่เปิด ปิดหรือควบคุมน้ำที่สูบน้ำขึ้นมาให้ไหลต่อเข้าไปยังถังหนึ่ง (TANK-1) หรือถังสอง (TANK-2) แล้วแต่กรณี
4. ถังหนึ่ง ทำหน้าที่พักน้ำเพื่อให้ไหลไปยังถังสองต่อไป ในกรณีที่ใช้สองถัง
5. ถังสอง ทำหน้าที่รับน้ำจากถังหนึ่งในกรณีที่ใช้สองถัง หรือรับน้ำโดยตรงจากวาล์วควบคุมในกรณีที่ใช้ถังเดียว และเป็นถังที่ต้องการควบคุมระดับน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

#### 4.1.2 การทำงานของถังกระบวนการ

ขั้นตอนการทำงานของถังกระบวนการมีรายละเอียดดังนี้

1. เริ่มจากเครื่องสูบน้ำซึ่งทำหน้าที่สูบน้ำจากถังสามขึ้นไปตามท่ออย่างต่อเนื่องตลอดเวลาในการควบคุม ผ่านไปที่วาล์ว V-1 ซึ่งเปิดไว้ตลอดเวลาไปยังวาล์วควบคุม CV-1
2. วาล์วควบคุม CV-1 จะต่อขนานกันอยู่กับวาล์ว V-7 ซึ่งใช้สำหรับการควบคุมด้วยมือนั่นคือผู้ใช้ต้องคอยเปิดหรือปิดวาล์วเอง แต่ในการทดลองนี้จะปิดไว้ตลอดเวลา โดยมีวาล์ว V-2 ทำหน้าที่เป็นวาล์วลัดต่อตรงไปยังถังสามเพื่อให้ น้ำไหลย้อนกลับมาเมื่อวาล์วควบคุมปิดและในการทดลองจะเปิดวาล์ว V-2 ให้แรงดันด้านหน้าของวาล์วควบคุม CV-1 ขณะที่ปิดวาล์วมีค่าเท่ากับ 2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
3. สำหรับกรณีที่ต้องการใช้ถังกระบวนการดังเดิยวนั้น จะเปิดวาล์ว V-3 และปิดวาล์ว V-4 กับ V-5 เพื่อให้ น้ำไหลมาจากวาล์วควบคุม CV-1 ผ่านวาล์ว V-3 เข้าไปในถังสองและน้ำที่อยู่ในถังสองจะไหลผ่านวาล์ว V-6 ซึ่งเปิดตลอดเวลาที่ควบคุม กลับไปที่ถังสาม
4. ในการควบคุม จะใช้มาตรวัดระดับน้ำ LT ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจวัดระดับน้ำในถังสองและแปลงค่าระดับน้ำที่วัดได้เป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 mA ซึ่งสัญญาณกระแสไฟฟ้านี้จะถูกแปลงเป็นศักดาไฟฟ้า 1-5 V โดยใช้ความต้านทาน 250 โอห์ม 1%
5. ศักดาไฟฟ้าขนาด 1-5 V จาก LT ที่ได้จากการแปลงดังกล่าวจะถูกป้อนเป็นอินพุตของการ์ด DS1102 ซึ่งทำหน้าที่เป็น ADC ขนาด 16 บิต เพื่อเป็นสัญญาณป้อนให้กับตัวควบคุมซึ่งจะใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการ์ด DS1102

6. สัญญาณควบคุมจากเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์จะส่งผ่านมายังการ์ด DS1102 ตัวเดิม ซึ่งทำหน้าที่เป็น DAC ขนาด 12 บิต สัญญาณจาก DAC จะต่อเข้ากับตัวแปลงสัญญาณ (signal converter) SC 95 ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าขนาด 1-10 V จาก DAC เป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 mA

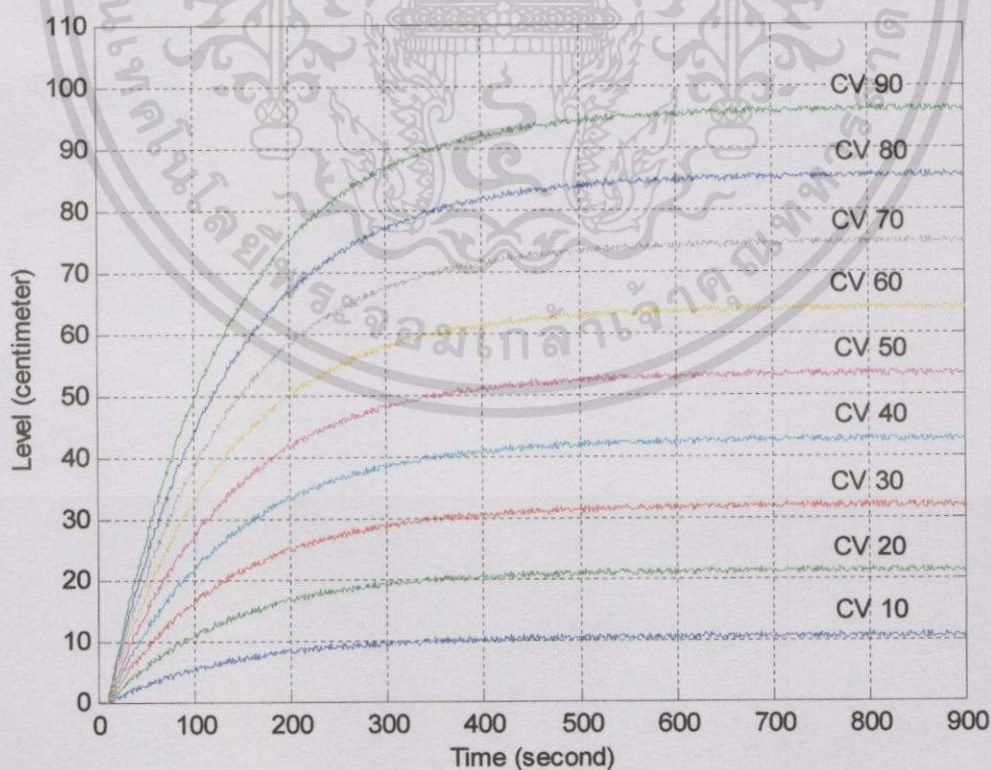
7. สัญญาณไฟฟ้าขนาด 4-20 mA ที่ได้จากตัวแปลงสัญญาณ SC 95 จะต่อเข้ากับตัวแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นความดัน (I/P) เพื่อควบคุมวาล์ว CV-1 ซึ่งทำหน้าที่เปิดให้น้ำที่ถูกสูบขึ้นมาสามารถไหลเข้าไปในถังกระบวนการทั้งสอง

8. ในการสร้างสัญญาณรบกวนจากภายนอก จะใช้วิธีปิดเครื่องสูบน้ำและเติมน้ำเข้าถังสองเพื่อรบกวนการทำงานของระบบ

## 4.2 ผลการทดลองควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบ

### ข้อมูลสามระดับ

การทดลองเริ่มต้นด้วยการเปิดวาล์วควบคุม CV-1 ให้ได้ระดับน้ำเป็น 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 เซนติเมตรตามลำดับโดยไม่มีการป้อนกลับ ผลตอบสนองระบบเปิดของกระบวนการกรณีดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.3



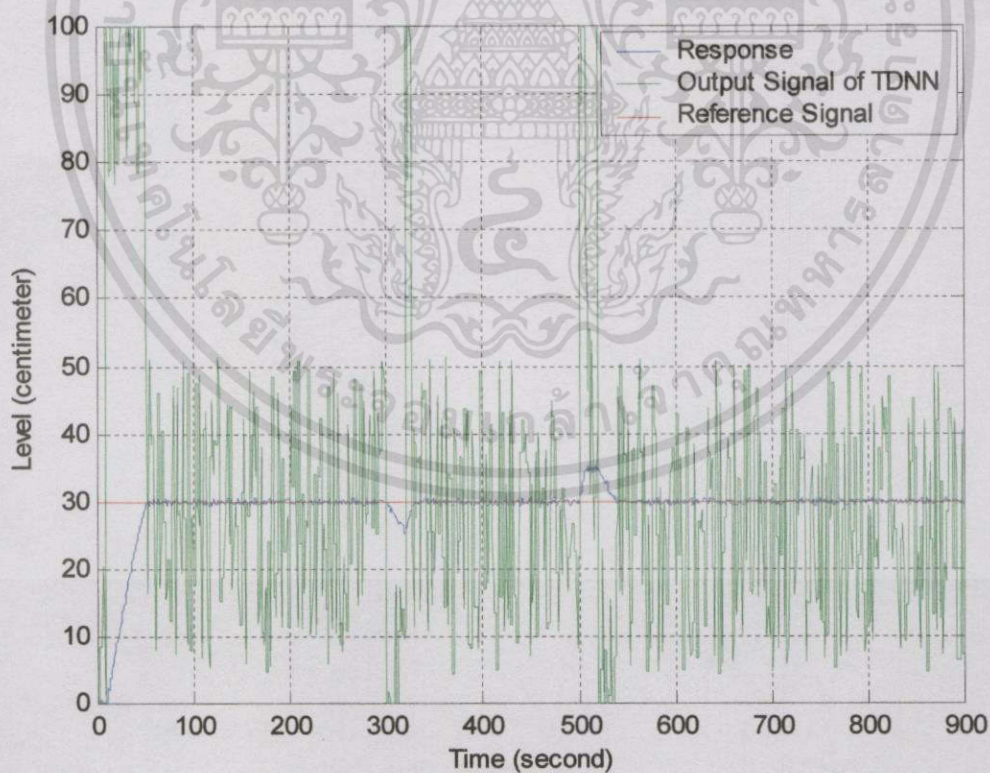
รูปที่ 4.3 ผลตอบสนองระบบเปิดของการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าผลตอบสนองที่สถานะคงตัวของระดับน้ำที่วัดได้เกินจากระดับระดับน้ำที่ต้องการ ที่ระดับการเปิดวาล์ว CV-1 10 เซนติเมตรจะได้ระดับน้ำเกิน 10 เซนติเมตรไปเล็กน้อย และระดับน้ำจะเกินจากระดับที่ต้องการมากขึ้นไปอีกเมื่อระดับการเปิดวาล์วมากขึ้นตาม

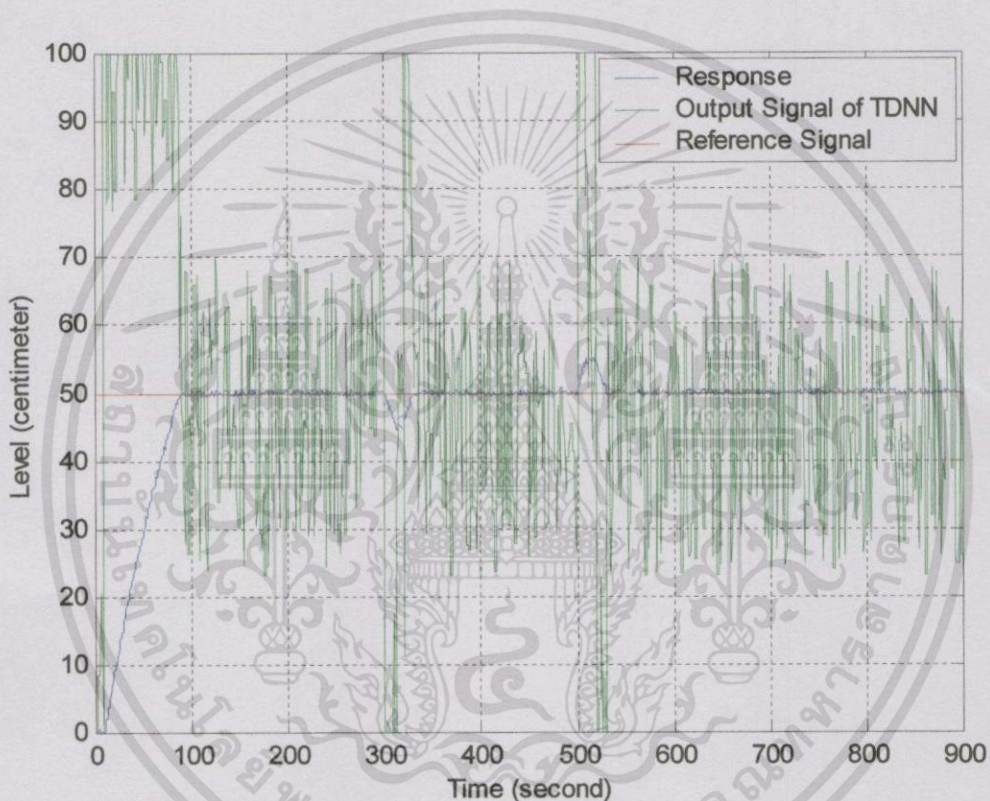
หลังจากที่ได้แสดงผลการทดลองเมื่อไม่ใช้ตัวควบคุมแล้ว ต่อไปจะนำตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้แบบฝึกสอนที่ระดับสัญญาณอ้างอิง 50 เซนติเมตรมาควบคุมกระบวนการเพื่อให้ระดับน้ำในถังกระบวนการอยู่ในระดับที่ต้องการคือระดับ 30 50 และ 70 เซนติเมตรผลการทดลองมีดังนี้

1. ผลการทดลองที่ใช้ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับควบคุมกระบวนการโดยกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 30 เซนติเมตร และระบบระบบโดยปิดเครื่องสูบน้ำ 10 วินาที ณ เวลา  $t = 300$  วินาที จากนั้นเติมน้ำ 750 ลูกบาศก์เซนติเมตรลงในถังสอง ณ เวลา  $t = 500$  วินาทีตามลำดับ ผลตอบสนองของระบบแสดงดังรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าตัวควบคุมสามารถควบคุมให้ได้ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร ตามที่ต้องการโดยไม่มีค่าพุ่งเกิน ไม่มีค่าผิดพลาดที่สถานะคงตัว และลดผลของสัญญาณรบกวนให้หายไป



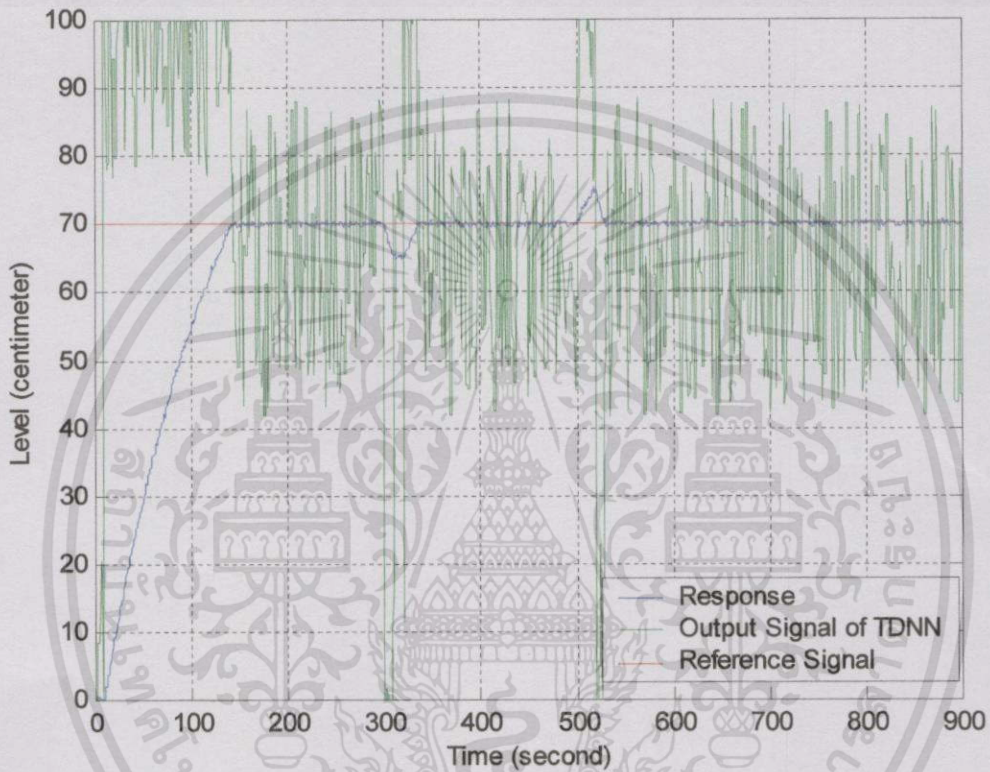
รูปที่ 4.4 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีตั้งเดียวด้วยตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ ที่ระดับ 30 เซนติเมตร

2. หลังจากควบคุมระดับน้ำที่ระดับ 30 เซนติเมตรแล้ว ต่อไปเป็นผลการทดลองที่ใช้ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับควบคุมกระบวนการโดยกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 50 เซนติเมตร และรบกวนระบบโดยปิดเครื่องสูบน้ำ 10 วินาที ณ เวลา  $t = 300$  วินาที จากนั้นเติมน้ำ 750 ลูกบาศก์เซนติเมตรลงในถังสอง ณ เวลา  $t = 500$  วินาทีตามลำดับ ผลตอบสนองของระบบแสดงดังรูปที่ 4.5 พบว่า ผลตอบสนองไม่มีค่าพุ่งเกินและค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัวเช่นเดียวกับการควบคุมที่ระดับ 30 เซนติเมตร และลดผลของสัญญาณรบกวนให้นายไปได้เช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.5 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถึงเดี่ยวด้วยตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ ที่ระดับ 50 เซนติเมตร

3. เมื่อได้ผลตอบสนองของการควบคุมระดับน้ำที่ 50 เซนติเมตรแล้ว ต่อไปจะแสดงผลการทดลองที่ใช้ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับควบคุมกระบวนการโดยกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 70 เซนติเมตร และรบกวนระบบโดยปิดเครื่องสูบน้ำ 10 วินาที ณ เวลา  $t = 300$  วินาที จากนั้นเติมน้ำ 750 ลูกบาศก์เซนติเมตรลงในถังสอง ณ เวลา  $t = 500$  วินาทีตามลำดับ ผลตอบสนองของระบบแสดงดังรูปที่ 4.6

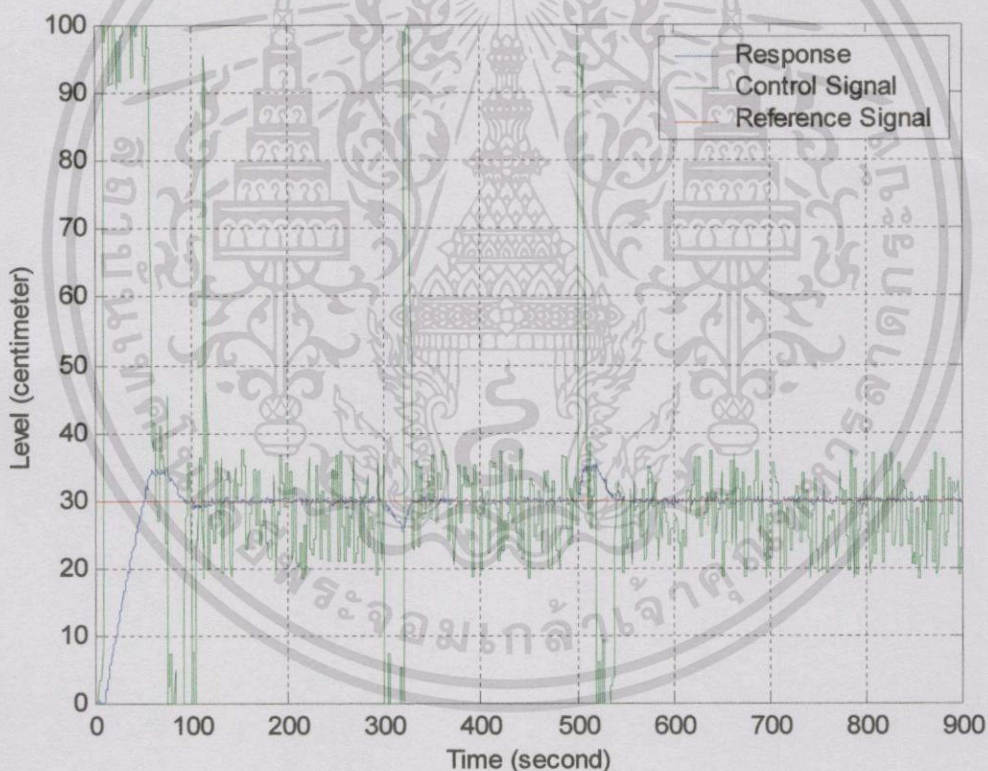


รูปที่ 4.6 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังเดี่ยวด้วยตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูล ที่ระดับ 70 เซนติเมตร

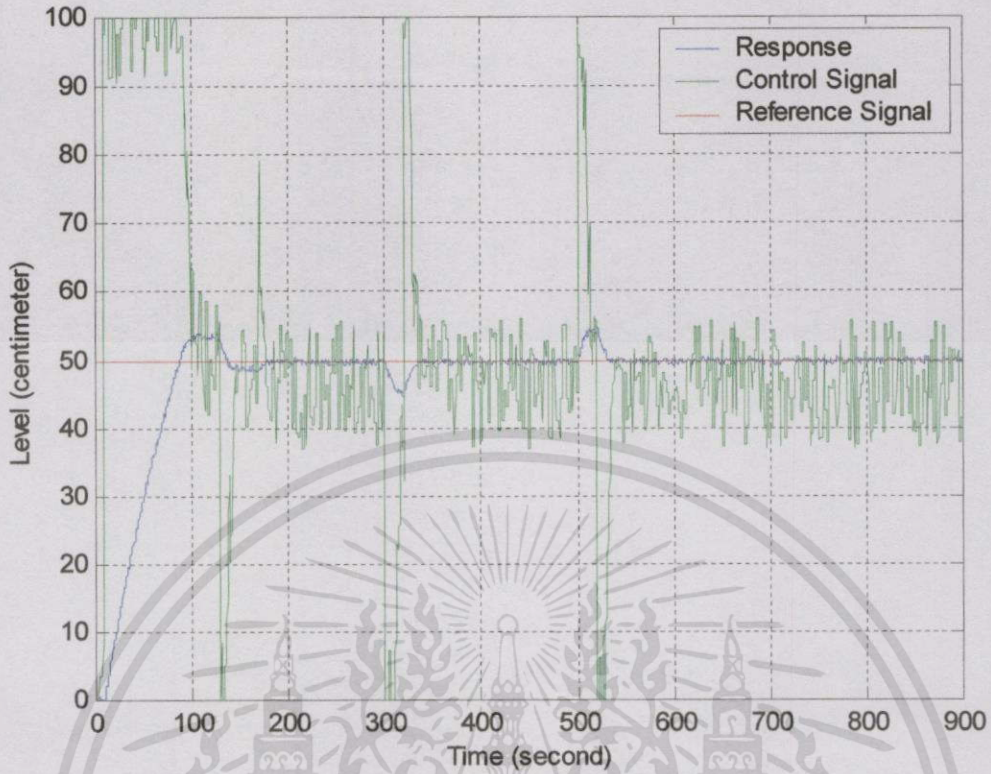
จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.4 รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับสามารถควบคุมให้ระดับน้ำในถังกระบวนการอยู่ในระดับที่ตั้งไว้ได้ โดยมีการทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมว่า สามารถลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนได้ ด้วยการปิดเครื่องสูบน้ำ 10 วินาที ณ เวลา  $t = 300$  วินาที จากนั้นเติมน้ำลงไป 750 ลูกบาศก์เซนติเมตร ณ เวลา  $t = 300$  วินาทีตามลำดับ ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำ ได้ทำการฝึกสอนโดยใช้ข้อมูลที่ระดับน้ำ 50 เซนติเมตรเป็นหลัก หลังจากนั้นจึงนำไปควบคุมระดับน้ำที่ 30 เซนติเมตรและ 70 เซนติเมตรโดยไม่ต้องฝึกสอนใหม่

### 4.3 ผลการทดลองควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมพีไอดี

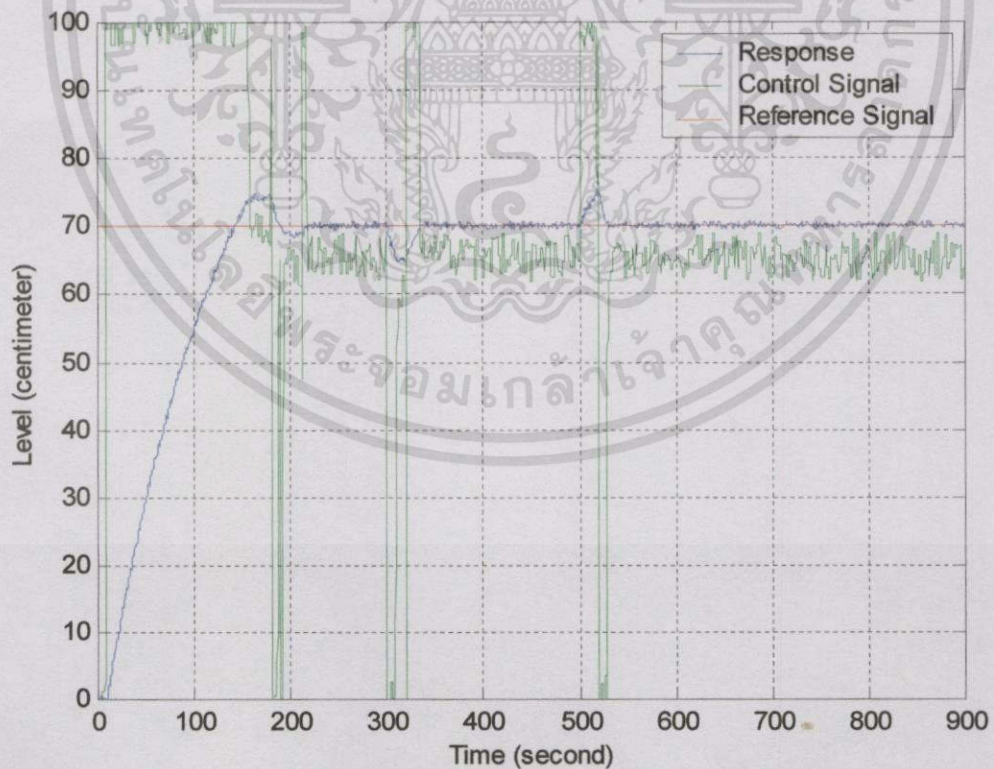
กำหนดให้ผลตอบสนองของระบบเปิดของกระบวนการที่ระดับน้ำ 50 เซนติเมตร เป็นเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการ เพื่อนำมาใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีตามวิธีของซีเกลอร์-นิโคลส์ แสดงไว้ในภาคผนวก ก คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีได้ดังนี้  $K_p = 1.2 \cdot 171.1 / 8.9 = 23.067$   $T_i = 2 \cdot 8.9 = 17.8$  วินาที และ  $T_d = 0.5 \cdot 8.9 = 4.45$  วินาที ผลการทดลองใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีที่คำนวณได้มาควบคุมกระบวนการโดยกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเท่ากับ 30 เซนติเมตร 50 เซนติเมตรและ 70 เซนติเมตร โดยมีการรบกวนระบบด้วยการปิดเครื่องสูบน้ำ 10 วินาที ณ เวลา  $t = 300$  วินาที จากนั้นเติมน้ำ 750 ลูกบาศก์เซนติเมตรลงในถังสอง ณ เวลา  $t = 500$  วินาทีตามลำดับ ผลตอบสนองของระบบควบคุมพีไอดีแสดงดังรูปที่ 4.7 รูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมพีไอดีที่ระดับ 30 เซนติเมตร



รูปที่ 4.8 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมพีไอดีที่ระดับ 50 เซนติเมตร



รูปที่ 4.9 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมพีไอดีที่ระดับ 70 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูล สามระดับกับระบบควบคุมพีไอดี

ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ (TDNN) กับระบบควบคุมพีไอดีในการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าว เมื่อ กำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงต่างๆกัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าสมรรถนะของระบบควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ  
กับระบบควบคุมพีไอดีในการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าว

System Performance of 1st Order Level Control System				
Controller Type	Reference (centimeter)	Overshoot (percent)	Rise time (second)	Settling time (second)
TDNN	30	0	55.19	51.18
PID	30	24.27	53.03	103.13
TDNN	50	0	91.01	90.75
PID	50	10.13	90.13	178.08
TDNN	70	0	153.09	150.91
PID	70	6.01	157.05	221.02

จากตารางที่ 4.1 สามารถกล่าวเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมโครงข่ายประสาทแบบสามระดับกับระบบควบคุมพีไอดีในการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าว ได้ดังนี้

1. ที่สภาวะชั่วคราวระบบควบคุมพีไอดีมีค่าพุ่งเกินสูงกว่าของระบบควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ นั่นคือ ระบบควบคุมพีไอดีมีเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูตประมาณ 5-30% แต่ระบบควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับไม่มีเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูต
2. ผลตอบสนองของระบบควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ และผลตอบสนองของระบบควบคุมพีไอดีสู่ค่าอ้างอิงได้ในเวลาใกล้เคียงกัน
3. เมื่อพิจารณาสมรรถนะที่สภาวะคงตัว ผลตอบสนองของระบบควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวน้อยกว่าผลตอบสนองของระบบควบคุมพีไอดี

#### 4.5 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า

1. ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับสามารถควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าวได้ ค่าสมรรถนะของระบบควบคุมแสดงในตารางที่ 4.1
2. ผลตอบสนองของระบบควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับเข้าสู่ค่าอ้างอิงได้โดยไม่มีค่าพุ่งเกิน
3. ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ สามารถปรับลดผลกระทบจากการรบกวนภายนอก ณ ช่วงเวลาที่ 300 และ 500 วินาทีได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ
4. เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับกับการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมพีไอที่ตั้งแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าผลตอบสนองของระบบเมื่อควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมพีไอดีมีค่าพุ่งเกินสูงกว่าการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ
5. การควบคุมกระบวนการโดยตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับและการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมพีไอดีมีเวลาไต่ขึ้น (rise time) ใกล้เคียงกัน
6. เมื่อเปรียบเทียบที่สภาวะคงตัวพบว่า ระบบควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับจะเข้าสู่สภาวะคงตัวเร็วกว่าระบบควบคุมพีไอดีเล็กน้อยโดยพิจารณาจากเวลาเข้าที่ (settling time)
7. ในส่วนของการลดผลกระทบจากการรบกวนจากภายนอก ตัวควบคุมทั้งสองต่างสามารถลดผลกระทบที่เกิดจากการรบกวนภายนอกได้ดี โดยที่มีความสามารถในการลดผลกระทบใกล้เคียงกัน
8. ขนาดการแกว่งของสัญญาณควบคุมที่ได้จากตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับมีขนาดการแกว่งของสัญญาณควบคุมมากกว่าตัวควบคุมพีไอดี

กล่าวโดยสรุปได้ว่า ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับสามารถให้ควบคุมกระบวนการจริงได้ ซึ่งในที่นี้คือควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าว และสมรรถนะของระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าวดีโดยไม่มีค่าพุ่งเกิน

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ ข้อมูลสามระดับคือ -1 0 และ 1 จากของเดิมที่ใช้ข้อมูลสองระดับคือ 0 กับ 1 เพื่อนำไปใช้ควบคุมระบบให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ ลักษณะของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบสามระดับเป็นแบบป้อนไปข้างหน้า อาศัยการฝึกสอนและการเรียนรู้แบบแพร่กลับ วิทยานิพนธ์เริ่มต้นด้วยการศึกษาทฤษฎีโครงข่ายประสาท ต่อมาจึงได้ออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับขึ้น หลังจากนั้นนำไปทดสอบโดยการจำลองผลให้ควบคุมรถจำลอง ปรากฏว่าสามารถควบคุมรถจำลองได้ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้โดยใช้เวลาเคลื่อนที่ไปสู่เป้าหมายน้อยกว่าการใช้ข้อมูลสองระดับ ต่อมาได้ออกแบบตัวควบคุมสำหรับใช้ควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าวด้วยวิธีการเดียวกัน โดยนำตัวควบคุมที่ได้ไปฝึกสอนด้วยแบบฝึกสอนที่ระดับน้ำอ้างอิงหนึ่งซึ่งในที่นี้คือ 50 เซนติเมตร จากผลการทดลองควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับที่ระดับน้ำอ้างอิงเดิมคือ 50 เซนติเมตร ที่ระดับน้ำอ้างอิงใหม่ลดลง 25 เปอร์เซ็นต์เป็น 30 เซนติเมตร และที่ระดับน้ำอ้างอิงใหม่เพิ่มขึ้น 25 เปอร์เซ็นต์เป็น 70 เซนติเมตร ด้วยตัวควบคุมที่ฝึกสอนด้วยระดับน้ำอ้างอิง 50 เซนติเมตรโดยไม่ต้องฝึกสอนใหม่ พบว่าสมรรถนะของระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับมีสมรรถนะดี กล่าวคือ ที่สภาวะชั่วคราวระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับไม่มีค่าพุ่งเกินเมื่อเปรียบเทียบกับระบบควบคุมพีไอดี ต่อมาเมื่อพิจารณาที่สภาวะคงตัว พบว่าระบบควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับเข้าสู่สภาวะคงตัวเร็วกว่าระบบควบคุมพีไอดี ระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับจะไม่มีค่าผิดพลาดที่สถานะคงตัว และสามารถลดผลกระทบที่เกิดจากการรบกวนภายนอกได้ดี

ปัญหาที่พบในการวิจัยครั้งนี้คือ พารามิเตอร์ของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับต้องออกแบบให้เหมาะสมกับพารามิเตอร์ของระบบที่จะทำการควบคุม เช่น การแปลความหมายของข้อมูลระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีดังกล่าวมาเป็นข้อมูลแบบสามระดับที่สามารถใช้กับตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับได้ และสัญญาณควบคุมของตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับจะมีขนาดการแกว่งสูง

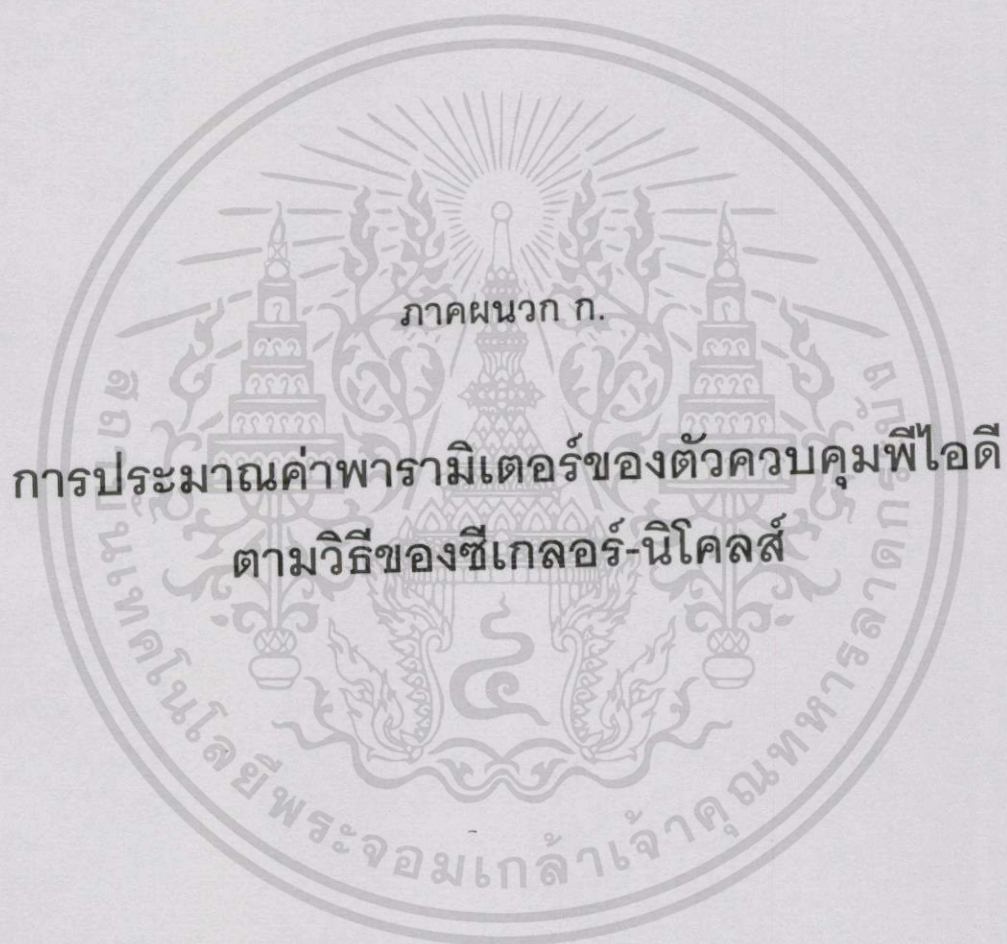
ในการนำผลการวิจัยครั้งนี้ไปใช้ประโยชน์ต้องระวังเรื่องการแปลความหมายของข้อมูลจากระบบที่ต้องการควบคุม ควรจะครบถ้วน สมบูรณ์พอเพียง เพื่อให้ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับสามารถควบคุมระบบให้ได้สมรรถนะตามที่ต้องการ

## บรรณานุกรม

- [1] Nguyen, D. and Widrow, B. 1998. "The truck backer-upper: An example of self-learning in neural networks." 357-361. **Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks**. 2. New York : IEEE Press.
- [2] Werbos, P. J. 1990. "Backpropagation through time : What it does and how to do it." **Proceedings of the IEEE** 78(30) : 1550-1560.
- [3] Muller, B. et.al. 1995. **Neural Networks: An introduction**. 2<sup>nd</sup> ed. Germany: Springer.
- [4] Gupta, M. M. and Rao, D. H. 1994. "Neuro-Control System : A Tutorial." 1-43. **Neuro-Control System: Theory and Application**. New York : IEEE Press.
- [5] Kosko, B. 1992. "Comparison of fuzzy and neural truck backer-upper control systems." 339-361. **Neural Networks and Fuzzy systems** : Prentice Hall.
- [6] Kuntanapreeda, S. et.al. 1992. "Neural network model reference control of nonlinear systems." **Proceedings of the IJCNN**. Baltimore.
- [7] Jenkins, R. E. and Yuh, B. P. 1992. "A simplified neural-network solution through problem decomposition : The case of the truck backer-upper." **Neural Computation** 4(5) : 647-649.
- [8] Linprachya, S. and Paithoonwattanakij, K. 1993. "Using Neural Networks for Pattern Recognition." **PJ.Natl.Res.Council**. Bangkok.
- [9] สายกลาง บุญบุญธรรม และจกมล งามวิวิทย์. พุทธศักราช 2542. "การประยุกต์ใช้ข้อมูลตามระดับกับวงจรโครงข่ายประสาท" หน้า 175-178. ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 22. กรุงเทพมหานคร : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [10] Bunyaboon, S. and Ngamwiwit, J. 1999. "Application of Three-level Data in Neural Networks." 235-238. **Proceeding of the ICMT'99**. Pusan: Pusan National University, Korea.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

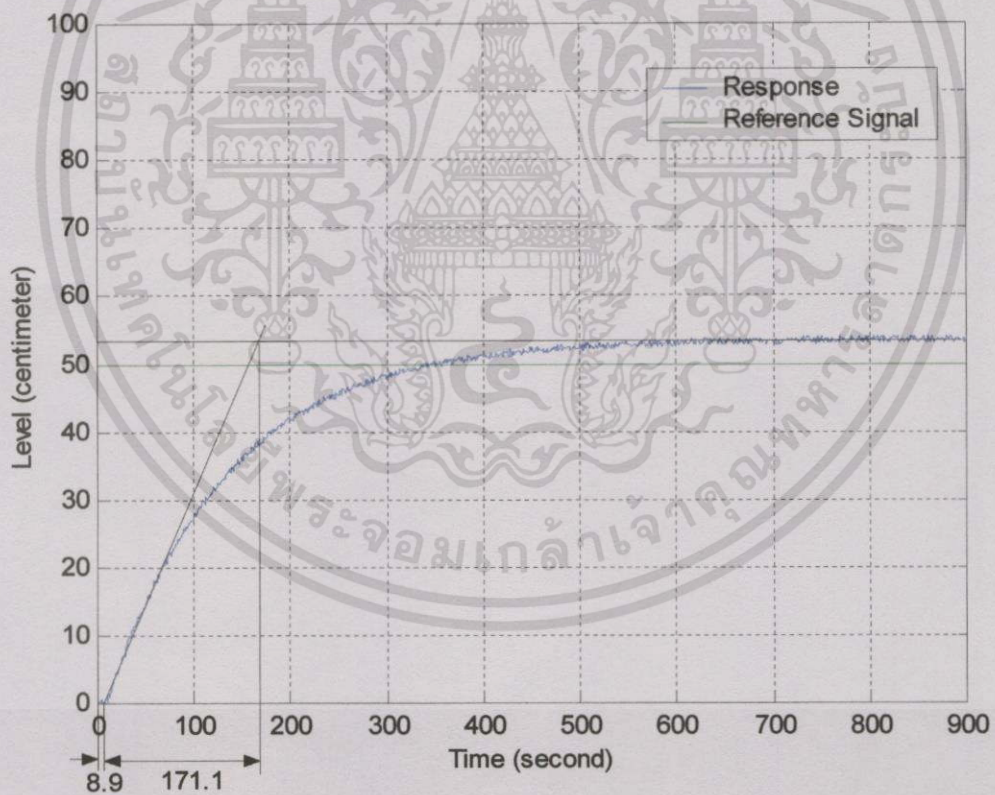


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

## การประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี ตามวิธีของซีเกลอร์-นิโคลส์

การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีสำหรับนำไปควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียว มีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบกับตัวควบคุมโครงข่ายประสาทแบบข้อมูลสามระดับ การออกแบบจะทำตามวิธีของซีเกลอร์-นิโคลส์ โดยใช้ผลตอบสนองของระบบเปิดของกระบวนการที่ให้เอาท์พุทสอดคล้องกับการเปิดวาล์วควบคุม 50 % เป็นเส้นโค้งปฏิกิริยา ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี แสดงดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 เส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกระบวนการกรณีถังเดียว  
เมื่อเปิดวาล์วควบคุม CV 50%

จากรูปที่ ก.1 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีตามวิธีของซีเกลอร์-นิโคลส์โดยที่  $T=171.1$  และ  $L=8.9$  ได้ดังนี้

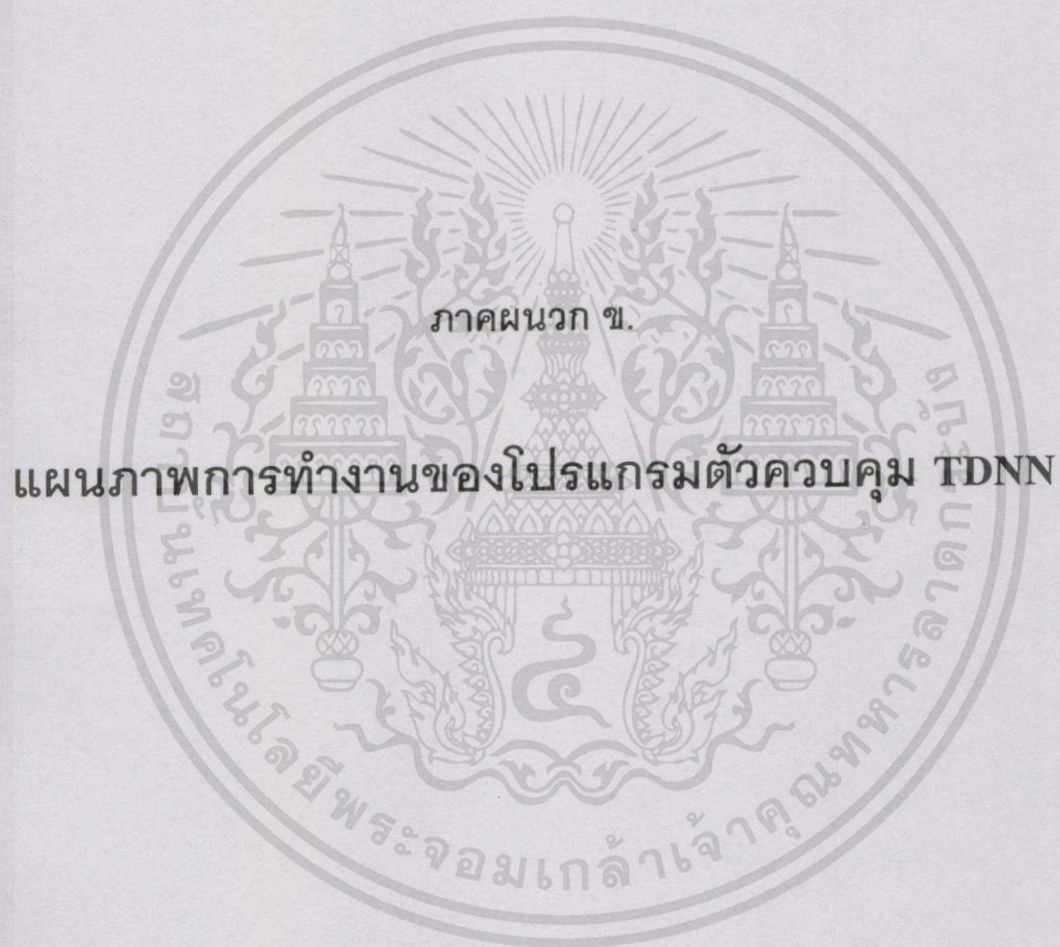
$$K_p = 1.2 (T/L) = 1.2 (171.1/8.9) = 23.067$$

$$T_i = 2 L = 2 (8.9) = 17.8$$

$$T_d = 0.5 (L) = 0.5(8.9) = 4.45$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

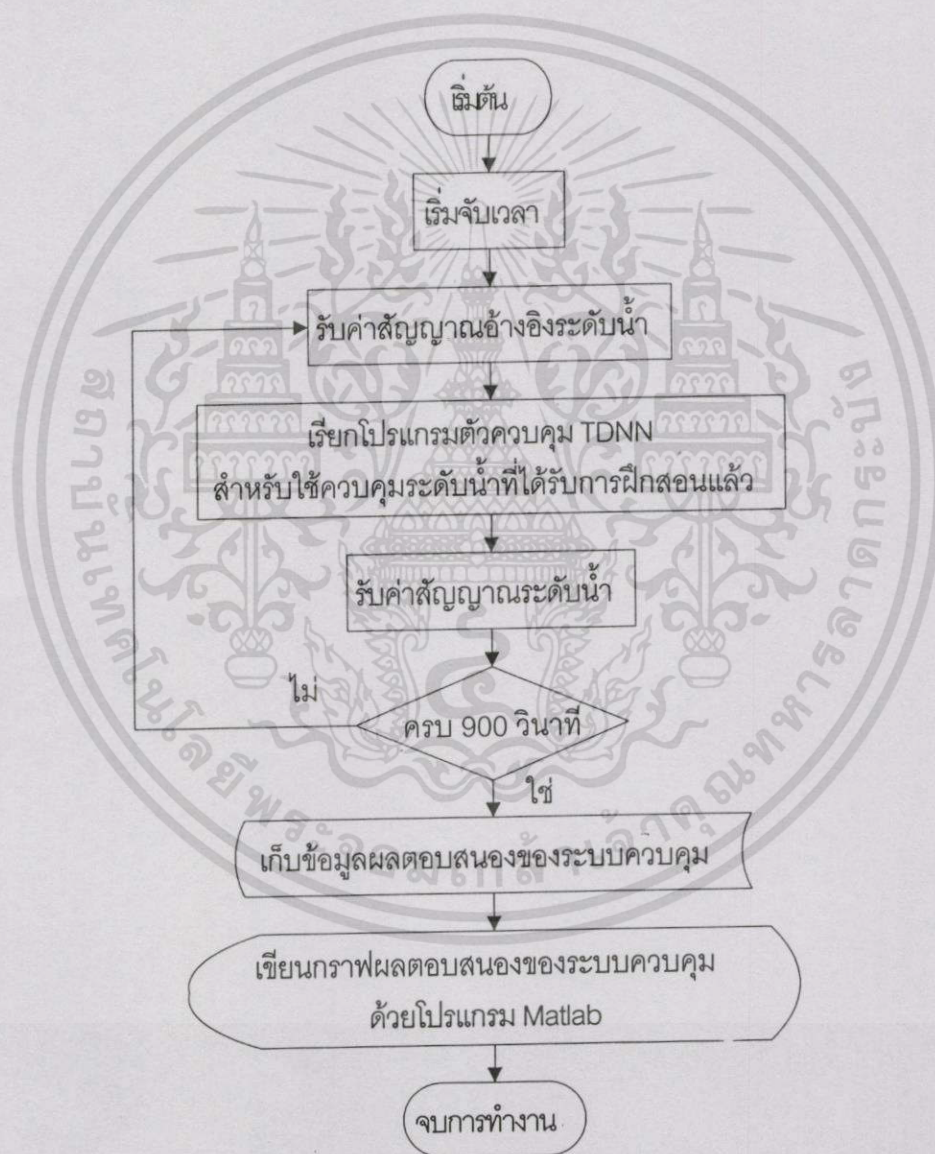


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข.

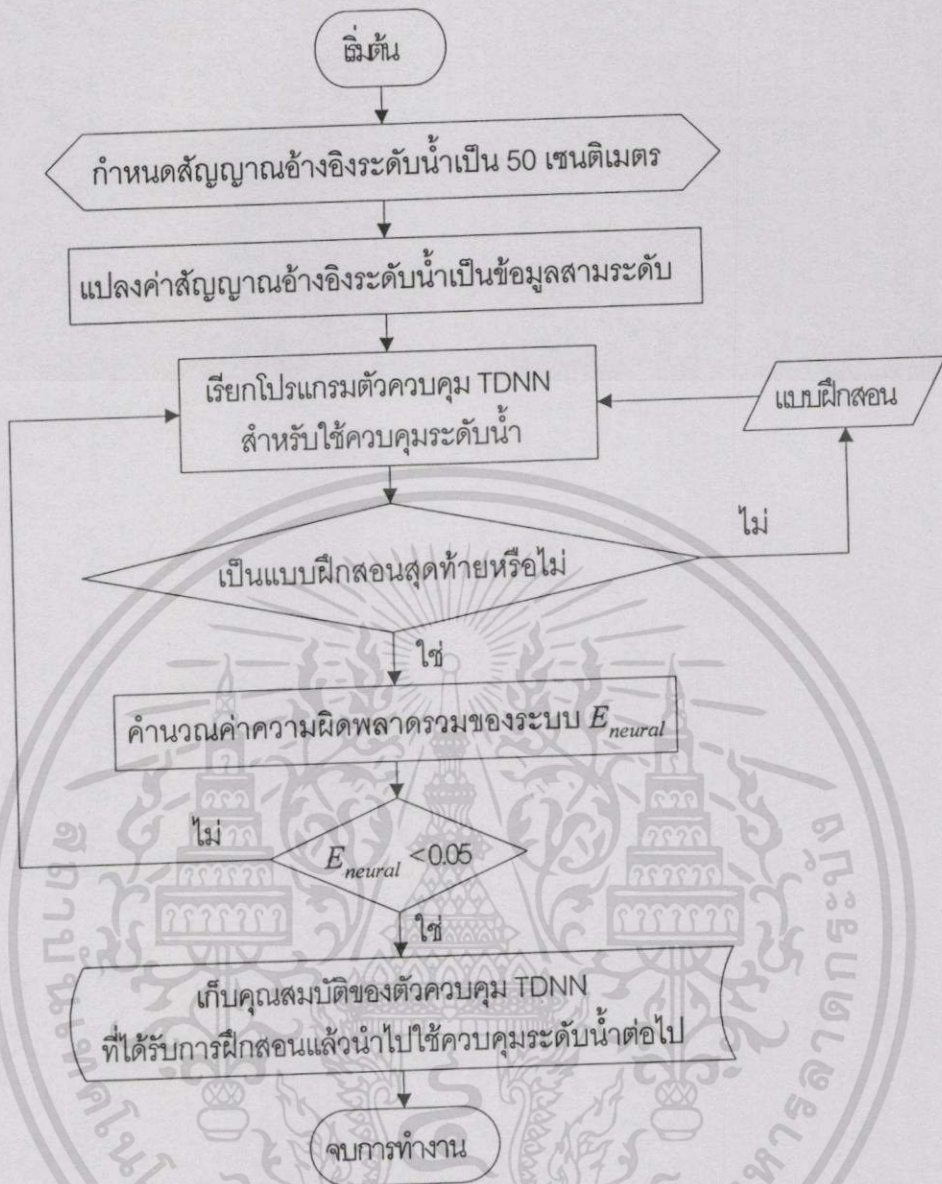
## แผนภาพการทำงานของโปรแกรมตัวควบคุม TDNN

ตัวควบคุม TDNN ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้เขียนออกมาเป็นโปรแกรมภาษาซีบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ โดยประกอบด้วยโปรแกรมหลักดังแสดงในรูปที่ ข.1 ก่อนที่จะนำตัวควบคุม TDNN ไปใช้งานต้องฝึกสอนก่อน ตามแผนภาพการทำงานดังแสดงในรูปที่ ข.2



รูปที่ ข.1 แผนภาพการทำงานของตัวควบคุม TDNN เมื่อนำไปควบคุมระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



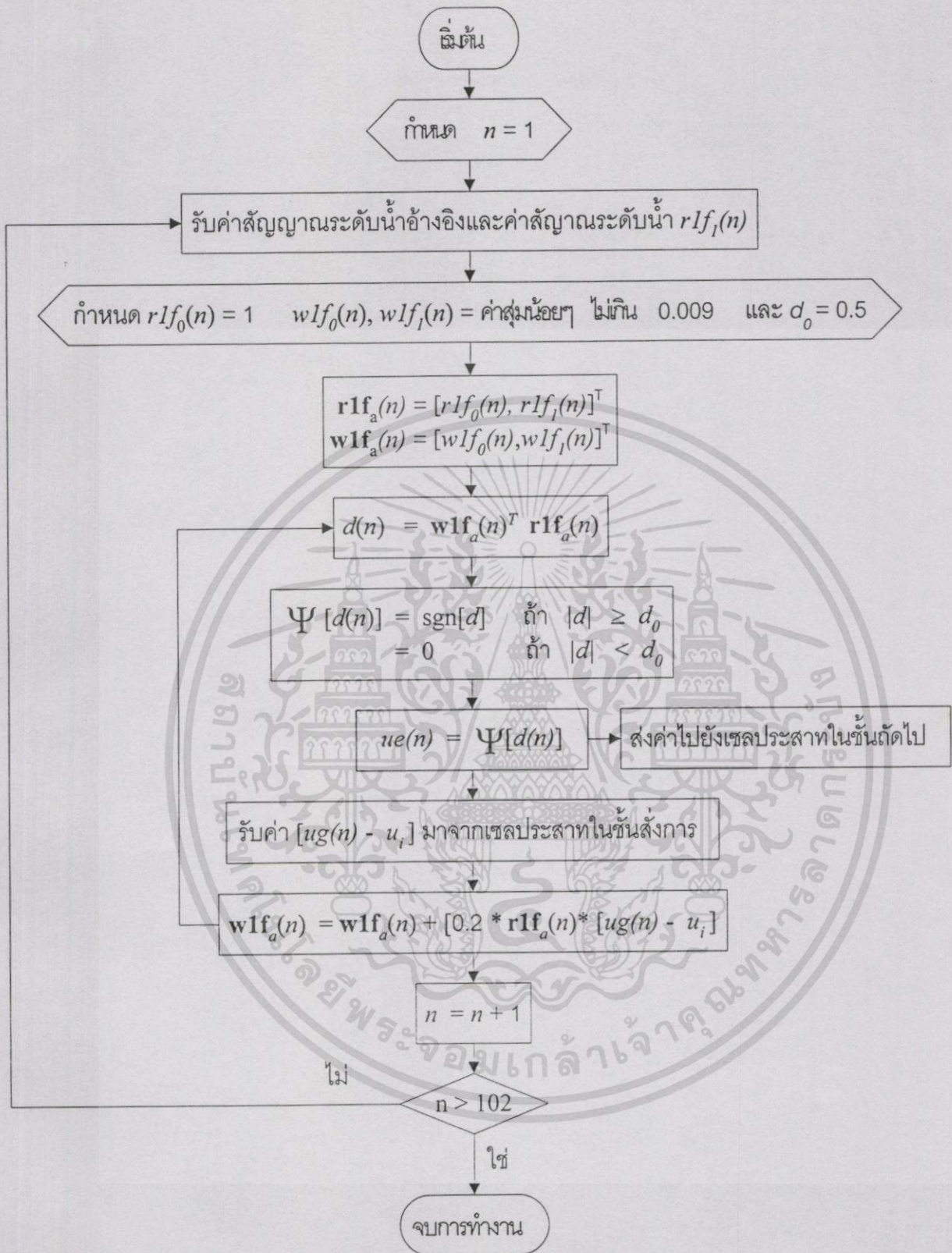
รูปที่ ข.2 แผนภาพการทำงานของตัวควบคุม TDNN สำหรับใช้ควบคุมระดับน้ำขณะฝึกสอน

โปรแกรมตัวควบคุม TDNN สำหรับใช้ควบคุมระดับน้ำ ตามที่เรียกใช้ในแผนภาพการทำงาน  
รูปที่ ข.1 และรูปที่ ข.2 แสดงได้ดังรูปที่ ข.3



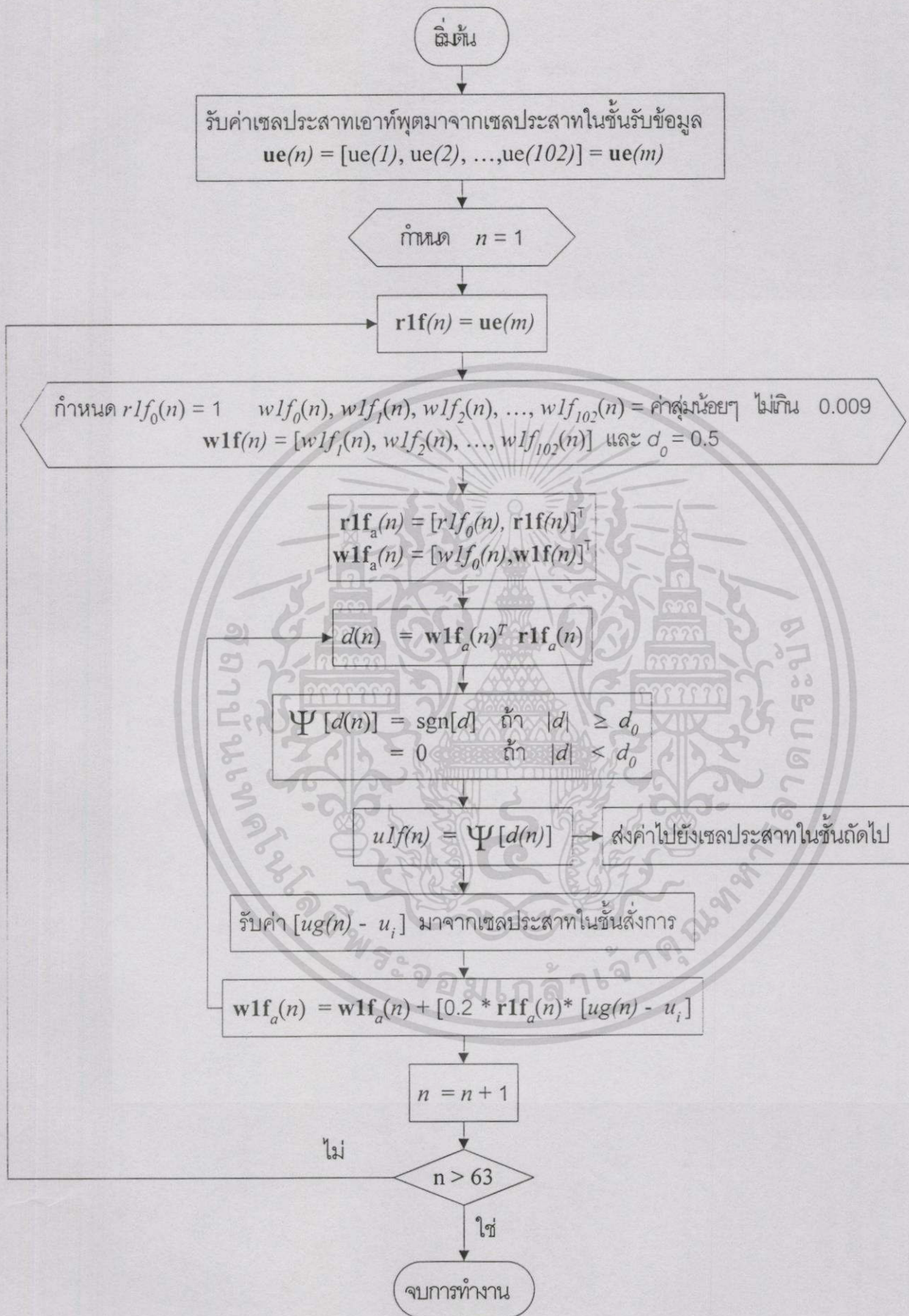
รูปที่ ข.3 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมตัวควบคุม TDNN สำหรับใช้ควบคุมระดับน้ำ

โปรแกรมตัวควบคุม TDNN สำหรับใช้ควบคุมระดับน้ำ จะทำงานโดยการเรียกโปรแกรมย่อย 4 โปรแกรมคือ โปรแกรมเซลล์ประสาทแบบข้อมูลสามระดับในชั้นรับข้อมูล โปรแกรมเซลล์ประสาทแบบข้อมูลสามระดับในชั้นดำเนินการขั้นแรก โปรแกรมเซลล์ประสาทแบบข้อมูลสามระดับในชั้นดำเนินการขั้นที่สอง และโปรแกรมเซลล์ประสาทแบบข้อมูลสามระดับในชั้นสั่งการ ดังแสดงในรูปที่ ข.4 รูปที่ ข.5 รูปที่ ข.6 และรูปที่ ข.7 ตามลำดับ

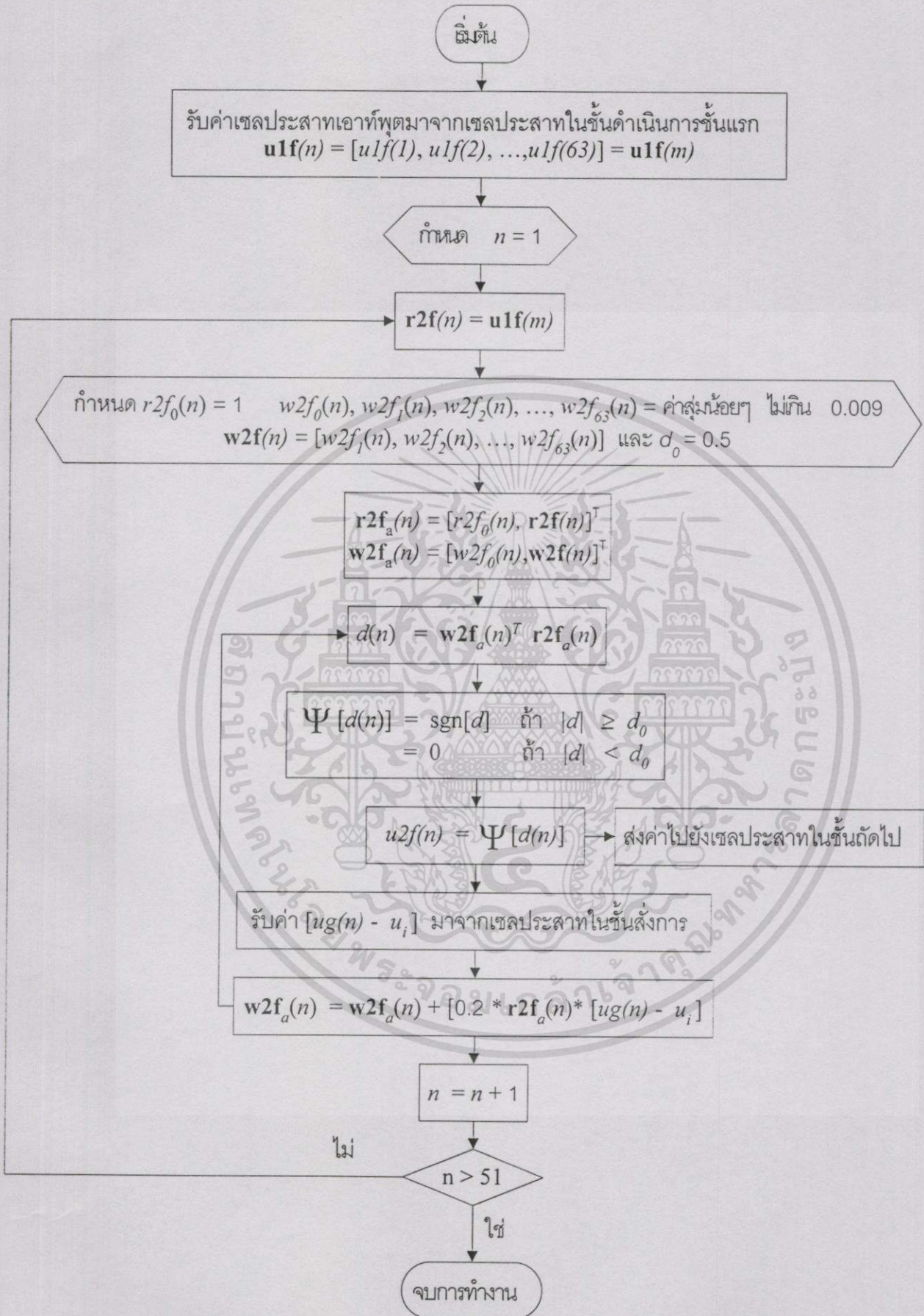


รูปที่ ข.4 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมเซลล์ประสาทแบบข้อมูลสามระดับในชั้นรับข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

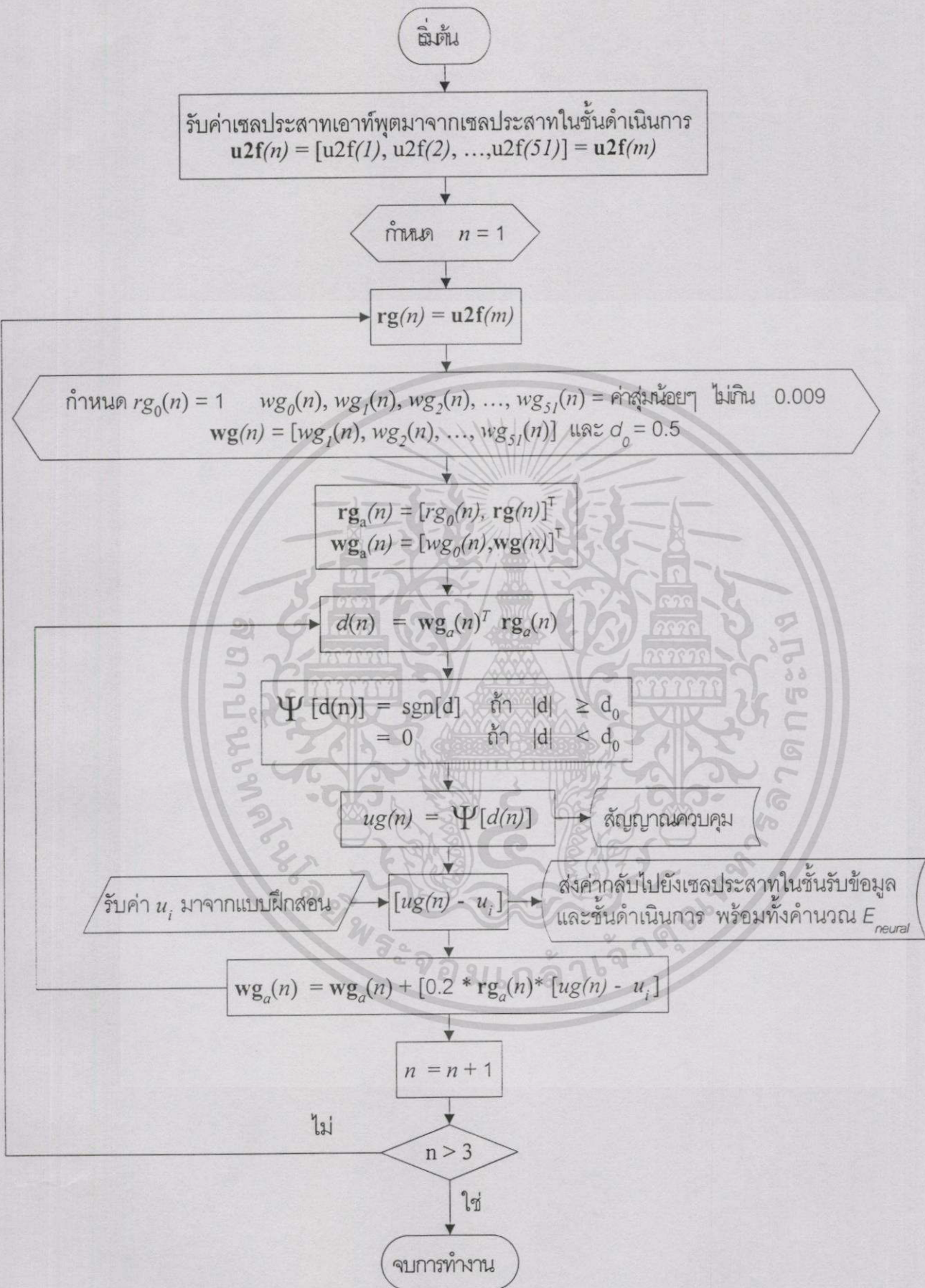


รูปที่ ข.5 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมเซลล์ประสาทแบบข้อมูลสามระดับในชั้นดำเนินการขั้นแรก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๖.๖ แผนภาพการทำงานของโปรแกรมเซลล์ประสาทแบบข้อมูลสามระดับในชั้นดำเนินการขั้นที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้



รูปที่ ๗.7 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมเซตประสาทแบบข้อมูลสามระดับในชั้นสั่งการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

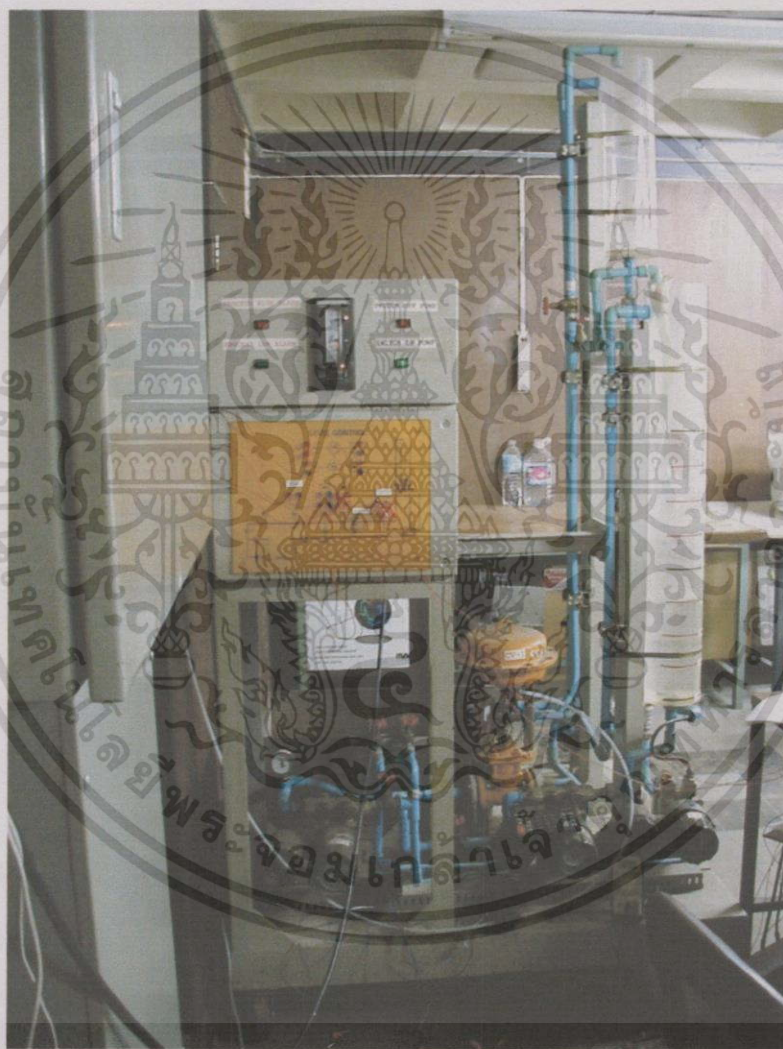


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค.

## โครงสร้างของถังกระบวนการ

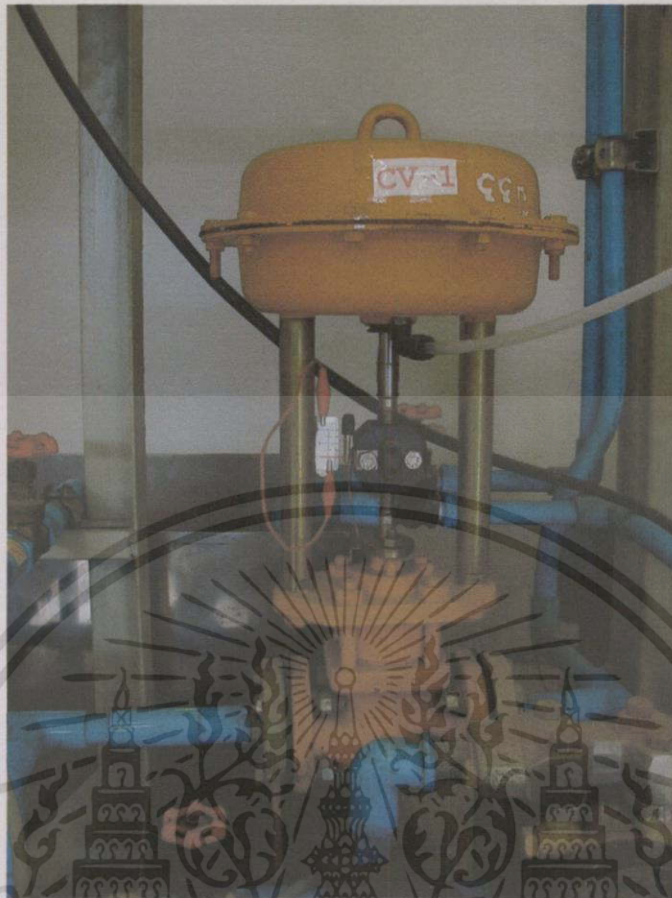
ถังกระบวนการที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ ค.1 วิธีการทำงานของถังกระบวนการมีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ ค.1 ถังกระบวนการที่ใช้ในการทดลอง

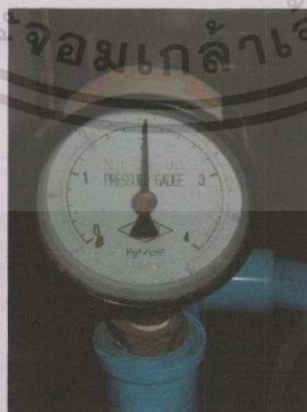
1. เริ่มจากเครื่องสูบน้ำจะสูบน้ำจากถังสามชั้นไปตามท่อผ่านวาล์ว V-1 ไปยังวาล์วควบคุม CV-1 ซึ่งแสดงดังรูปที่ ค.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.2 วาล์วควบคุมหรือ Control Valve (CV-1)

2. ในถังกระบวนการจะมีวาล์ว V-2 ทำหน้าที่เป็นวาล์วลัดต่อตรงไปยังถังสามเพื่อให้ น้ำไหลย้อนกลับมาเมื่อวาล์วควบคุมปิด โดยในการทดลองจะเปิดวาล์ว V-2 ให้แรงดันด้านหน้าของ วาล์วควบคุม CV-1 ขณะที่ปิดวาล์วมีค่าเท่ากับ 2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แสดงดังรูปที่ ค.3



รูปที่ ค.3 แสดงการเปิดวาล์ว V-2 ให้แรงดันด้านหน้าของวาล์วควบคุม CV-1 ขณะที่ปิด มีค่าเท่ากับ 2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เนื่องจากในที่นี้ต้องการใช้ถังระบบวนการเพียงถังเดียวนั้นคือถังสอง จึงเปิดวาล์ว V-3 และปิดวาล์วV-4 กับ V-5 เพื่อให้น้ำไหลมาจากวาล์วควบคุม CV-1 ผ่านวาล์วV-3 เข้าไปในถังสอง และน้ำที่อยู่ในถังสองจะไหลผ่านวาล์วV-6 ซึ่งเปิดตลอดเวลากลับไปยังถังสาม ในการควบคุมจะใช้ Level Transmitter (LT) ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจวัดระดับน้ำซึ่งแสดงดังรูปที่ ค.4



รูปที่ ค.4 Level Transmitter (LT)

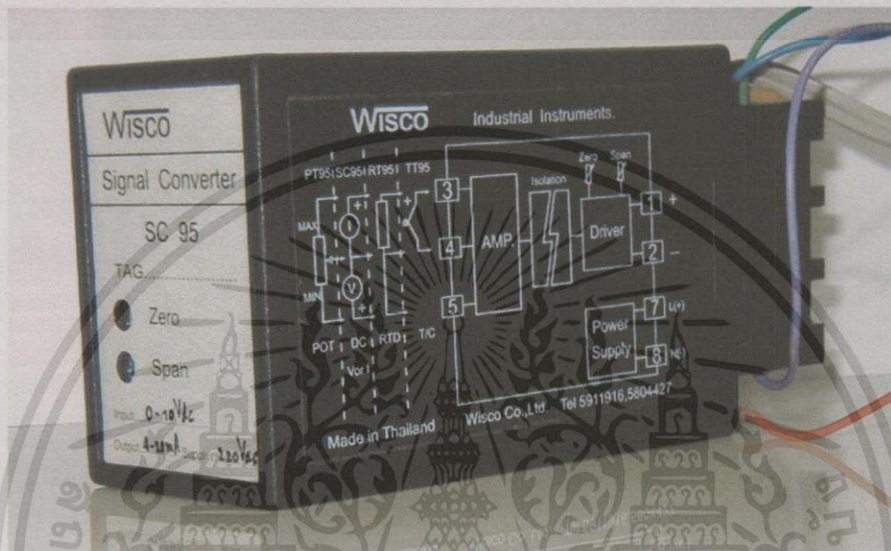
4. ตักดาไฟฟ้าจาก Level Transmitter(LT) จะป้อนเข้าสู่การ์ด DS1102 ซึ่งแสดงดังรูปที่ ค.5 โดยทำหน้าที่เป็น ADC ขนาด 16 บิต เพื่อนำสัญญาณป้อนเข้าสู่คอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม



รูปที่ ค.5 การ์ดDS1102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สัญญาณควบคุมจากคอมพิวเตอร์ที่ส่งผ่านมาทางการ์ด DS1102 จะป้อนต่อไปยังตัวแปลงสัญญาณไฟฟ้า Signal converter SC 95 ซึ่งแสดงดังรูปที่ ค.6 โดยทำหน้าที่แปลงคิกตาไฟฟ้าขนาด 1-10 V เป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 mA จากนั้นนำกระแสไฟฟ้าที่ได้ป้อนต่อไปยังตัวแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นความดัน (I/P) ซึ่งแสดงดังรูปที่ ค.7 เพื่อควบคุมวาล์ว CV-1 ให้เปิดน้ำที่ถูกสูบขึ้นมาไหลผ่านเข้าไปในถังกระบวนการถังสอง

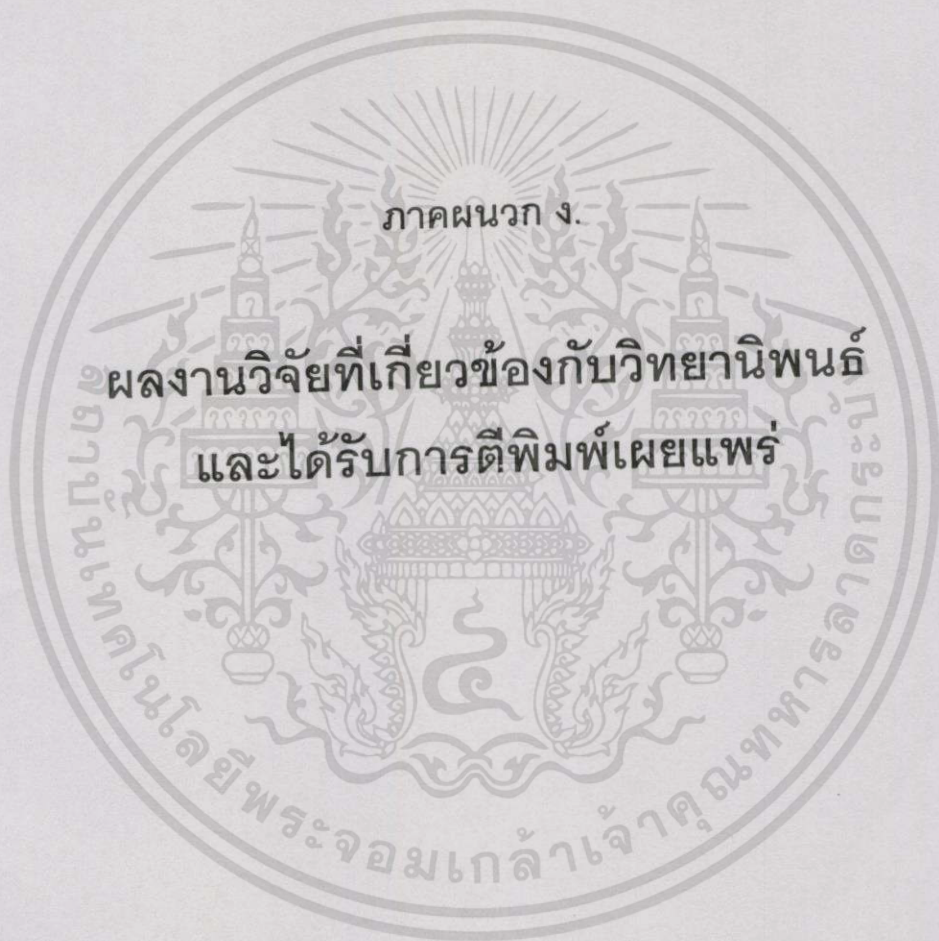


รูปที่ ค.6 Signal converter SC 95



รูปที่ ค.7 แสดงตัวแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นความดัน (I/P)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

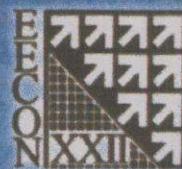


**การประชุมวิชาการ**

**ทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 22**

**22<sup>nd</sup> Electrical Engineering Conference**

**(EECON-22)**



วันที่ 2-3 ธันวาคม 2542

ณ อาคารอดบั่นต้นแก้วและพฒนาเทคโนโลยีการผลิตทองอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**ดำเนินการจัดประชุมโดย**

**ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**

# การประยุกต์ใช้ข้อมูลสามระดับกับวงจรโครงข่ายประสาท

## Application of Three-level Data in Feedforward Neural Networks

สาขากลาง บุญญบูรณ์ จงกล งานวิทย์  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์และสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร. (02) 3269989 E-mail:knjongko@kmitl.ac.th

### บทคัดย่อ

ในบทความนี้ได้นำข้อมูลสามระดับ (-1 0 1) ไปใช้กับวงจรโครงข่ายประสาท ด้วยการป้อนไปข้างหน้า อาศัยการฝึกสอนและการเรียนรู้แบบแพร่กลับ อันเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ฝึกสอนให้วงจรโครงข่ายประสาทควบคุมการเคลื่อนที่ของรถจำลองที่ได้ออกแบบขึ้นได้ โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณหาสัญญาณควบคุมซึ่งได้จากการเรียนรู้ และส่งไปยังชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของรถให้ไปตามเส้นทางตัวอย่าง 4 เส้นทางที่จำลองขึ้นในคอมพิวเตอร์ ซึ่งเส้นทางทั้งสี่นี้เมื่อนำไปประกอบกันก็จะทำให้รถเคลื่อนที่ไปยังจุดหมายที่ต้องการได้ จากผลการจำลองพบว่าเวลาวิ่งเฉลี่ยของทั้งสี่เส้นทางน้อยกว่าการใช้ข้อมูลสองระดับ (0 1) แต่มีเวลาในการเรียนรู้ยาวนานกว่า

### Abstract

This paper proposes a three-level data (-1 0 1) in a neural network using feedforward, supervised learning and the backpropagation. This three-level data is an alternate algorithm used as an weighting function in a neural network which is taught to control a model car designed for this paper. The computer calculates the control signal and sends it to the movement-control unit of the model car that runs in four typical running lines. By the composition of these four typical running lines, this model car can run to the designed destination. The simulation results show that the average time for running in all typical running lines is less than a neural network using two level-data (0 1), although learning time of three-level data is longer than that time of two level data.

### 1. บทนำ

วงจรโครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural networks) หรือวงจรโครงข่ายประสาท (neural networks) เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรช่วยให้เครื่องจักรสามารถตัดสินใจและควบคุมตัวเองได้ในระดับหนึ่งภายใต้ขอบเขตที่มีการกำหนดไว้ล่วงหน้า ตัวอย่างเช่น นำไปใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของรถคังในบทความของ Nguyen และ Widrow [1] เป็นต้น ต่อมาได้มีการนำฟัซซี่ (fuzzy) มาประยุกต์ใช้ดังบทความของ Kosko [2] หลังจากนั้น Kuntanapreeda, Gunderson และ Fullmer [3] ได้ใช้วิธีโมเดลอ้างอิง (model reference) มาควบคุม และ Jenkins และ Yuhas [4] ได้

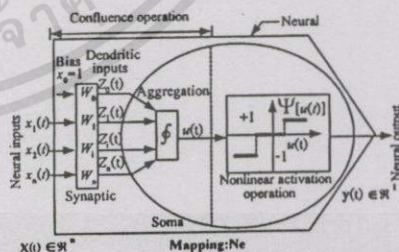
กลับมาใช้วงจรโครงข่ายประสาทอีกครั้ง สำหรับงานวิจัยที่ [1] [3] และ [4] ใช้ข้อมูลสองระดับคือ 0 กับ 1 เท่านั้น

บทความนี้ได้นำเสนอและศึกษาการใช้ข้อมูลสามระดับคือ -1 0 และ 1 พร้อมทั้งแสดงวิธีการนำไปใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ โดยวิธีการแพร่ไปข้างหน้า (feedforward) อาศัยการฝึกสอน (supervised learning) และใช้การเรียนรู้แบบแพร่กลับ (backpropagation) [5] ร่วมด้วย จากผลการจำลองควบคุมรถให้เคลื่อนที่ไปในเส้นทางตัวอย่าง 4 เส้นทางพบว่าสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของรถที่ออกแบบขึ้นมาได้ โดยใช้ระยะเวลาเคลื่อนที่ในแต่ละเส้นทางน้อยกว่าการใช้ข้อมูลสองระดับ ทั้งนี้แม้ว่าจะใช้เวลาในการเรียนรู้ยาวนานกว่า แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานจริง เพราะกระบวนการนี้กระทำก่อนนำไปควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ

### 2. ทฤษฎี

วงจรโครงข่ายประสาทเป็นวิธีการทำงานที่จำลองมาจากการทำงานของสมองมนุษย์ [6] แต่ในที่นี้ได้ให้นิยามเป็นส่วนประกอบของหน่วยประมวลผลหลายๆส่วนเชื่อมโยงกันในแบบขนานเพื่อแปลงข้อมูลจากแบบหนึ่งไปเป็นอีกแบบหนึ่ง [7] เซลประสาทหรือหน่วยประมวลผลข้อมูล (processing element) แต่ละตัวจะต่อกับเวกเตอร์เซลล์ประสาทอินพุต  $X(t)$  ขนาด  $n$  มิติ เมื่อ  $n$  เป็นจำนวนนับ

$$X(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t), \dots, x_n(t)]^T \in \mathcal{R}^n \tag{1}$$



รูปที่ 1 โครงสร้างการคำนวณของเซลล์ประสาทในการแมปปิงไม่เป็นเชิงเส้น

วิธีประมวลผลของเซลล์ประสาทด้วยการแมปปิงไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear mapping operation)  $Ne$  จากเวกเตอร์อินพุต  $X(t)$  มายังสเกลาร์เอาท์พุต  $y(t)$  ดังรูปที่ 1 นั้น แสดงได้ด้วยสมการ (2)

$$y(t) = Ne [ X(t) \in \mathcal{R}^n ] \in \mathcal{R}^1 \tag{2}$$

CT013

การประยุกต์ใช้ข้อมูลสามระดับกับวงจรโครงข่ายประสาท

โดยที่

$$Ne: X(t) \in \mathcal{R}^n \rightarrow y(t) \in \mathcal{R}^1 \quad (3)$$

การแมปฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น Ne แบ่งเป็นสองส่วนคือ การรวบรวม (confluence operation) และการดัดง้างไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear activation operation)

การรวบรวม ประกอบด้วยการถ่วงน้ำหนัก (weighting) การรวม (aggregating) และการตั้งค่าเริ่มต้น (thresholding) จากรูปที่ 2  $X(t) \in \mathcal{R}^n$  แทนเวกเตอร์เซลล์ประสาทอินพุต  $W(t) \in \mathcal{R}^n$  แทนเวกเตอร์น้ำหนักไซแนปส์ (synaptic weight) และ  $Z(t) \in \mathcal{R}^n$  แทนเวกเตอร์อินพุตเดนไดรต์ (dendrite) ซึ่งในที่นี้ค่าทั้งสามจะรวมค่าไบอัสไว้จึงเป็น  $X_s(t) \in \mathcal{R}^{n+1}$   $W_s(t) \in \mathcal{R}^{n+1}$  และ  $Z_s(t) \in \mathcal{R}^{n+1}$  ตามลำดับ นั่นคือจะได้เวกเตอร์เซลล์ประสาทอินพุตและน้ำหนักไซแนปส์ เป็นดังนี้

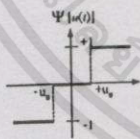
$$X_s(t) = [x_0(t), x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T \in \mathcal{R}^{n+1} \quad (4a)$$

$$W_s(t) = [w_0(t), w_1(t), w_2(t), \dots, w_n(t)]^T \in \mathcal{R}^{n+1} \quad (4b)$$

โดยที่  $x_0(t) = 1$  และ  $w_0(t)$  เป็นค่าไบอัส เริ่มต้นน้อยๆ ในการรวบรวม การดัดง้างให้ไม่เป็นเชิงเส้น  $\Psi[u(t)]$  ขึ้นอยู่กับลักษณะการวัดหรือการนำไปใช้งาน สมการพื้นฐานการคำนวณคือสมการ (4a) และ (4b) ในบทความนี้เลือกใช้สมการถ่วงให้ไม่เป็นเชิงเส้นสามระดับคือ -1 0 และ 1 ซึ่งแสดงได้ดังสมการ (5)

$$\Psi[u(t)] = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } |u| \geq u_0 \\ 0 & \text{ถ้า } |u| < u_0 \end{cases} \quad (5)$$

และแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 สมการถ่วงให้ไม่เป็นเชิงเส้นสามระดับ  $\Psi[u(t)]$

ความสัมพันธ์ระหว่างปริภูมิประสาทอินพุต  $X_s(t) \in \mathcal{R}^{n+1}$  กับปริภูมิ  $u(t) \in \mathcal{R}^1$  เป็นดังนี้

$$u(t) = W_s(t)^T X_s(t) = \sum_{i=0}^n w_i x_i \quad (6)$$

การเรียนรู้ของวงจรโครงข่ายประสาทใช้วิธีพิจารณาความผิดพลาด (error-based learning algorithm) หรือฝึกสอน (supervise) ซึ่งสมการทั่วไปของแนวทางการเรียนรู้ความผิดพลาดคือ

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \Delta w_i(t) \quad (7a)$$

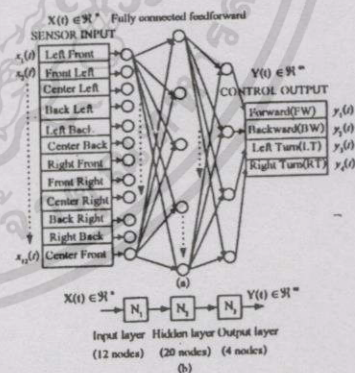
เมื่อ

$$\Delta w_i(t) = \mu x_i(t) [y_d(t) - y(t)] \quad (7b)$$

โดยที่  $w_i(t)$  คือ น้ำหนักไซแนปส์ที่สอดคล้องกับอินพุต  $x_i(t)$   $\Delta w_i(t)$  คือการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักไซแนปส์ช่วงเวลาใดๆ  $\mu$  คืออัตราการเรียนรู้  $y_d(t)$  คือเอาต์พุตเซลล์ประสาทที่ต้องการ และ  $y(t)$  คือเอาต์พุตเซลล์ประสาทที่ได้จากการคำนวณตามสมการ (9)

น้ำหนักไซแนปส์ในตอนเริ่มต้นจะสุ่มเลือกให้มีค่าน้อยๆ โดยไม่เกิน 0.009 และใช้จุดน้ำหนักไซแนปส์  $W_s(t)$  ที่ทำให้ค่าความผิดพลาดรวมของระบบเท่ากับ 0.05 ซึ่งเป็นค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ การเลือกอัตราการเรียนรู้  $\mu$  ถ้าเลือกให้มีค่าน้อยการเรียนรู้ทำได้ช้า แต่ถ้าให้มีค่ามาก การเรียนรู้จะเร็วแต่ระบบอาจเกิดการแกว่งหรือไม่เสถียรได้ ซึ่งในที่นี้เลือก  $\mu$  ให้เท่ากับ 0.2[8]

บทความนี้ใช้การเรียนรู้แบบแพร่กลับโดยวงจรโครงข่ายประสาทแบบหลายชั้นที่ประกอบด้วย ชั้นอินพุต (input layer) มีเซลล์ประสาท (neural) 12 โหนด (node) ตามจำนวนเซนเซอร์บรรด (n=12) ในชั้นซ่อนได้ปรับจำนวนเซลล์ประสาทจาก 10, 20, ..., 90 พบว่าที่ 20 โหนดใช้เวลาในการเรียนรู้ที่น้อยที่สุด เมื่อกำหนดค่าความผิดพลาดรวมของระบบ (E) ที่ต้องการเป็น 0.05 และชั้นเอาต์พุตประกอบด้วยเซลล์ประสาท 4 โหนดตามจำนวนชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ (m=4) ซึ่งเอาต์พุตของเซลล์ประสาททุกเซลล์ยกเว้นในชั้นเอาต์พุต จะต่อกับทุกๆ เซลล์ในชั้นถัดไป (fully connected feedforward) เมื่อกำหนดให้วงกลมแทนเซลล์ประสาท (neural) เส้นลูกศรชี้เข้าหาเซลล์ประสาทแทนเส้นประสาทเข้า (neural inputs) เส้นลูกศรชี้ออกจากเซลล์ประสาทแทนเส้นประสาทออก (neural output) ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3(a) และเมื่อเขียนแทนด้วยบล็อกโคอะแกรมจะได้ดังรูปที่ 3(b)



รูปที่ 3 (a) วงจรโครงข่ายประสาทแบบสามชั้น (b) บล็อกโคอะแกรมของวงจรโครงข่ายประสาทแบบสามชั้น

ความสัมพันธ์ระหว่างเวกเตอร์อินพุตและเวกเตอร์เอาต์พุตเป็นดังนี้

$$Y(t) = N_3[N_2[N_1[X(t) \in \mathcal{R}^n]]] \in \mathcal{R}^m \quad (8)$$

เมื่อแปลงสมการ(8)ให้อยู่ในรูปเครื่องหมากรวม  $\odot$  และสมการถ่วงให้ไม่เป็นเชิงเส้นสามระดับ  $\Psi[u(t)]$  จะได้  $Y(t)$  เป็น

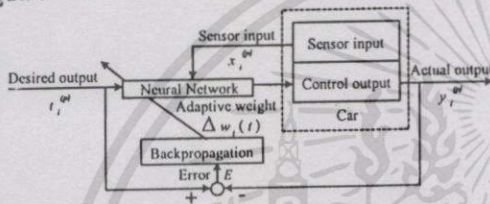
$$Y(t) = \Psi^3[W_3^T(t) \odot \Psi^2[W_2^T(t) \odot \Psi^1[W_1^T(t) \odot X_s(t)]] \quad (9)$$

การประยุกต์ใช้ข้อมูลสามระดับกับวงจรโครงข่ายประสาท

เซลล์ประสาทแต่ละตัวจะปรับน้ำหนักตามสมการ (7) จนค่าความผิดพลาดรวม ( $E$ ) ของระบบเท่ากับ 0.05 โดยใช้ค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสอง (least - mean square) ระหว่างเอาท์พุทที่ต้องการกับเอาท์พุทที่ได้จากการคำนวณ

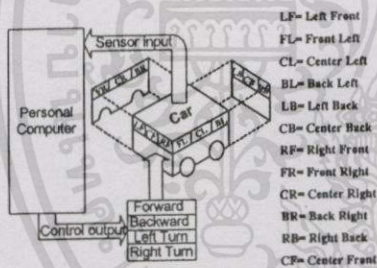
$$E = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^N [t_i^{(p)} - y_i^{(p)}]^2 \quad (10)$$

เมื่อ  $p = 1, 2, \dots, P$  และ  $i = 1, 2, \dots, N$  โดยที่  $P$  คือจำนวนแบบฝึกสอน  $N$  คือมิติของปริภูมิเอาท์พุท  $t_i^{(p)}$  คือเอาท์พุทที่ต้องการของแต่ละแบบฝึกสอนและ  $y_i^{(p)}$  คือเอาท์พุทที่ได้จากการคำนวณของแต่ละแบบฝึกสอน ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 วิธีปรับน้ำหนักและโครงสร้างการทำงานโดยรวม

3. การประยุกต์ใช้งาน



รูปที่ 5 ตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์บนรถ

การประยุกต์ใช้งานจะนำไปควบคุมการเคลื่อนที่ของรถจำลองที่ได้ ออกแบบขึ้น โดยให้ความกว้างของตัวรถเท่ากับความยาว ความกว้างของเส้นทางมากกว่าความยาวของตัวรถโดยเท่ากันตลอดทั้งเส้นทาง บนตัวรถติดตั้งเซนเซอร์ (sensor) เพื่อวัดระยะห่างจากขอบเส้นทางซึ่งเป็นแนวขอบสูงเสมอหรือมากกว่าตัวรถ เซนเซอร์แต่ละจุดประกอบด้วยเซนเซอร์สามชุดคือ ชุดวัดระยะไกล ชุดวัดระยะปานกลาง ชุดวัดระยะใกล้ โดยวัดจากความแรงของสัญญาณที่สะท้อนกลับหรือใช้สวิตช์สัมผัส ดังรูปที่ 5 สัญญาณจากเซนเซอร์จะนำไปป้อนที่ชั้นอินพุตของวงจรโครงข่ายประสาท เอาท์พุทของวงจรโครงข่ายประสาท (control output) ต่อกับชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ

3.1 การประยุกต์ใช้งานข้อมูลสามระดับ

ข้อมูลสามระดับที่ได้จากเซนเซอร์มีความหมายดังนี้ 1 คือขอบทาง

อยู่ไกลหรือมากกว่าหนึ่งเท่าครึ่งของความกว้างตัวรถ 0 คือขอบทางอยู่ใกล้หรือชนขอบทางนั้นคือตั้งแต่ครึ่งเท่าของความกว้างตัวรถลงมา -1 คือขอบทางอยู่ระยะปานกลางหรือตั้งแต่ครึ่งเท่าถึงหนึ่งเท่าครึ่งของความกว้างตัวรถ และมีคำสั่งควบคุมรถ (control output) 4 คำสั่งคือ เดินหน้า (FW) ถอยหลัง (BW) เลี้ยวซ้าย (LT) และเลี้ยวขวา (RT) ซึ่งอาจใช้หลายคำสั่งร่วมกัน โดยที่แต่ละชุดคำสั่งมีสามระดับ เช่น คำสั่งเดินหน้ามี เดินหน้าเร็ว (FW=1) เดินหน้าช้า (FW= -1) และพักรถ (FW=0) เช่นเดียวกับกับคำสั่งอื่นๆ ตัวอย่างแบบฝึกสอนที่ออกแบบขึ้น 5 แบบจากที่มีทั้งหมด 3<sup>12</sup> แบบ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างแบบฝึกสอนของวงจรโครงข่ายประสาทที่ใช้ข้อมูลสามระดับ

SENSOR INPUT												CONTROL OUTPUT			
LF	CF	RF	LB	CB	RB	FL	CL	BL	FR	CR	BR	FW	BR	RT	LT
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1
-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1

3.2 การประยุกต์ใช้ข้อมูลสองระดับ

ข้อมูลสองระดับจะใช้เซนเซอร์เพียงสองชุดคือ ชุดวัดระยะไกลและชุดวัดระยะใกล้ โดยให้สัญญาณเป็น 0 และ 1 ซึ่งมีความหมายดังนี้ 1 คืออยู่ห่างขอบทางหรือตั้งแต่ครึ่งเท่าของความกว้างตัวรถขึ้นไป 0 คือขอบทางอยู่ใกล้หรือชนขอบทางหรืออยู่ห่างน้อยกว่าครึ่งเท่าของความกว้างตัวรถลงมา การเคลื่อนที่มีสองลักษณะคือ เคลื่อนที่ (control output = 1) และหยุดหรือพักรถ (control output = 0) เช่น คำสั่งเดินหน้าประกอบด้วย เดินหน้า(FW=1) และพักรถ(FW=0) ส่วนคำสั่งอื่นๆเป็นในทำนองเดียวกัน ตัวอย่างแบบฝึกสอนที่ออกแบบขึ้น 5 แบบจากที่มีทั้งหมด 2<sup>12</sup> แบบ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างแบบฝึกสอนของวงจรโครงข่ายประสาทที่ใช้ข้อมูลสองระดับ

SENSOR INPUT												CONTROL OUTPUT			
LF	CF	RF	LB	CB	RB	FL	CL	BL	FR	CR	BR	FW	BR	RT	LT
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0

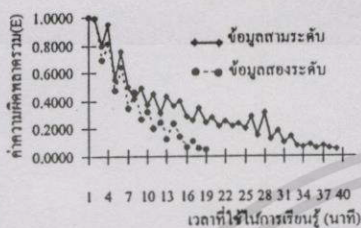
4. ผลการจำลอง

โดยทั่วไปนั้น มักแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ใช้ในการเรียนรู้กับค่าความผิดพลาด แต่เพื่อความชัดเจนในที่นี้จะแสดงเป็นเวลาในการเรียนรู้แทนและพบว่าการใช้ข้อมูลสามระดับควบคุมการเคลื่อนที่ของรถใช้เวลามากกว่าการใช้ข้อมูลสองระดับประมาณเท่าตัว

CT013

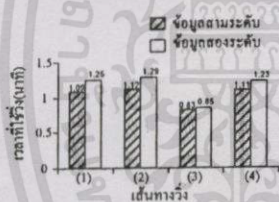
การประยุกต์ใช้ข้อมูลสามารถกับวงจรโครงข่ายประสาท

แสดงในรูปที่ 6 ซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานจริง เพราะกระบวนการนี้กระทำก่อนนำไปควบคุมจึงสามารถเพิ่มความซับซ้อนหรือจำนวนแบบฝึกสอนได้ อันจะส่งผลให้สมรรถนะการเคลื่อนที่ของรถดีขึ้น แต่ถ้การเพิ่มเติมไม่เหมาะสมวงจรโครงข่ายประสาทอาจไม่สามารถเรียนรู้ได้



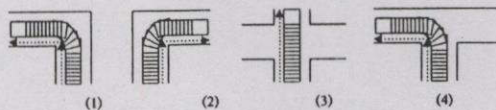
รูปที่ 6 เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้กับค่าความผิดพลาดรวม(E)

ความแตกต่างของเวลาที่ใช้วิ่งในแต่ละเส้นทางของแต่ละแบบกรใช้ข้อมูลเนื่องมาจาก ในการเคลื่อนไปข้างหน้าของการใช้ข้อมูลสามระดับ ความเร็วจะสูงและชะลอลงเมื่อเลี้ยวซึ่งเป็นไปตามความเร็วของรถที่สามารถมีได้สามค่า ส่วนกรใช้ข้อมูลสองระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ที่จะคงที่ทั้งขณะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและขณะเลี้ยวซึ่งความเร็วนี้ถ้าตั้งไว้มากขณะเลี้ยวรถอาจชนขอบเส้นทางหรือ ไม่สามารถเลี้ยวได้



รูปที่ 7 เวลาที่ใช้วิ่งในแต่ละเส้นทางของการใช้ข้อมูลทั้งสองแบบ

เมื่อนำรถที่ใช้ข้อมูลทั้งสองแบบมาจำลองการวิ่งด้วยโปรแกรมไปตามเส้นทางตัวอย่างทั้งสี่ซึ่งเมื่อนำเส้นทางไปประกอบกันก็จะทำให้รถเคลื่อนที่ไปยังจุดหมายที่ต้องการได้ โดยกำหนดให้รถมีความเร็วเมื่อเทียบกับการวิ่งในระยะทางจริงเป็น 0 เซนติเมตรต่อวินาทีคือพักรอ (FW=0) 3 เซนติเมตรต่อวินาทีคือเดินหน้าช้า (FW= -1) 9 เซนติเมตรต่อวินาทีคือเดินหน้าเร็ว (FW=1) สำหรับข้อมูลสามระดับ และ 0 เซนติเมตรต่อวินาทีคือพักรอ (FW=0) 3.9 เซนติเมตรต่อวินาทีคือเดินหน้า (FW=1) สำหรับข้อมูลสองระดับ เมื่อให้รถที่ใช้ข้อมูลทั้งสองแบบวิ่ง 9 ครั้งในแต่ละเส้นทางตัวอย่างแล้วหาค่าเฉลี่ย ปรากฏว่ารถที่ใช้ข้อมูลสามระดับใช้เวลาวิ่งน้อยกว่ารถที่ใช้ข้อมูลสองระดับตลอดทั้ง 4 เส้นทางดังแสดงในรูปที่ 7 นั่นคือเวลาวิ่งเฉลี่ยตลอดทั้งสี่เส้นทางเป็น 1.247 และ 1.360 นาที สำหรับข้อมูลสามระดับและสองระดับตามลำดับ ผลจำลองการเคลื่อนที่ของรถด้วยโปรแกรมทั้งสี่เส้นทางเมื่อให้รูปสี่เหลี่ยมแทนรถและแสดงซ้ำเป็นระยะหนึ่งๆที่เท่ากัน ได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผลการเคลื่อนที่ของรถใน 4 เส้นทางตัวอย่าง

5. บทสรุป

วงจรโครงข่ายประสาทสามารถประยุกต์ใช้กับข้อมูลสามระดับคือ -1 0 และ 1 ได้ ซึ่งทำให้การเคลื่อนที่ของรถมีประสิทธิภาพมากขึ้น สมการถ่วงให้ไม่เป็นเชิงเส้นสามระดับ  $\Psi[\mu (i)]$  ในสมการ(5) เป็นตัวช่วยให้วงจรโครงข่ายประสาทสามารถคำนวณข้อมูลที่มีสามระดับได้ และขนาดของ  $\mu$  สามารถปรับให้เหมาะสมกับช่วงการใช้งาน โดยทั้งนี้ข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ต้องมีสามระดับสอดคล้องกันด้วย

แนวทางประยุกต์ขั้นต่อไปคือ พัฒนาวงจรโครงข่ายประสาทข้อมูลสามระดับให้ใช้งานได้กว้างขึ้น เช่น เพิ่มจำนวนเส้นทางตัวอย่าง ใช้ควบคุมระดับน้ำในถัง ควบคุมการเคลื่อนที่ของรถคน เป็นต้น

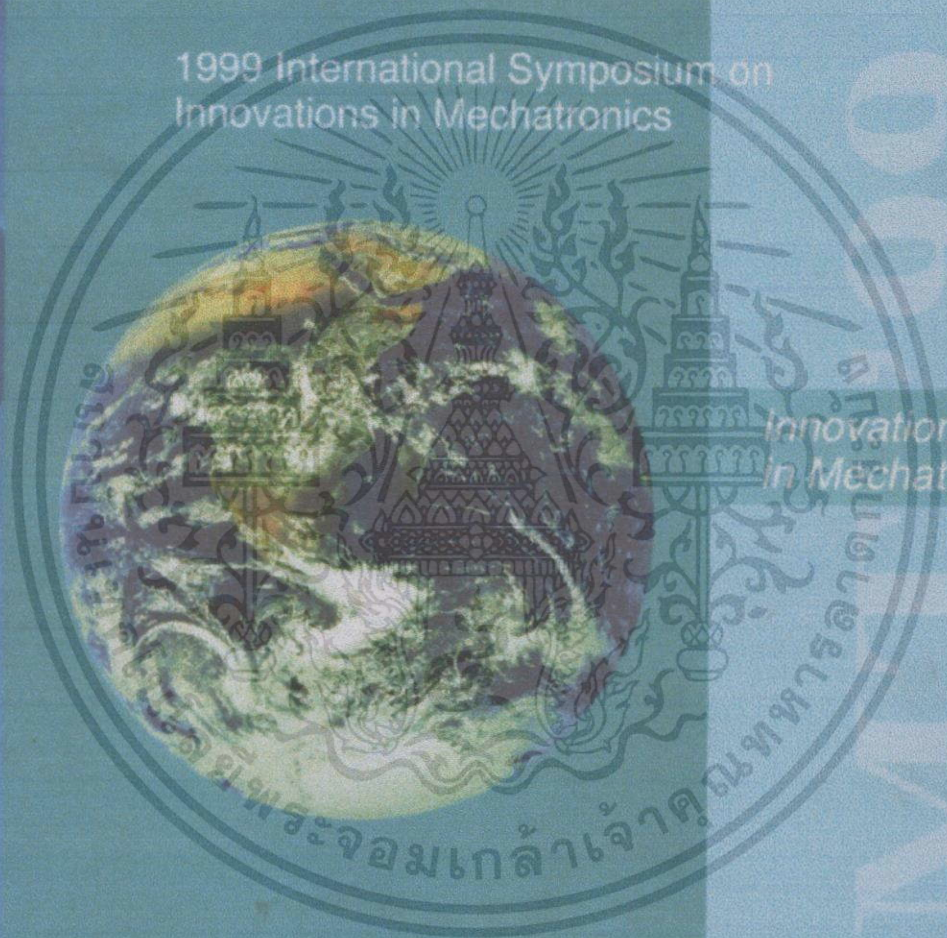
เอกสารอ้างอิง

- [1] Nguyen, D. and B. Widrow, " The truck backer-upper : An example of self-learning in neural networks," Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, Vol. II, pp.357-361, New York : IEEE Press, 1989.
- [2] Kosko,B. " Comparison of fuzzy and neural truck backer-upper control systems," Neural Networks and Fuzzy Systems, pp.339-361, Printice Hall, 1992.
- [3] Kuntanapreeda, S. , R.W. Gundersen and R. R. Fullmer, " Neural network model reference control of nonlinear systems," Proceedings of the IJCNN, Baltimore, 1992.
- [4] Jenkins, R. E. and B. P. Yuhas, " A simplified neural - network solution through problem decomposition : The case of the truck backer - upper," Neural Computation, pp. 647-649, 1992.
- [5] Werbos, P. J. , " Backpropagation through time : What it does and how to do it," Proceedings of the IEEE, vol. 78, no. 10, pp. 1550-1560, Oct. 1990.
- [6] B. Muller, J. Reinhardt and M. T. Strickland, " Neural Networks:An introduction," Germany: Springer,1995.
- [7] M.M. Gupta and D. H. Rao, " Neuro - Control System : A Tutorial," Neuro- Control System: Theory and Applications, New York : IEEE Press,pp.1-43,1994.
- [8] S. Linprachya and K. Paithoonwattanakij, " Using Neural Networks for Pattern Recognition ,"J. Natl. Res. Council, Thailand, 1993.



# Proceedings of the 1999 International Conference on Mechatronic Technology

1999 International Symposium on  
Innovations in Mechatronics



*Innovations  
in Mechatronics*

Oct. 21~23, 1999  
Pusan National Univ., Pusan, Korea

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นานจากนี้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Application of Three-level Data in Neural Networks

S. Bunyaboon

Faculty of Engineering and Research Center for  
Communications and Information Technology  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

J. Ngamwiwit

Faculty of Engineering and Research Center for  
Communications and Information Technology  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

### ABSTRACT

This paper proposes a three-level data (1 0 -1) in neural network using feedforward, supervised learning and backpropagation. This three-level data is an alternate algorithms used as an weighting function in a neural network which is taught to control a model car designed for this paper. The computer calculates the control signal and sends it to the movement control unit of the model car that runs in four typical running lines. This model car can run to the designed destination by the composition of these four typical running lines. The simulation results show that the average time for running in all typical running lines is less than a neural network using the two-level data (0 1), although the learning time of three-level data is longer than that time of two-level data.

### 1. INTRODUCTION

In the field of control system, most of the plants to be controlled are nonlinear. The nonlinear systems are usually analyzed by making linear approximation of their performance. While useful, this method never truly represents a real-world system. In this area of nonlinear control, neural networks show great potential [1]. Recently the applications that show the effectiveness of neural networks have been reported. The application of the truck backer-upper that trained a controller (a feedforward neural network) to back a trailer truck up to a loading dock, starting from an arbitrary position to a desired final position by using multilayer neural networks has been reported [2]. The concepts of neural network model reference control and a simplified neural-network solution through problem decomposition for nonlinear systems have also been applied to control a truck [3], [4], [5]. In general, a two-level data (0 1) is used in the neural network with feedforward, supervised learning and backpropagation for controlling the nonlinear system.

This paper proposes a controller that used the concept of three-level data (1 0 -1) in neural networks with feedforward, supervised learning and backpropagation [6]. The controller is applied to control the designed model car that consists of 12 sensors. The simulation results in controlling a designed model car running in four typical running lines show that, the average time for running in all typical running lines of the proposed method is less than a neural network using two-level data, though the learning time of three-level data is longer than that of two-level

data. Since the learning process is done before the control system is operated, then the movement of the model car will not be affected. By the composition of the 4 typical running lines, the model car can move to the desired destination.

### 2. THEORY

In simple terms, a neuron can be depicted as an information processing element, which receives an  $n$ -dimensional neural input vector.

Neural network is defined as the composition of the processing elements connected in parallel in order to convert one type of information to the another type of the information or mapping [7]. Each of the neurons or the processing elements is connected to neural input vector  $X(t)$

$$X(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_i(t), \dots, x_n(t)]^T \in \mathfrak{R}^n \quad (1)$$

The nonlinear mapping operation  $Ne$  [4] is used to process the neurons from the neural input vector  $X(t)$  to the scalar output  $y(t)$  as

$$y(t) = Ne [X(t) \in \mathfrak{R}^n] \in \mathfrak{R}^1 \quad (2)$$

where

$$Ne: X(t) \in \mathfrak{R}^n \rightarrow y(t) \in \mathfrak{R}^1 \quad (3)$$

The nonlinear mapping operation  $Ne$  can be mathematically divided into confluence operation and nonlinear activation operation [8] as shown in Fig. 1.

The confluence operation is the combination of synaptic weighting, somatic aggregating  $\int$  and somatic thresholding operations. From Fig. 1, when  $X(t)$  is the neural input vector,  $W(t)$  is the synaptic weight vector and  $Z(t)$  is the dendrite input, respectively. The neural input vector and the synaptic weight are obtained as

$$X_n(t) = [x_0(t), x_1(t), x_2(t), \dots, x_i(t), \dots, x_n(t)]^T \in \mathfrak{R}^{n+1} \quad (4a)$$

and

$$W_n(t) = [w_0(t), w_1(t), w_2(t), \dots, w_i(t), \dots, w_n(t)]^T \in \mathfrak{R}^{n+1} \quad (4b)$$

where  $X_d(t)$ ,  $W_d(t)$  and  $Z(t)$  are the neural input vector, synaptic weight vector and dendrite input vector that include the thresholding value, respectively.  $x_0(t) = 1$  and  $w_0(t)$  is thresholding term or bias term.

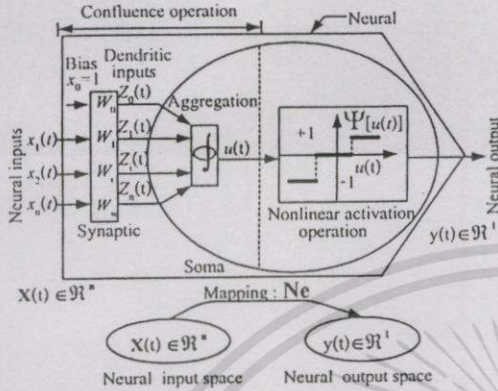


Fig. 1. The neuronal nonlinear mapping operation.

The nonlinear activation operation depends on the measurement method or the application of the works. In general, a two-level data is used. In this paper will activate the operator  $\Psi [u(t)]$  into a three-level data as shown in Fig. 2. Then the operator  $\Psi [u(t)]$  can be expressed as

$$\Psi [u(t)] = \begin{cases} \text{sgn}[u] & \text{if } |u| > u_0 \\ 0 & \text{if } |u| < u_0 \end{cases} \quad (5)$$

Fig. 2. Nonlinear activation operators  $\Psi [u(t)]$ .

where  $u_0$  is an adjustable initial condition. Hence the output  $u(t)$  which is obtained from the neural input vector  $X_d(t)$  and the synaptic weight vector  $W_d(t)$  can be given by

$$u(t) = W_d(t)^T X_d(t) = \sum_{i=0}^n w_i x_i \quad (6)$$

where  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Neural network can learn according to the error-based learning algorithm or the supervised learning by using a general equation of the error-base algorithm defined by

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \Delta w_i(t) \quad (7a)$$

where

$$\Delta w_i(t) = \mu x_i(t) [y_d(t) - y(t)] \quad (7b)$$

and where  $w_i(t)$  is the synaptic weight corresponding to the input  $x_i(t)$ , the parameter  $\Delta w_i(t)$  is the change in synaptic

connection  $w_i(t)$  over an instant in time.  $\mu$  is the learning rate,  $y_d(t)$  is the desired neural output and  $y(t)$  is the actual neural response to be calculated by Eq.(8).

At the initial stage, the synaptic weight is set to be a small value as 0.009 and the synaptic weight vector  $W_d(t)$  is selected to give the total error of the system to be 0.05 [9]. When the learning rate  $\mu$  is small, the learning is slow. The large learning rate will give fast learning but it will cause the system oscillate or unstable. In this paper, the learning rate is set to be 0.2 [8].

In the paper, the learning is backpropagation by multilayer neural network (MNN). The typical MNN composes of input layer, hidden layer and output layer as shown in Fig. 3. The connection of each neuron is fully connected feedforward except the output layer. Thus the relation of the output vector and the input vector can be given by

$$Y(t) = N_3[N_2[N_1[X(t) \in \mathcal{R}^n]]] \in \mathcal{R}^m \\ = \Psi^3[W_a^3(t) \odot \Psi^2[W_a^2(t) \odot \Psi^1[W_a^1(t) \odot X_a(t)]]] \quad (8)$$

where  $\odot$  is the symbolic operation for confluence operation.

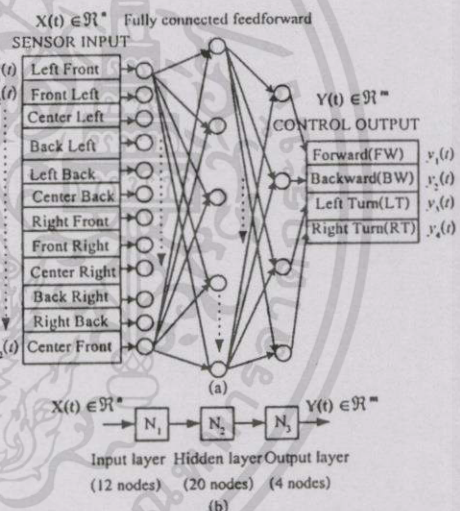


Fig. 3. Neural networks. (a) Typical MNN. (b) Simplified block diagram.

The goal of learning is to minimize the sum-of-squares-error energy function or system error (9)

$$E = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^N [t_i^{(p)} - y_i^{(p)}]^2 \quad (9)$$

where  $p = 1, 2, \dots, P$  and  $i = 1, 2, \dots, N$  and where  $P$  is the number of learning patterns,  $N$  is the dimension of the output space,  $t_i^{(p)}$  is the desired output of each of learning pattern and  $y_i^{(p)}$  is the calculated output obtained from of each of learning pattern. The structure of the control system using the proposed controller for controlling the designed model car is shown in Fig. 4.

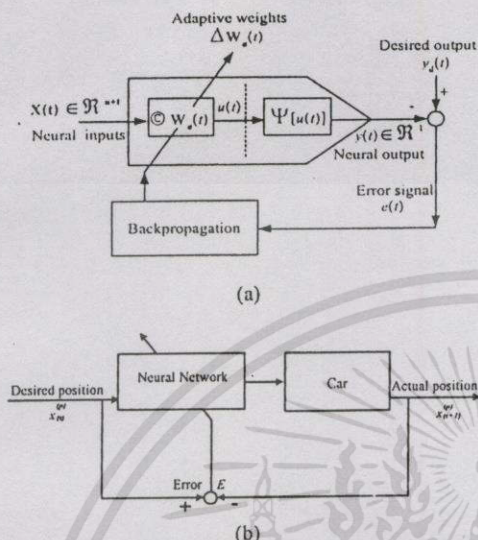


Fig. 4. The structure of the control system. (a) Network training phase. (b) Block diagram of the control system.

### 3. DESIGN METHOD

In this section, the application of the proposed controller designed by three-level data in neural network with feedforward, supervised learning and backpropagation to control the movement of a designed model car is described.

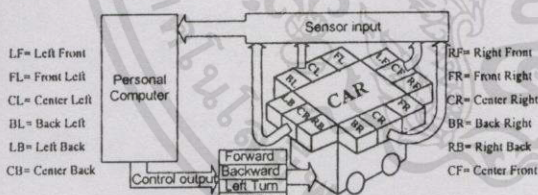


Fig. 5. Designed model car using the proposed three-level data.

The square-type model car as shown in Fig. 5, consists of 12 measuring sensors. The left front (LF), center front (CF) and right front (RF) sensors, and the left back (LB), center back (CB) and right back (RB) sensors are allocated in front and back side of the car, respectively. In the same manner, the front right (FR), center right (CR) and back right (BR) sensors, and the front left (FL), center left (CL) and back left (BL) sensors are allocated in right and left sides of the car, respectively. Each of sensors consists of 3 measuring units to measure 3 outputs according to the distance between measuring sensor and the rim of the road. The 3 outputs are long, middle and close distances from the rim of the road. Long distance and close distance mean the rim of the road is longer than 1.5 and shorter than 0.5 of the width of the model car, respectively. While middle distance means the distance of the rim of the road is shorter than 1.5 and longer than 0.5 of the width of the model car. Hence, the three-level data corresponded to long,

close and middle distances from the rim of the road are 1, 0 and -1, respectively.

The input layer consists of 12 neurons (nodes) which correspond to the 12 sensors allocated on the model car. In the hidden layer, the amount of the neurons has been adjusted from 10, 20, ..., 90 nodes in order to obtain the shortest learning time. It is found that the 20 nodes give the shortest learning time for the total error E equal to 0.05. The output layer consists of 4 neurons (nodes) which correspond to the forward (FW), backward (BK), left turn (LT) and right turn (RT) movements of the model car to be controlled. These 4 outputs are called the control output. Each of control output is three-level data, that is, 1, 0 and -1. For example, in case of the forward movement, the data 1, 0 and -1 mean fast forward, stop and slow forward, respectively. The movements to be controlled are forward (FW), backward (BK), left turn (LT) and right turn (RT).

### 4. SIMULATION RESULTS

According to the design method, the total learning patterns are  $3^{12}$  patterns. In the paper, 5 learning patterns are selected. Table 1 shows the results of the sensor input and the control output obtained from the 5 selected learning patterns.

Table 1. Results of 5 selected learning patterns for sensor input and control output.

5 Learning Patterns															
SENSOR INPUT												CONTROL OUTPUT			
LF	CF	RF	LB	CB	RB	FL	CL	BL	FR	CR	BR	FW	BR	RT	LT
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1
-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1

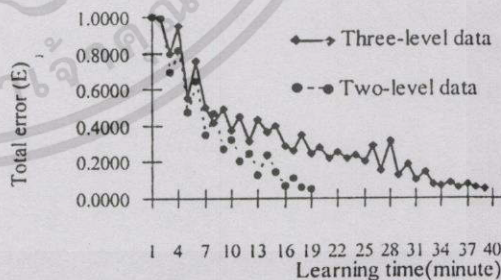


Fig. 6. Learning time comparison.

Fig. 6 shows the comparison results of the three-level data and two-level data in term of the average learning time for 5 selected learning patterns when the total error E = 0.05. It is found that the learning time for the three-level data is 40 minutes approximately while the two-level data is 19 minutes. In case of two-level data, each of 12 measuring sensors has 2 measuring units and the control output has 4 outputs, each of

which has 2 movements. However, the long learning time does not affect the control system because the learning process is pre-processing.

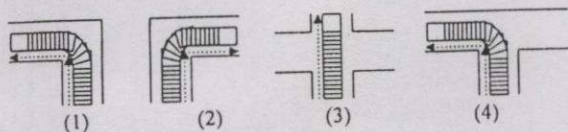


Fig. 7. The 4 typical running lines for the model car.

Fig. 7 illustrates the 4 typical running lines that the model car will move along. When the velocities of the model car are designed as 0 cm./sec., 3 cm./sec. and 9 cm./sec. for stop, slow forward and fast forward, respectively, the movement simulation results of the car running on the 4 typical running lines are also shown in Fig. 7. It is also found from Fig. 8 that the running time of the three-level data system in each running line is shorter than the time of two-level data. The reason is that, in the three-level data, the car can move at high speed and slow down when turns in the running line while the two-level data gives constant speed along the running line.

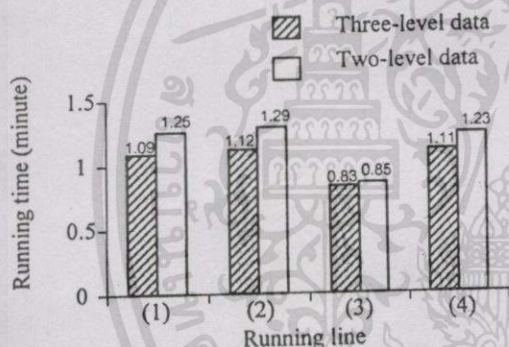


Fig. 8. Running time for 4 typical running lines.

## 5. CONCLUSIONS

A three-level data in neural network using feedforward, supervised learning and backpropagation has been proposed in this paper. The proposed concept is applied to control the model car runs on the 4 typical running lines. It is found that the running time is less than a neural network using the two-level data; although, the time in learning is much more.

The three-level data in neural networks can be achieved by using the operator  $\Psi [u(t)]$  and the magnitude of the initial condition  $u_0$  can be adjusted according to the range of the operator  $\Psi [u(t)]$ . The three-level data in neural networks can also be applied in the industrial control systems, such as level tank system, robot system etc.

## 6. REFERENCES

- [1] Philip D. Wasserman, *Advance Methods in Neural Computing*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1993.
- [2] D. Nguyen and B. Widrow, "The truck backer-upper: An

example of self-learning in neural networks," *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, Vol.II, pp.357-361, New York: IEEE Press, 1998.

- [3] B. Kosko, "Comparison of fuzzy and neural truck backer-upper control systems," *Neural Networks and Fuzzy systems*, pp.339-361, Prentice Hall, 1992.
- [4] R. E. Jenkins and B. P. Yuhas, "A simplified neural-network solution through problem decomposition: The case of the truck backer-upper," *Neural Computation* 4(5), pp.647-649, 1992.
- [5] P. J. Werbos, "Backpropagation through time: What it does and how to do it," *Proceedings of the IEEE* 78(30), pp. 1550-1560, 1990.
- [6] B. Muller, J. Reinhardt and M. T. Strickland, *Neural Networks: An introduction 2<sup>nd</sup> ed.*, Germany, Springer, 1995.
- [7] M. M. Gupta and D. H. Rao, "Neuro-Control System : A Tutorial," *Neuro-Control System: Theory and Application*, NY: IEEE Press, pp.1-43, 1994.
- [8] D. E. Rumelhart, J. L. McClelland and the PDP Research Group, "Parallel Distributed Processing (PDP)," *Exploration in the Microstructure of Cognition, volume 1*, The MIT Press, Cambridge, MA, pp. 76,77, pp. 154,155, pp. 219, 1986.
- [9] S. Linprachya and K. Paithoonwattanakij, "Using Neural Networks for Pattern Recognition," *J. Natl. Res. Council, Thailand*, pp 45-67, 1993.

## ประวัติผู้เขียน

นายสายกลาง บุญบุญบูรณ์ เข้าศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2539 มีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในประเทศ และนอกประเทศ อย่างละฉบับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้