



รายงานการวิจัย

การบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายสำหรับประยุกต์ใช้งาน  
ด้านเกษตรกรรมด้วยเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์

(Data Compression in Wireless Sensor Networks for Agriculture  
Applications using Artificial Intelligence Techniques)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



## รายงานการวิจัย

การบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายสำหรับประยุกต์ใช้งาน  
ด้านเกษตรกรรมด้วยเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์  
(Data Compression in Wireless Sensor Networks for Agriculture  
Applications using Artificial Intelligence Techniques)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2555  
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มิถุนายน 2557

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี  
งบประมาณ 2555

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ อรรถกิจมงคล และรองศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์  
ศรีแก้ว อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี  
สุรนารี ที่กรุณาให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ของสถานวิจัยสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และสถาบันวิจัยพัฒนา  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความสะดวกในด้านข้อมูล งานเอกสารแบบฟอร์มต่าง ๆ ที่  
ต้องใช้ในการดำเนินโครงการวิจัย จนทำให้งานเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณ นางสาวนภาพร พิมปรุ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรม  
โทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยงานวิจัย ทำการ  
ทดลอง เก็บข้อมูลการวิจัย จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

ประโยชน์ คำสวัสดิ์



## บทคัดย่อ

รายงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายโดยประยุกต์ใช้เทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์รูปแบบเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) จุดประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาความคับคั่งของข้อมูลที่ส่งผ่านเครือข่ายไร้สายที่ประยุกต์ใช้ในระบบฟาร์มอัจฉริยะ โดยผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นในดิน และความเข้มแสง นำข้อมูลเหล่านี้มาทำการบีบอัดข้อมูลโดยการแปลงเวฟเลตชนิด Haar ด้วยอัตราการบีบอัดที่ 10% ถึง 90% และนำข้อมูลที่ได้มาใช้สำหรับฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการบีบอัดข้อมูลที่นำเสนอให้สัญญาณสร้างกลับที่มีคุณภาพดี เทคนิคนี้สามารถนำไปใช้กับการบีบอัดข้อมูลเพื่อลดจำนวนข้อมูลของการสื่อสาร ลดการใช้พลังงานของเซนเซอร์และสามารถยืดอายุการใช้งานของโนดเซนเซอร์ได้ด้วย

**คำหลัก :** การบีบอัดข้อมูล การแปลงเวฟเลต เครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย เครือข่ายประสาทเทียม อัตราการบีบอัดที่เหมาะสม

### Abstract

This research presents data compression in wireless sensor network by using artificial neural technique. The aim of this research is to reduce size of data transmission wireless network of smart farm system. An environmental data that affect the growth of plants such as temperature, relative humidity, soil moisture and light intensity have been collected for use in simulation study. To find the optimum compression ratio for Haar wavelet transform algorithm, the collected data are then used as input to the back propagation neural network in which the training process is done by different compression ratios 10% to 90%. The experimental results show that the proposed data compression technique yields recover signal with good quality. This technique can be applied to compress the collected data to reduce the data communication as well as the energy consumption of the sensor. So, the lifetime of sensor node can be extended.

**Keywords :** Data Compression, Neural Network, Optimal Compression Ratio, Wireless Sensor Network

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ .....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง .....	ฉ
สารบัญภาพ .....	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	3
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	3
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 บทนำ .....	5
2.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.3 ทฤษฎีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย .....	8
2.4 เทคโนโลยีไร้สาย ZigBee.....	14
2.5 การบีบอัดข้อมูล .....	18
2.6 ระบบสมองกลฝังตัว.....	32
2.7 อุปกรณ์ตรวจจับ.....	41
2.8 เครือข่ายประสาทเทียม.....	45
2.9 สรุป.....	48
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	
3.1 บทนำ .....	49
3.2 การออกแบบทางฮาร์ดแวร์.....	49

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การติดตั้งชุดต้นแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย.....	65
3.4 การออกแบบทางซอฟต์แวร์.....	70
3.5 สรุป.....	80
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	
4.1 บทนำ .....	81
4.2 การออกแบบเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการหาอัตรา.....	84
การบีบอัดข้อมูลที่เหมาะสม.....	
4.3 ผลการหาอัตราการบีบอัดข้อมูลที่เหมาะสมโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม.....	91
4.4 ผลการเขียนโปรแกรมควบคุมระบบสมองกลฝังตัว.....	100
4.5 ผลการทดสอบการบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย.....	102
4.6 สรุป.....	109
<b>บทที่ 5 บทสรุป</b>	
5.1 สรุปผลงานวิจัย .....	110
5.2 แนวทางการวิจัยต่อไปในอนาคต .....	112
บรรณานุกรม .....	113
ภาคผนวก .....	116

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 การกำหนดค่าคงที่ทางอุณหภูมิจน $d1$ และ $d2$ สำหรับคำนวณค่าอุณหภูมิจริงที่วัดได้ .....	54
3.2 การกำหนดค่าคงที่ซึ่งต้องใช้ในการคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์จริงที่วัดได้ .....	55
3.3 ค่าเวลาที่โมดูล SHT11 ต้องใช้ในการประมวลผลข้อมูล .....	55
3.4 การเปรียบเทียบเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน .....	58
3.5 ค่าความเข้มแสง หน่วยเป็นลักซ์ (LUX) .....	61
3.6 ข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	64
3.7 ค่าเฉลี่ย $SNR$ ของข้อมูลที่ผ่านการบีบอัด จำนวน 10 ชุดข้อมูล .....	75
3.8 ค่าเฉลี่ย $RMSE$ ของข้อมูลที่ผ่านการบีบอัด จำนวน 10 ชุดข้อมูล .....	77
3.9 ค่าเฉลี่ยอัตราการบีบอัดของข้อมูลที่ผ่านการบีบอัด จำนวน 10 ข้อมูล.....	79
4.1 การกำหนดฟังก์ชันการถ่ายโอนของแต่ละชั้น.....	86
4.2 ทดสอบความถูกต้องของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมของข้อมูลอุณหภูมิจน .....	92
4.3 ทดสอบความถูกต้องของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมของความชื้นสัมพัทธ์ .....	95
4.4 ทดสอบความถูกต้องของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมของข้อมูลความชื้นในดิน.....	97
4.5 ทดสอบความถูกต้องของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมของข้อมูลความเข้มแสง.....	99
4.6 คุณภาพการข้อมูลจากการบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย.....	106
4.7 การคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูล.....	108



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย.....	10
2.2 แสดงระดับชั้นเครือข่ายของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย.....	11
2.3 ย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐาน ZigBee .....	15
2.4 เครือข่ายแบบสตาร์ .....	17
2.5 เครือข่ายแบบต้นไม้ .....	17
2.6 เครือข่ายแบบเมช .....	18
2.7 ระยะเวลาและความถี่การเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาและ .....	20
ความถี่ที่สัมพันธ์กันของการแปลงเวฟเล็ด	
2.8 การลดช่วงกว้างของความถี่ที่ละครั้งหนึ่งสำหรับค่าแต่ละค่าสเกล.....	21
2.9 การแตกกระจายสัญญาณและการรวมกลับสัญญาณของเวฟเล็ด .....	23
2.10 ฟังก์ชันเวฟเล็ดแม่ชนิดต่างๆ .....	24
2.11 คุณลักษณะของเวฟเล็ดแบบ Haar .....	25
2.12 ขั้นตอนการแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ดแบบ Multi Resolution.....	30
2.13 การแบ่งสัดส่วนความถี่ในการกรองแต่ละลำดับชั้น .....	30
2.14 ขั้นตอนการแปลงเวฟเล็ดแบบหลายระดับ .....	31
2.15 ระบบสมองกลฝังตัวในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย .....	33
2.16 บอร์ด FiO Std .....	33
2.17 FiO Std PCB LAYOUT .....	35
2.18 Add-On Modules .....	37
2.19 List of Add-On Modules Blocks .....	37
2.20 แสดง On-Chip Peripherals .....	38
2.21 บอร์ด STM32F4DISCOVERY .....	39
2.22 aMG F4Connect without STM32F4DISCOVERY.....	40
2.23 บอร์ด ET-GSM SIM300CZ .....	41

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.24	วงจรถ่ายใช้ในการเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น SHT11 ..... 43
2.25	เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน..... 43
2.26	วงจรถ่ายเซนเซอร์วัดความเข้มแสง..... 44
2.27	(ก) เซนเซอร์วัดความเข้มแสง..... 44 (ข) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความเข้มแสง
2.28	โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียม ..... 45
2.29	เครือข่ายประสาทเทียมแบบ ไปข้างหน้า..... 47
3.1	การทำงานของระบบโดยรวม ..... 49
3.2	โครงสร้างการเชื่อมโยงอุปกรณ์เร้าเตอร์แบบเมช..... 50
3.3	การตั้งค่า Xbee ให้เป็น โหนด โคออดิเนเตอร์ด้วยโปรแกรม X-CTU..... 51
3.4	การตั้งค่า Xbee ให้เป็นเร้าเตอร์ด้วยโปรแกรม X-CTU ..... 52
3.5	การเชื่อมต่อ Xbee เข้ากับบอร์ด FiO Std ..... 53
3.6	การเชื่อมต่อ Xbee เข้ากับ Waijung..... 53
3.7	การเชื่อมต่อเซนเซอร์ SHT11 กับบอร์ด FiO Std ..... 56
3.8	เซนเซอร์วัดความชื้นในดินที่ใช้งานจริง..... 56
3.9	การเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความชื้นในดินกับบอร์ด FiO Std ..... 57
3.10	การเปรียบเทียบเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน ..... 59
3.11	วงจรถ่ายเซนเซอร์วัดความเข้มแสง..... 59
3.12	(ก) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความเข้มแสง ..... 60 (ข) เซนเซอร์วัดความเข้มแสง
3.13	การเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความเข้มแสงเข้ากับบอร์ด FiO Std ..... 60
3.14	การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าและค่าความเข้มแสงในหน่วยของลักซ์ (LUX)..... 62
3.15	การเชื่อมต่อโมดูล GSM เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์..... 63
3.16	เครือข่ายตรวจรู้ไร้สายที่ออกแบบขึ้น ..... 63
3.17	แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า..... 64
3.18	อุปกรณ์ควบคุมการชาร์ตไฟฟ้าและอุปกรณ์คงค่าแรงดัน ..... 65
3.19	การติดตั้ง โหนดเซนเซอร์ในพื้นที่เพาะปลูกจริง..... 66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.20 การติดตั้งระบบในฟาร์ม.....	66
3.21 การติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์.....	67
3.22 การติดตั้งเซนเซอร์วัดความเข้มแสง.....	68
3.23 การติดตั้งเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน.....	68
3.24 การแสดงผลหน้าจอ LCD ของแต่ละ โหนด.....	69
3.25 การแสดงผลทางอินเทอร์เน็ต.....	70
3.26 การทำงานของโปรแกรมควบคุม โหนดไมโครคอนโทรลเลอร์และ โหนดเรพอร์ทเตอร์.....	71
3.27 การแยกองค์ประกอบและการรวมกลับองค์ประกอบในการแปลงเวฟเล็ท 1 ระดับ.....	72
3.28 องค์ประกอบของการแปลงเวฟเล็ทหลายระดับ.....	72
3.29 (ก) สัญญาณต้นฉบับ (ข) สัมประสิทธิ์ของความถี่ต่ำ (ค) สัมประสิทธิ์ของความถี่สูง.....	73
(ง) สัญญาณที่ถูกสร้างกลับ	
3.30 ค่าเฉลี่ย SNR ของข้อมูลที่ผ่านการบีบอัด จำนวน 10 ชุดข้อมูล.....	76
3.31 ค่าเฉลี่ย RMSE ของข้อมูลที่ผ่านการบีบอัด จำนวน 10 ชุดข้อมูล.....	78
3.32 คุณภาพของการบีบอัดข้อมูลของข้อมูลที่ผ่านการบีบอัดจำนวน 10 ชุดข้อมูล.....	80
4.1 การแบ่งอัตราการบีบอัดข้อมูลที่ 10% ถึง 90%.....	81
4.2 การเปรียบเทียบข้อมูลของอัตราการบีบอัดที่ 10% และ 20% กับข้อมูลต้นฉบับ.....	82
4.3 การเปรียบเทียบข้อมูลของอัตราการบีบอัดที่ 30% และ 40% กับข้อมูลต้นฉบับ.....	82
4.4 การเปรียบเทียบข้อมูลของอัตราการบีบอัดที่ 50% และ 60% กับข้อมูลต้นฉบับ.....	83
4.5 การเปรียบเทียบข้อมูลของอัตราการบีบอัดที่ 70% และ 80% กับข้อมูลต้นฉบับ.....	83
4.6 การเปรียบเทียบข้อมูลของอัตราการบีบอัดที่ 90% กับข้อมูลต้นฉบับ.....	84
4.7 โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม.....	85
4.8 กราฟแสดงค่า Performance การเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียม.....	87
4.9 ข้อมูลความเข้มแสงและความชื้นสัมพัทธ์ที่เก็บใน 1 วัน.....	88
4.10 ข้อมูลความชื้นในดินและอุณหภูมิที่เก็บใน 1 วัน.....	88
4.11 รูปแบบข้อมูลอินพุตของอุณหภูมิในการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม.....	88
4.12 กราฟค่า RMSE ของแต่ละสภาพแวดล้อม.....	89
4.13 กราฟค่า SNR ของแต่ละสภาพแวดล้อม.....	90

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 กราฟค่า CR ของแต่ละสภาพแวดล้อม.....	91
4.15 การเรียนรู้เครือข่ายประสาทเทียมและกราฟ Performance ของการฝึกสอน เครือข่ายประสาทเทียมของอุณหภูมิ.....	92
4.16 การหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของอุณหภูมิ.....	93
4.17 การบีบอัดข้อมูลอุณหภูมิด้วยอัตราการบีบอัดข้อมูลที่ 60 เฟอร์เซ็นต์.....	94
4.18 การเรียนรู้เครือข่ายประสาทเทียมและกราฟ Performance ของการฝึกสอน เครือข่ายประสาทเทียมของความชื้นสัมพัทธ์.....	94
4.19 การหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์.....	95
4.20 การบีบอัดข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ด้วยอัตราการบีบอัดข้อมูลที่ 60 เฟอร์เซ็นต์.....	96
4.21 การเรียนรู้เครือข่ายประสาทเทียมและกราฟ Performance ของการฝึกสอน เครือข่ายประสาทเทียมของความชื้นในดิน.....	96
4.22 การหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของข้อมูลความชื้นในดิน.....	97
4.23 การบีบอัดข้อมูลความชื้นในดินด้วยอัตราการบีบอัดข้อมูลที่ 60 เฟอร์เซ็นต์.....	98
4.24 การเรียนรู้เครือข่ายประสาทเทียมและกราฟ Performance ของการฝึกสอน เครือข่ายประสาทเทียมของความเข้มแสง.....	98
4.25 กราฟแสดงการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของความเข้มแสง.....	99
4.26 บีบอัดข้อมูลของความเข้มแสงด้วยอัตราการบีบอัดข้อมูลที่ 70 เฟอร์เซ็นต์.....	100
4.27 โปรแกรมโนคเรทเตอร์.....	101
4.28 โปรแกรม โนค โคออร์ดิเนเตอร์.....	101
4.29 การเก็บข้อมูลของโนคเรทเตอร์.....	102
4.30 การเก็บข้อมูลของโนค โคออร์ดิเนเตอร์.....	102
4.31 การแสดงผลของโนคเรทเตอร์และ โนค โคออร์ดิเนเตอร์.....	103
4.32 เปรียบเทียบข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับของอุณหภูมิ.....	103
4.33 เปรียบเทียบข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับของความชื้นสัมพัทธ์.....	104
4.34 เปรียบเทียบข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับของความชื้นในดิน.....	105
4.35 เปรียบเทียบข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับของความเข้มแสง.....	105
4.36 การใช้พลังงานในการส่งข้อมูล.....	108

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมและเครือข่ายคอมพิวเตอร์ มีความเจริญรุดหน้าไปมาก การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่ออำนวยความสะดวกในการเฝ้าติดตาม การบริหารและการจัดการฟาร์มเกษตรกรรมในรูปแบบที่เรียกว่า ระบบฟาร์มอัจฉริยะ (Smart Farm System) เป็นกุญแจสำคัญดอกหนึ่งของการประยุกต์ใช้ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อช่วยให้เกษตรกรสามารถเข้าถึงและใช้งานเทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบฟาร์มอัจฉริยะซึ่งได้รับการขนานนามว่าเป็นเกษตรกรรมความแม่นยำสูง (Precision Agriculture) [1] โดยเป็นระบบที่หลอมรวมเอาเทคโนโลยีด้าน อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม มาผสมผสานให้เกิดการประยุกต์ใช้งาน เช่น เทคโนโลยีการระบุตัวตนด้วยความถี่คลื่นวิทยุ(RFID) เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย (Wireless Communication)เทคโนโลยีเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer Network) เทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) เทคโนโลยีเซนเซอร์ (Sensor) และเทคโนโลยีการประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing) เทคโนโลยีเหล่านี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรให้เป็นไปอย่างแม่นยำและตรงต่อความต้องการของพืช จึงสามารถช่วยในการเพิ่มผลผลิต ช่วยลดการสูญเสียทรัพยากรและยังช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ในระดับหนึ่ง องค์ประกอบสำคัญของระบบฟาร์มอัจฉริยะ คือ สารสนเทศ เทคโนโลยีและการบริหารจัดการ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วขั้นตอนในการดำเนินงานของระบบฟาร์มอัจฉริยะ จะแบ่งออกเป็น การเก็บข้อมูล (Data Collections) การวินิจฉัยข้อมูล (Diagnostics) การวิเคราะห์ข้อมูล (Analysis) และเครือข่ายของเซนเซอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในฟาร์มจะเป็นเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) เป็นการเชื่อมต่อโนดของเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Node) หลาย ๆ โหนดเข้าด้วยกันให้เป็นลักษณะของเครือข่าย (Network) ตามโครงสร้างของเครือข่าย (Network Topology) ที่ได้กำหนดขึ้น โดยองค์ประกอบหลักของโนดเซนเซอร์ไร้สายคือ เซนเซอร์ (Sensors) อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย โมโครคอนโทรลเลอร์และแบตเตอรี่ขนาดเล็ก ข้อมูลต่าง ๆ ที่ตรวจวัดได้จากโนดเซนเซอร์ต่าง ๆ จะถูกรวบรวมโดยสถานีฐาน (Base Station หรือ Sink Node) จากนั้นสถานีฐานจะทำการส่งข้อมูลมายังศูนย์กลางการควบคุมโดยผ่านเครือข่ายไร้สาย ซึ่งข้อมูลจะมีขนาดมากขึ้นตามจำนวนของโนดเซนเซอร์ที่มากขึ้นและทำให้เกิดปัญหาคอขวด (Bottlenecks) ในการส่งข้อมูลและเกิดปัญหาการจัดเก็บข้อมูลตามมา

ในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาความคับคั่งของข้อมูลที่ส่งผ่านเครือข่ายเซอไรร์สาย โดยจะประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูล (Data Compression) ทั้งการบีบอัดข้อมูลแบบไม่มีการสูญเสีย (Lossless Compression) และการบีบอัดข้อมูลแบบมีการสูญเสีย (Lossy Compression) ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวจะทำให้ได้ข้อมูลที่มีขนาดลดลง จึงสามารถส่งผ่านเครือข่ายไร้สายได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ผู้วิจัยจะทำการประยุกต์ใช้เทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) มาใช้ในการเลือกอัตราการบีบอัด (Compression Ratio) ให้เหมาะสมที่สุด เพื่อให้คุณภาพของข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากโนดเซนเซอร์ต่าง ๆ ใกล้เคียงกับค่าเดิมก่อนการบีบอัดข้อมูลมากที่สุด ซึ่งนอกจากจะช่วยแก้ปัญหาความคับคั่งของข้อมูลแล้ว วิธีการดังกล่าวยังจะช่วยให้แต่ละโนดของเซนเซอร์ไร้สาย มีอายุการใช้งาน (Lifetime) ที่ยาวนานขึ้น เนื่องจากสามารถลดการใช้พลังงานในการส่งข้อมูลและสามารถผ่านพื้นที่จำกัดเกี่ยวกับขนาดของแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลในเครือข่ายไร้สาย ผู้วิจัยจะนำเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์และการสื่อสารไร้สายมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบเครือข่ายเซอไรร์สายสำหรับระบบฟาร์มอัจฉริยะที่มีเทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูล เครื่องต้นแบบดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการเก็บข้อมูล และจากการศึกษาค้นคว้าในฐานข้อมูลต่าง ๆ พบว่าวิธีการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซอไรร์สายยังคงเป็นหัวข้อที่ท้าทายสำหรับนักวิจัยในปัจจุบัน เนื่องจากโนดเซนเซอร์ที่ติดตั้งในเครือข่ายเซอไรร์สายนั้นถูกจำกัดด้วยขนาดของแบนด์วิดท์ในการส่งข้อมูล ความสามารถในการประมวลผล (Computational Power) ขนาดหน่วยความจำในการเก็บข้อมูล (Storage) จะถูกจำกัดด้วยพลังงานของแบตเตอรี่อีกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อออกแบบเครือข่ายเซอไรร์สายที่ประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการควบคุม
- 1.2.2 เพื่อออกแบบอัลกอริทึมการบีบอัดข้อมูลสภาพแวดล้อมโดยประยุกต์ใช้เทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ในการหาอัตราการบีบอัดข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด
- 1.2.3 เพื่อสร้างชุดต้นแบบเครือข่ายเซอไรร์สายสำหรับใช้งานในด้านการเกษตรกรรมที่มีเทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูล
- 1.2.4 เพื่อออกแบบอัลกอริทึมสำหรับค้นหาโนดที่ผิดพลาดโดยการประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียม
- 1.2.5 เพื่อนำเสนอข้อมูลสภาพแวดล้อมที่วัดในพื้นที่เกษตรกรรมผ่านทางอินเทอร์เน็ตได้
- 1.2.6 เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ในการออกแบบเครือข่ายเซอไรร์สายและเสริมสร้างความแข็งแกร่งทางด้านเทคโนโลยีสำหรับการใช้งานจริงในด้านเกษตรกรรม

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ทำการออกแบบโดยใช้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายตามมาตรฐานโปรโตคอล Zigbee/IEEE 802.15.4

1.3.2 ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ออกแบบขึ้นสามารถทำการวิเคราะห์และวินิจฉัยข้อมูลจากเซนเซอร์และควบคุมการทำงานด้วยระบบสมองกลฝังตัว

1.3.3 สามารถบีบอัดข้อมูลและหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมได้

1.3.4 สามารถแสดงค่าสภาพแวดล้อมในแปลงเกษตรกรรมที่ได้จากโนตเซนเซอร์ต่างๆผ่านทางอินเทอร์เน็ตได้

### 1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ทำการวัดค่าสภาพแวดล้อมในแปลงเกษตรกรรมตลอด 24 ชั่วโมง โดยจะทำการเก็บค่าทุกๆ 5 นาที

1.4.2 การเชื่อมโยงเครือข่ายที่ใช้งานเป็นแบบเมช (Mesh)

1.4.3 เซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดค่ามีทั้งหมด 3 ชนิด คือ เซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ (SHT11) เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน และเซนเซอร์วัดความเข้มแสง

### 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.5.1 ศึกษาเทคโนโลยีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ระบบสมองกลฝังตัวและเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์

1.5.2 ออกแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการควบคุม

1.5.3 ออกแบบการบีบอัดข้อมูลสภาพแวดล้อมโดยประยุกต์ใช้เทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ในการกำหนดอัตราการบีบอัดข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด

1.5.4 สร้างชุดต้นแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่มีเทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูลสำหรับใช้งานในด้านเกษตรกรรม

1.5.5 ออกแบบเครือข่ายประสาทเทียมในการค้นหาโนตเซนเซอร์ไร้สายที่ผิดพลาด

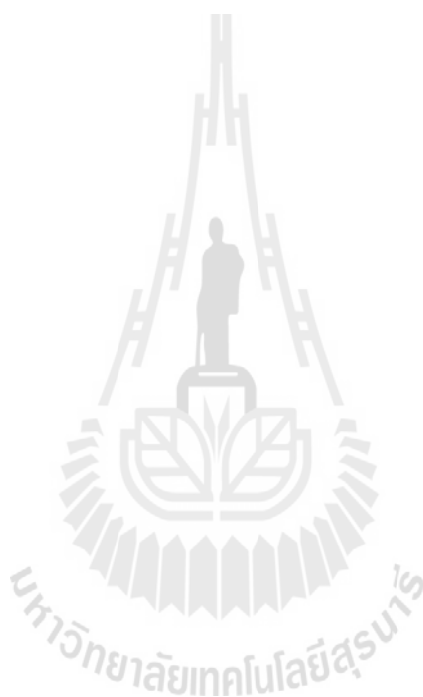
1.5.6 ทดสอบและพัฒนาชุดต้นแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับระบบฟาร์มอัจฉริยะ

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้องค์ความรู้ในด้านการออกแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับใช้งานในด้านเกษตรกรรมและได้องค์ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์

1.6.2 ได้ชุดต้นแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับใช้งานในด้านเกษตรกรรมที่มีเทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูล

1.6.3 บทความวิจัย เผยแพร่ระดับชาติ และ/หรือ นานาชาติ





## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ซึ่งแบ่งเป็นทั้งหมด 9 ส่วน ส่วนแรกคือการกล่าวนำเข้าสู่เนื้อหา ส่วนที่สองจะเป็นส่วนของการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่สามเป็นส่วนของทฤษฎีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network; WSN) ต่อมาในส่วนที่สี่จะเป็นในส่วนของเทคโนโลยีไร้สาย Zigbee ที่ใช้ในการสร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ส่วนที่ห้าเป็นส่วนของการบีบอัดข้อมูล ส่วนที่หกเป็นการกล่าวถึงระบบสมองกลฝังตัวซึ่งจะพูดถึงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32TM ARM 32 bit ซึ่งเป็นบอร์ดควบคุมหลักที่ใช้สำหรับการติดต่อรับข้อมูลจากเซนเซอร์ บอร์ด STM32F4DISCOVERY เป็นบอร์ดหลักที่เชื่อมต่อกับโมดูลโทรศัพท์ และจะกล่าวถึงโมดูลโทรศัพท์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลเข้าสู่เซิร์ฟเวอร์ ส่วนถัดมาจะกล่าวถึงเซนเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ วัดความชื้นสัมพัทธ์ วัดความชื้นในดินและเซนเซอร์วัดความเข้มแสง ส่วนที่แปดกล่าวถึงเครือข่ายประสาทเทียม และส่วนสุดท้ายจะเป็นการสรุปเนื้อหาทั้งหมดในบทนี้

#### 2.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยในการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายได้ถูกคิดค้นกันเป็นจำนวนมาก ซึ่งแต่ละแนวคิดได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและแก้ปัญหาการใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ความคับคั่งของข้อมูลก็เป็นอีกปัญหาหนึ่งที่มีผู้วิจัยได้ให้ความสนใจและทำการศึกษาค้นคว้าโดยใช้เทคนิคการบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ซึ่งผู้วิจัยได้สืบค้นวรรณกรรมในฐานข้อมูลงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวกับการบีบอัดข้อมูลโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมเพื่อนำมาอ้างอิงและประยุกต์ให้เหมาะสมกับงานวิจัยนี้

N. Watthanawisut, (2010) [1] ได้นำเสนอ ระบบฟาร์มอัจฉริยะในขอบข่ายงานเกษตรกรรม ความแม่นยำสูง ซึ่งมีการติดตั้งอุปกรณ์ GPS (Global Positioning System) บนรถไถเพื่อทำการติดตามตำแหน่งรถแทรกเตอร์และส่งข้อมูลตำแหน่งที่ได้ผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย Zigbee โดยมีการสร้างเครือข่ายแบบเมช มีการสร้างระบบสื่อสารครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ โหนดเรดาร์เตอร์ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลในเครือข่าย มีการเก็บข้อมูลจากรถแทรกเตอร์และแสดงผลแบบเวลาจริงบนเว็บไซต์ ข้อมูลที่แสดงได้แก่ ละติจูด ลองจิจูด พื้นที่ในวันและเวลาปัจจุบันของข้อมูลครั้งล่าสุด สถานะพลังงาน

และรับสถานะดาวเทียมสื่อสาร ซึ่งจะช่วยให้ทราบวาระคั่นดังกล่าววิ่งหรือทำงานไปได้ระยะทางเท่าใดในแต่ละวันเพื่อความสะดวกในการบริหารจัดการฟาร์ม

แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติม นำวิธีการสร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย Zigbee ที่มีเครือข่ายแบบเมช โดยมีการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงเกษตรกรรมและแสดงผลทางอินเทอร์เน็ต ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการเก็บข้อมูลใช้พลังงานแสงอาทิตย์

Adnan Khashman, (2008) [2] ได้นำเสนอการบีบอัดภาพโดยใช้เวฟเล็ต ซึ่งให้คุณภาพของการบีบอัดที่สูง อัตราการบีบอัดจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดของภาพ มีการพิจารณาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non Linear) ระหว่างความละเอียดของภาพและอัตราการบีบอัดเพื่อหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมที่สุดของการบีบอัดข้อมูลด้วยเวฟเล็ตชนิด Haar (Optimum Haar Compression Ratio; OHCR) ซึ่งมีการกำหนดอินพุตของเครือข่ายประสาทเทียมด้วยอัตราการบีบอัดข้อมูล 10% ถึง 90% ให้เครือข่ายประสาทเทียมได้เรียนรู้และจดจำรูปแบบของอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม โดยใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบแพร่กลับ

แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติม โดยนำวิธีการบีบอัดข้อมูลด้วยอัตราการบีบอัดที่ 10% ถึง 90% เพื่อหาค่าคุณภาพของแต่ละอัตราการบีบอัดและใช้ข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลคุณภาพของการบีบอัด (*RMSE SNR CR*) เป็นอินพุตให้กับระบบ และกำหนดเอาต์พุตเป็นค่าเปอร์เซ็นต์อัตราการบีบอัด 10% - 90%

A. Kulakov, (2005) [3] ได้นำเสนอวิธีการเก็บข้อมูลแบบชาญฉลาด โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการลดขนาด การเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อทำการแยกแยะข้อมูลจากโนดเซนเซอร์ต่าง ๆ โดยใช้เครือข่ายแบบปรับตัวได้ (Adaptive Resonance Theory; ART) ซึ่งเป็นการเรียนรู้แบบไม่มีผู้ฝึกสอนประกอบด้วย ART ใช้สำหรับรูปแบบอินพุตที่เป็นไบนารีและ FuzzyART ใช้สำหรับรูปแบบอินพุตที่เป็นแอนะล็อก ทำการเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์ 4 ประเภทคือ เซนเซอร์แสง ไมโครโฟน วัดความเร่ง เซนเซอร์แม่เหล็กและวัดอุณหภูมิ โดยแต่ละโนดจะส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย และทำการประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตในการบีบอัดข้อมูลเพื่อลดขนาดมิติของข้อมูลที่จะส่งผ่านเครือข่ายไร้สายทำให้สามารถแผ่ระยะวังและติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติม นำวิธีการแปลงเวฟเล็ตมาใช้ในการบีบอัดข้อมูล ซึ่งมีการศึกษาเพิ่มเติมจากงานวิจัยนี้ที่ใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบ Haar 1 ระดับ จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการแปลงเวฟเล็ตโดยใช้แม่แบบการแปลงแบบอื่น ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับงานวิจัยนี้

J. W. Barron, (2008) [4] ได้นำเสนอวิธีการดำเนินการค้นหาข้อผิดพลาดในเวลาจริงสำหรับโนดเซนเซอร์ไร้สายโดยประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียม ซึ่งมีการดำเนินการบนระบบปฏิบัติการ TinyOSโดยมีการเก็บข้อมูลจากเครือข่ายแบบ Tree และส่งข้อมูลไปยังสถานีฐานในรูปแบบ Multi-hopping ใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการจำลองโนดเซนเซอร์ที่เชื่อมต่อกับโนดใกล้เคียงเพื่อวัดค่า

สภาพแวดล้อมเปรียบเทียบข้อมูลในการทำนายและกำหนดค่าเริ่มต้นของข้อผิดพลาดเพื่อพิจารณาข้อผิดพลาดของโนตเซนเซอร์

แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติม มีการดำเนินการค้นหาโนตที่ผิดพลาดโดยดำเนินการในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ใช้เครือข่ายแบบเมชซึ่งเป็นเครือข่ายที่ป้องกันการผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ดีที่สุด และใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการค้นหาโนตผิดพลาดที่เกิดขึ้น

A. Goh, (2008) [5] ได้นำเสนอการออกแบบระบบการบันทึกสัญญาณประสาทและการส่งข้อมูลแบบไร้สายโดยผู้วิจัยใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณแบบเวลาจริง โดยใช้ขั้นตอนของ Linde Buzo-Gray (LBG) ในการแยกสัญญาณและสัญญาณรบกวนเพื่อป้องกันสัญญาณที่มีรูปร่างแหลมขึ้นมาของการกรองสัญญาณรบกวน การดำเนินการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลพลังงานต่ำซึ่งสามารถส่งผ่านเครือข่ายไร้สายได้ และจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของการบันทึก สามารถปรับอัตราการบีบอัดให้เหมาะสมกับข้อมูลเพื่อประหยัดพลังงานและแบนด์วิดท์ในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายด้วย

แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติม นำเทคนิคการบีบอัดข้อมูลแบบเวลาจริงไปใช้กับงานวิจัย โดยทำการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมและบีบอัดข้อมูลในเวลาจริง

J. Wang, (2010) [6] ได้นำเสนอการบีบอัดข้อมูลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยใช้เวฟเล็ตในการแปลงสัญญาณและใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการเลือกค่าพารามิเตอร์ของการแปลงเวฟเล็ตให้เหมาะสมกับการบีบอัดสัญญาณ ECG ซึ่งการบีบอัดข้อมูลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบ่งออกเป็นสองประเภทคือ วิธีการบีบอัดในโดเมนเวลาและในโดเมนการแปลง ซึ่งขึ้นอยู่กับความซับซ้อนจากการวิเคราะห์ข้อมูลดิบโดยตรง ข้อดีคือสามารถทำได้ง่าย รวดเร็วและทำงานในเวลาจริง และข้อเสียคือยากที่จะตรวจสอบในเวลาเดียวกันว่ามีการบีบอัดข้อมูลสูง

แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติม จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้พบว่ามีวิธีการบีบอัดข้อมูลโดยการแปลงเวฟเล็ตและมีการใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการเลือกพารามิเตอร์ให้อัตราการบีบอัดที่สูงกว่าการบีบอัดข้อมูลโดยการแปลงเวฟเล็ต ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการบีบอัดข้อมูลโดยการแปลงเวฟเล็ตและใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของข้อมูลสภาพแวดล้อม

Mohsen Nasri, (2010) [7] ได้นำเสนอการประหยัดพลังงานในการส่งภาพบนเครือข่ายไร้สายโดยใช้เทคนิคการแปลงเวฟเล็ตแบบ SHPS (Skipped High-Pass Sub-Band) โดยตัดส่วนของภาพที่ความถี่สูงในการลดจำนวนบิตของภาพ ซึ่งมีข้อจำกัดของช่วงความถี่ในเครือข่ายไร้สายและคุณภาพของภาพ ซึ่งการบีบอัดแบบ SHPS มีผลกระทบต่อคุณภาพของภาพ ซึ่งการแปลงเวฟเล็ตเป็นวิธีการบีบอัดภาพที่ไม่ยุ่งยาก ทำให้มีการใช้พลังงานที่เหมาะสมและคุณภาพของภาพสามารถยอมรับได้ แต่การบีบอัดภาพแบบ SHPS ที่ระดับการแปลงเวฟเล็ตที่สูงขึ้น ทำให้คุณภาพของสัญญาณลดลง

แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติม จากการบีบอัดข้อมูลโดยการแปลงเวฟเล็ตและใช้เทคนิค SHPS ซึ่งเป็นการตัดสัญญาณด้านความถี่สูงทั้งหมด ซึ่งการตัดข้อมูลด้านความถี่สูงออกทั้งหมดนั้น อาจ

สูญเสียรายละเอียดของข้อมูลบางส่วนไป ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม

W. R. Heitzelman, (2000) [8] ได้นำเสนอโปรโตคอลการสื่อสารที่ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ซึ่งได้เสนอวิธีการที่เรียกว่า LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) เป็นการจัดกลุ่มลำดับชั้นเพื่อลดการใช้พลังงานให้น้อยลง มีการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบเทคนิคดังกล่าวกับการส่งข้อมูลแบบทางตรง ซึ่งพบว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอนี้สามารถลดการใช้พลังงานได้ถึง 8 เท่า เมื่อเทียบกับการส่งข้อมูลแบบทางตรง (Direct Transmission) และการส่งข้อมูลแบบ MTE (Minimum Transmission Energy) ซึ่งสามารถยืดอายุการใช้งานของเครือข่ายไร้สายได้

แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติมโดยการนำสมการการคำนวณค่าพลังงานมาทำการหาค่าพลังงานที่ใช้ในระบบเครือข่ายไร้สายเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างการส่งข้อมูลปกติกับการส่งข้อมูลผ่านการบีบอัดข้อมูล

W. Khunratanasiri, (2010) [9] ได้นำเสนอการเปรียบเทียบคุณภาพของการบีบอัดเสียงพูด โดยใช้เทคนิคการแปลงเวฟเล็ต โดยทำการเปรียบเทียบคุณภาพของการแปลงเวฟเล็ต 3 ชนิด คือ Daubachies, Coiflet, Symlets ซึ่งมีการแปลงเวฟเล็ตตั้งแต่ 1 ระดับ จนถึง 5 ระดับ ทำการเปรียบเทียบค่า  $SNR$  (Signal to Noise Ratio) และค่า  $PSNR$  (Peak Signal to Noise Ratio) ของแต่ละระดับการแปลงเวฟเล็ต จากการทดลองพบว่า การแปลงเวฟเล็ตชนิด Coiflet ที่ 1 ระดับให้ค่า  $SNR$  สูงที่สุดคือ 34.12

แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติมโดยการประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตเพื่อทำการบีบอัดข้อมูล ซึ่งมีการศึกษาคุณภาพของเวฟเล็ต 5 ชนิด เพื่อเลือกชนิดของเวฟเล็ตที่เหมาะสมกับการนำไปใช้

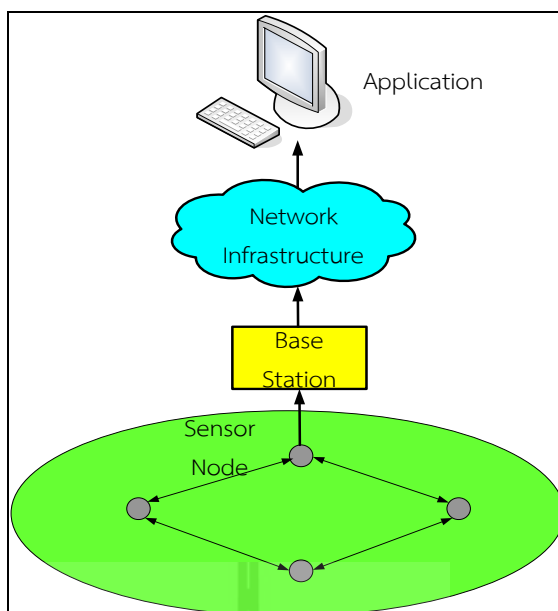
## 2.3 ทฤษฎีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

เทคโนโลยีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network; WSN) เป็นเทคโนโลยีที่กำลังพัฒนาและมีศักยภาพที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ระบบเตือนภัย (Disaster Warning Systems) เพื่อพยากรณ์และเตือนภัยให้สามารถป้องกันและลดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ระบบเฝ้าตรวจสอบและควบคุมทางด้านเกษตรกรรม (Monitoring and Controlling Systems for Agriculture) เพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เป็นระบบที่มีการเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายของอุปกรณ์ตรวจวัดหรือเซนเซอร์ (Sensor) ที่ไม่ใช้สายตัวนำสัญญาณ โดยเป็นประเภทหนึ่งของเครือข่ายพื้นที่ส่วนตัว (Personal Area Network; PAN) ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 มีโปรโตคอล (Protocol) ที่มีลักษณะเฉพาะ มุ่งเน้นการเชื่อมต่ออุปกรณ์เซนเซอร์ที่มีความเร็วในการสื่อสารข้อมูลต่ำ มีการใช้พลังงานต่ำ และมีความซับซ้อนน้อย สามารถตรวจวัดสัญญาณเป้าหมายและส่งสัญญาณระหว่างอุปกรณ์เซนเซอร์จำนวนมาก ปัจจุบันมีการคิดค้นและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดสิ่งต่างๆ จากเซนเซอร์ไร้

สายมากมาย เนื่องจากใช้ต้นทุนในการพัฒนาต่ำ อุปกรณ์มีขนาดเล็กเหมาะสำหรับทุกพื้นที่ สภาพแวดล้อม โดยอุปกรณ์เซนเซอร์จะทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารหรือส่งข้อมูลถึงกันตามที่คุณพัฒนาได้ โปรแกรมไว้ เพื่อตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงหรือสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น โดยการนำเซนเซอร์แต่ละตัวไปติดตั้งไว้ในบริเวณพื้นที่ที่ต้องการวัดสัญญาณ และเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายจะติดต่อและส่งข้อมูลถึงกัน เพื่อส่งข้อมูลไปประมวลผลหรือแสดงผลยังเครื่องปลายทาง

เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมีการพัฒนาในยุคเริ่มต้นจากการใช้งานทางด้านการทหารในการทำสงครามเย็นทางด้านคลื่นเสียง ต่อมาได้รับการพัฒนาทางระบบเรดาร์ทางอากาศ ระบบเครือข่ายในยุคแรกมีรูปแบบเป็นลำดับชั้นการประมวลผลจะทำตามลำดับชั้นและใช้มนุษย์เป็นหลักในการประมวลผลและทำงานยุคที่สองเกิดขึ้นหลังจากการพัฒนาอินเทอร์เน็ต เป็นยุคของการพัฒนาเครือข่ายเซนเซอร์แบบกระจายตัวโดยเน้นที่การพัฒนาการประมวลผลข้อมูลแบบกระจายตัวการประมวลผลสัญญาณการติดตามวัตถุ เครือข่ายใช้โปรโตคอลสื่อสารระดับสูง แต่ด้วยเทคโนโลยีในยุคนั้นทำให้หน่วยร่วมเซนเซอร์มีขนาดใหญ่ความก้าวหน้าที่ทางเทคโนโลยีเซนเซอร์การติดต่อสื่อสารไร้สายเป็นเทคโนโลยีที่มีคุณภาพสูงประหยัดพลังงานและมีขนาดเล็กจึงทำให้เกิดวิธีการวัดและเก็บข้อมูลแบบใหม่โดยใช้หน่วยร่วมเซนเซอร์ขนาดเล็กจำนวนมากกระจายและฝังตัวในสิ่งแวดล้อมเพื่อเก็บข้อมูลหน่วยร่วมเซนเซอร์แต่ละตัวทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของเครือข่ายและสร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเพื่อสื่อสารและส่งข้อมูลหน่วยร่วมเซนเซอร์และเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายทำงานได้ด้วยตัวเองซึ่งลักษณะการทำงานจะขึ้นอยู่กับแต่ละสถานะที่แตกต่างกันไป

จากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสามด้าน ประกอบด้วย เทคโนโลยีเซนเซอร์ที่มีขนาดเล็กมีความแม่นยำในการวัดสูง เทคโนโลยีหน่วยประมวลผลที่มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ ประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว และเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารไร้สายที่ส่งข้อมูลได้ถูกต้องและใช้พลังงานต่ำ รวมถึงอุปกรณ์ต่อเชื่อมที่มีขนาดเล็ก การรวมกันของสามเทคโนโลยีนี้ทำให้เกิดหน่วยร่วมเซนเซอร์ ที่มีราคาถูก เทคโนโลยีหน่วยประมวลผลที่มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ วัดเก็บข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ประมวลผลได้ด้วยตัวเองและติดต่อสื่อสารถึงกันแบบเครือข่ายไร้สาย



รูปที่ 2.1 ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

### 2.3.1 องค์ประกอบของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายประกอบด้วยสามส่วนได้แก่ หน่วยร่วมเซนเซอร์ (Sensor Unit) เกตเวย์ (Gateway) และสถานีฐาน (Base Station) หน่วยร่วมเซนเซอร์จำนวนมากฝังตัวในสภาพแวดล้อมเพื่อเก็บข้อมูล โดยแต่ละหน่วยร่วมเซนเซอร์ติดต่อสื่อสารแบบไร้สายกับหน่วยร่วมเซนเซอร์ข้างเคียง ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับส่งแบบไร้สาย แต่ละหน่วยร่วมเซนเซอร์ควบคุมและจัดการงานของตัวเองทุกๆ หน่วยร่วมเซนเซอร์ที่ติดต่อกันทำงานร่วมกัน เป็นเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายทำให้แต่ละหน่วยร่วมเซนเซอร์สามารถส่งข้อมูลไปหากันได้ โดยให้หน่วยร่วมเซนเซอร์ระหว่างทางช่วยส่งข้อมูลต่อกัน ตั้งแต่ต้นทางถึงปลายทาง วิธีการส่งแบบนี้เรียกว่าการส่งแบบมัลติฮอป (Multi-Hop) เกตเวย์ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานและเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายโดยเกตเวย์อาจเป็นหน่วยร่วมเซนเซอร์ธรรมดาหรือเป็นหน่วยร่วมเซนเซอร์ที่มีความสามารถพิเศษในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย สถานีฐานทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่วัดได้จากหน่วยร่วมเซนเซอร์ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ควบคุมการทำงานและติดต่อกับผู้ใช้งาน หรืออาจติดต่อกับเครือข่ายอื่นๆ เช่น อินเทอร์เน็ต เนื่องจากการทำงานแบบไร้สายทำให้แต่ละหน่วยร่วมเซนเซอร์ใช้แหล่งพลังงานภายในหน่วยร่วมเซนเซอร์เองหรือในบางกรณีอาจใช้แหล่งกำเนิดพลังงานเพื่อให้หน่วยร่วมเซนเซอร์ทำงานได้อย่างต่อเนื่องด้วยเหตุนี้ทำให้เครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากข้อมูลหน่วยร่วมเซนเซอร์อาจหยุดทำงานเพราะพลังงานหมดหรือกลับขึ้นมาทำงานได้อีกครั้งเมื่อมีพลังงานเพียงพอ รวมไปถึงในบางเครือข่าย ที่มีหน่วยร่วมเซนเซอร์ที่เคลื่อนที่ได้การเปลี่ยนแปลงของหน่วยร่วมเซนเซอร์นั้นมีผลต่อโครงสร้างของเครือข่ายและส่งผลถึงเส้นทางการส่งข้อมูลของหน่วยร่วม

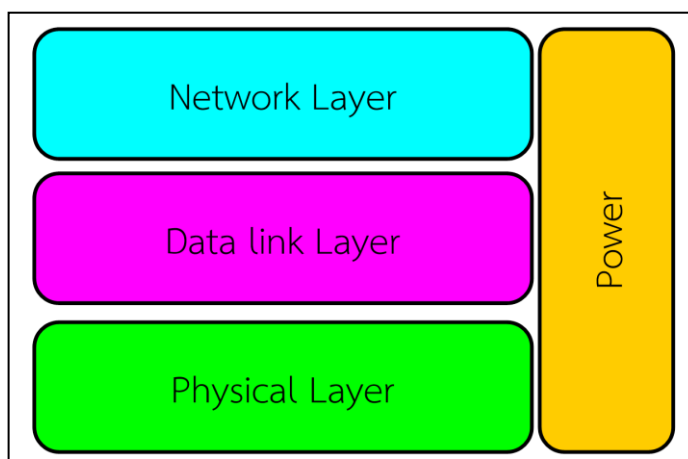
เซนเซอร์โดยเส้นทางในการส่งข้อมูลในแต่ละโครงสร้างนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการหาเส้นทางซึ่งวิธีการหาเส้นทางในแต่ละเครือข่ายจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของเครือข่ายนั้นๆ

### 2.3.2 หน่วยร่วมเซนเซอร์

การทำงานของหน่วยร่วมเซนเซอร์คือการวัดและเก็บข้อมูลที่ได้จากสภาพแวดล้อมนำข้อมูลไปประมวลผลสร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายและส่งข้อมูล ทำให้หน่วยร่วมเซนเซอร์มีส่วนประกอบหลักดังนี้

- 1) เซนเซอร์ ทำหน้าที่วัดค่าต่างๆ จากสภาพแวดล้อมตามแต่ชนิดของเซนเซอร์ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ความเข้มแสง แรงสั่นสะเทือน ความเคลื่อนไหว ความลึก เป็นต้น
- 2) หน่วยรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย ทำหน้าที่รับ ส่งข้อมูลแบบไร้สายในย่านความถี่สาธารณะ (ISM Band) เพื่อรับ-ส่งข้อมูลระหว่างหน่วยร่วมเซนเซอร์ข้างเคียง
- 3) หน่วยประมวลผล ติดต่อกับเซนเซอร์เพื่อสั่งงานหรือรับข้อมูลที่วัดได้จากเซนเซอร์ เพื่อนำไปประมวลผลเป็นข้อมูล จัดเก็บลงในหน่วยความจำ รอกการร้องขอข้อมูลหรืออาจส่งข้อมูลทันทีผ่านทางหน่วยรับ ส่งข้อมูลไร้สาย หน่วยประมวลผลกลางอาจรับข้อมูลจากระบบระบุตำแหน่งเพื่อช่วยในการประมวลผลต่างๆ หรือหน่วยประมวลผลกลาง อาจทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของหน่วยร่วมเซนเซอร์ผ่านทางระบบเคลื่อนที่ นอกจากนี้หน่วยประมวลผลกลางยังทำหน้าที่ประมวลผลเครือข่ายและหาเส้นทางในการส่งข้อมูลของหน่วยร่วมเซนเซอร์
- 4) แหล่งพลังงาน เก็บสะสมพลังงานและให้พลังงานกับทุกส่วนประกอบบนหน่วยร่วมเซนเซอร์แหล่งพลังงานจะรับพลังงานจากแหล่งกำเนิดพลังงานหากหน่วยร่วมเซนเซอร์มีแหล่งกำเนิดพลังงาน

### 2.3.3 ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย



รูปที่ 2.2 แสดงระดับชั้นเครือข่ายของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

โปรโตคอลสแตกหรือระดับชั้นเครือข่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ให้ความสำคัญกับพลังงานมากเพราะเซนเซอร์ไร้สายมักมีแหล่งพลังงานที่จำกัดทำให้พลังงานมีผลมากกับเซนเซอร์ไร้สายและเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในด้านการออกแบบจึงปรับปรุงโปรโตคอลสแตกของ Open Systems Interconnection (OSI) model โดยแบ่งเป็นสามชั้นและหนึ่งระนาบดังรูป แต่ละชั้นจะทำหน้าที่เฉพาะของตัวเองคอยให้ความช่วยเหลือชั้นบนและขอความช่วยเหลือจากชั้นล่างที่ติดกับชั้นตัวเองส่วนระนาบซึ่งเชื่อมโยงกับทุกชั้นจะควบคุมบริหารจัดการในทุกๆ ชั้นให้ทำงานตามวัตถุประสงค์ของระนาบนั้นๆ อย่างไรก็ตาม การใช้งานที่แตกต่างกันก็ส่งผลถึงรูปแบบโปรโตคอลสแตกที่แตกต่างกัน

1) ชั้นกายภาพ (Physical Layer) รับผิดชอบการรับ ส่งสัญญาณไร้สายในด้านกายภาพ เช่นช่วงความถี่สัญญาณ การมอดูเลต การเข้ารหัสระดับช่องสัญญาณ ชั้นกายภาพในประเทศไทยจะใช้ช่วงความถี่สาธารณะและกำลังส่งตามกฎหมายกำหนด

2) ชั้นเชื่อมต่อข้อมูล (Data Link Layer) รับผิดชอบการรับ ส่งข้อมูลระหว่างเซนเซอร์ข้างเคียง การเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Medium Access Control; MAC) การควบคุมข้อผิดพลาดของข้อมูล เพื่อให้การสื่อสารระหว่างหน่วยร่วมเซนเซอร์ถูกต้องและเชื่อถือได้ ปัจจุบันการเข้าใช้ช่องสัญญาณของหน่วยร่วมเซนเซอร์จะเป็นแบบสุ่มเข้าใช้งาน ที่เป็นเช่นนี้เพราะการใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายประกอบไปด้วยหน่วยร่วมเซนเซอร์อยู่เป็นจำนวนมากและไม่มีโครงสร้างที่แน่นอนทำให้การควบคุมแบบรวมศูนย์ทำได้ยาก และการใช้ช่องสัญญาณแบบสุ่มทำให้เกิดความเท่าเทียมกันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ

3) ชั้นเครือข่าย (Network Layer) รับผิดชอบการรับ ส่งข้อมูลระดับเครือข่าย เนื่องจากเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายใช้การส่งข้อมูลแบบมัลติฮอปเพื่อส่งข้อมูลจากหน่วยร่วมเซนเซอร์ไปยังสถานีฐานการคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมในการส่งข้อมูลเป็นหน้าที่หลักของชั้นนี้

4) ระนาบพลังงาน (Power Plane) รับผิดชอบควบคุมการใช้พลังงานในชั้นต่างๆของหน่วยร่วมเซนเซอร์และเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายให้มีประสิทธิภาพโดยอาจประสานงานข้ามชั้นเช่นหน่วยร่วมเซนเซอร์ที่เหลือพลังงานน้อย อาจลดพลังงานในการส่งข้อมูลในชั้นกายภาพโดยประสานงานกับชั้นเครือข่ายเพื่อเลือกเส้นทางที่ควรส่งข้อมูลในกรณีที่ระยะส่งข้อมูลลดลงเนื่องจากการลดพลังงานในการส่งข้อมูล

### 2.3.4 มาตรฐานระบบเครือข่าย

มาตรฐานระบบเครือข่ายที่ใช้ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายจะเป็นมาตรฐานเฉพาะกลุ่มที่พัฒนาขึ้นและเริ่มใช้ในงานวิจัยและงานจริง ซึ่งแตกต่างจากกรณีของอินเทอร์เน็ต

Zigbee ถูกพัฒนาโดย Zigbee Alliance บนมาตรฐานของ IEEE 802.15.4 ความถี่ที่ใช้คือความถี่สาธารณะ 2.4 GHz ความเร็วด้านกายภาพ 250 Kbps และระยะทำการ 10 – 75 เมตร Ultrawide Band มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุดถึง 480 Mbps ที่ระยะทาง



ประมาณ 2 เมตร และความเร็ว 110 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 10 เมตร และได้รับการกำหนดให้อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.3a โดยมีย่านความถี่ที่ถูกกำหนดโดย Federal Communications Commission (FCC) อยู่ที่ 3.1 - 10.6 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่เดียวกันกับการสื่อสารผ่านดาวเทียม

Bluetooth เป็นมาตรฐานที่แตกต่างจากข้อกำหนดของมาตรฐานชุด IEEE 802.11 โดยเป้าหมายในการพัฒนานี้เพื่อความยืดหยุ่นในการใช้งานและใช้กับระบบเครือข่ายขนาดเล็กๆที่เรียกว่า PAN (Personal Area Network) ซึ่งขนาดของ Throughput เท่ากับ 500 Kbps และมีรัศมีการส่งสัญญาณที่ 10 เมตร

### 2.3.5 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย แบ่งออกเป็น 5 ด้านหลัก

#### 1) ด้านวิศวกรรมทั่วไป

- การติดตั้งเครื่องมือสื่อสารภายในรถยนต์
- การใช้เซนเซอร์โดยมีคีย์บอร์ดเป็นตัวสัมผัสปลายนิ้วมือ
- ตัวตรวจจับและการดูแลรักษาภายในโรงงานอุตสาหกรรม
- สำนักงานอัจฉริยะ
- การตรวจสินค้าภายในร้านค้าหรือห้างสรรพสินค้า
- การรักษาความปลอดภัยด้านที่อยู่อาศัยและทรัพย์สิน

#### 2) การควบคุมด้านเกษตรกรรมและสิ่งแวดล้อม

- การทำการเกษตรกรรมโดยมีความถูกต้องเที่ยงตรง
- การสำรวจพืชผลทางการเกษตร
- การควบคุมภูมิศาสตร์ทางกายภาพ
- การควบคุมคุณภาพน้ำ
- การควบคุมจำนวนที่ฟักอาศัย
- การตรวจจับภัยพิบัติต่างๆ
- การขนส่งสิ่งเจือปน

#### 3) ด้านวิศวกรรมโยธา

- การควบคุมงานโครงสร้าง
- การวางแผนผังเมือง
- การฟื้นฟูปัญหาภัยพิบัติต่างๆ
- การควบคุมและการจัดการอย่างมีคุณค่า
- ใช้ในการสูบน้ำและการทำสงคราม
- การป้องกันภัยต่างๆ

#### 4) ด้านควบคุมสุขภาพและการผ่าตัด

#### ด้านตัวตรวจวัดด้านการแพทย์

- การวัดอุณหภูมิของร่างกาย
- การวัดความดันโลหิต
- การวัดชีพจร

#### 5) ด้านการผ่าตัดขนาดเล็ก

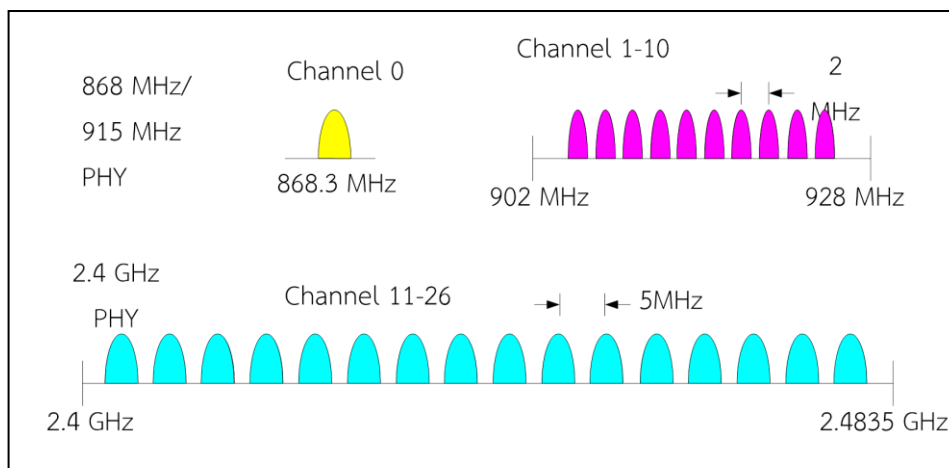
- MEMS-Based Robots

เนื่องจากลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไปเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายจึงมีระบบเครือข่ายที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น ในระบบเตือนภัย ระบบนี้ต้องการความเร็วในการส่งสูง ระบบวัดและควบคุมทางการเกษตร ระบบนี้เครือข่ายไม่ต้องการความเร็วสูงในการส่งข้อมูล แต่จะส่งข้อมูลตลอดเวลาโดยอาจมีการรวมข้อมูลในระหว่างเส้นทางการเดินทางของข้อมูลเพื่อลดจำนวนครั้งของการสื่อสารและประหยัดพลังงาน รวมทั้งระบบการสื่อสารระยะสั้นเช่นเซนเซอร์ มักมีการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลในระยะสั้นๆไม่กี่ไกลมาก แต่มีประสิทธิภาพในการทำงานได้เป็นอย่างดี จึงมีการศึกษาค้นคว้าพัฒนาระบบขึ้นเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานในชีวิตประจำวันให้เกิดประโยชน์ดังเช่น Bluetooth Zigbee รวมทั้ง Ultrawide Band โดยในส่วนถัดไปจะกล่าวถึง Zigbee ที่ได้ใช้ใน งานวิจัยนี้

## 2.4 เทคโนโลยีไร้สาย Zigbee

Zigbee มาตรฐานสากล กำหนดโดย Zigbee Alliance [14] เป็นการสื่อสารแบบไร้สายที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ ใช้พลังงานต่ำ ราคาถูก จุดประสงค์ก็เพื่อให้สามารถสร้างระบบที่เรียกว่า Wireless Sensor Network ได้ ซึ่งระบบนี้ จะสามารถทำงาน ในร่ม กลางแจ้ง ทนแดด ทนฝน และอยู่ได้ด้วยแบตเตอรี่ก้อนเล็ก (เช่นถ่าน AA 2 ก้อน) นานเป็นเดือน เป็นปี เหมาะสมใช้งานกับพวก Monitoring ต่าง ๆ Zigbee กำหนด ย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่คือ ย่าน 2.4 GHz, ย่าน 915 MHz และย่าน 868 MHz โดยแต่ละย่านจะมีช่องสัญญาณ 16 ช่อง, 10 ช่อง และ 1 ช่อง ตามลำดับ ดังแสดงรูปที่ 2.3 ส่วนอัตรารับส่งข้อมูล จะอยู่ที่ 250 Kbps, 40 Kbps , 20 Kbps ตามลำดับเช่นกัน โดยในพื้นที่โล่งระยะสื่อสารประมาณ 200 เมตร สำหรับในอาคารมีระยะสื่อสารประมาณ 30 เมตร สามารถเพิ่มระยะสื่อสารได้โดยการเพิ่ม Intermediate Node หรือ Router

Zigbee นำ Physical Layer และ MAC Layer ของ IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานการกำหนดการสื่อสารไร้สายแบบ WPAN (Wireless Personal Area Network) มาทำงานใน Layer ที่ต่ำกว่า (2 Layer ล่างสุด) เช่น เรื่องของระดับกำลังสัญญาณ Link Quality Access control Security แต่ใน Layer ถัดไปจะเป็นรูปแบบของ Zigbee



รูปที่ 2.3 ย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐาน Zigbee

Zigbee สามารถสร้างเป็นเครือข่ายได้ ทั้งนี้ Zigbee ได้อ้างอิงมาตรฐานตาม IEEE 802.15.4 โดยแบ่งชนิดอุปกรณ์ในเครือข่ายออกเป็น 2 ประเภท คือ FFD (Full Function Device) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ทุกอย่างในเครือข่าย และ RFD (Reduce Function Device) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ถูกลดความสามารถการทำงานในเครือข่าย IEEE 802.15.4 รูปแบบอุปกรณ์ ดังนี้

#### Network Coordinator

- รักษาข้อมูลทั้งหมดของระบบ
- มีความซับซ้อนมากที่สุดในกระบวนการแผนภูมิต้นไม้
- ใช้หน่วยความจำและกระบวนการคำนวณมาก

#### Full Function Device (FFD)

- ใช้โหมดการทำงานของ IEEE 802.15.4 และลักษณะเฉพาะเจาะจงทั้งหมดโดยมาตรฐาน
- เพิ่มความจำ กำลังงานคำนวณทำให้เป็นอุดมคติสำหรับ Network Router Function
- สามารถใช้ใน Network Edge Devices ในขณะที่เครือข่ายติดต่อกับเครือข่ายอื่นๆ หรืออุปกรณ์ที่ไม่ได้ขึ้นอยู่กับ IEEE 802.15.4

#### Reduced Function Device (RFD)

- มีการจำกัดรูปแบบการทำงานที่ควบคุมเรื่องความซับซ้อน
- การใช้งานทั่วไปจะใช้ใน Network Edge Devices

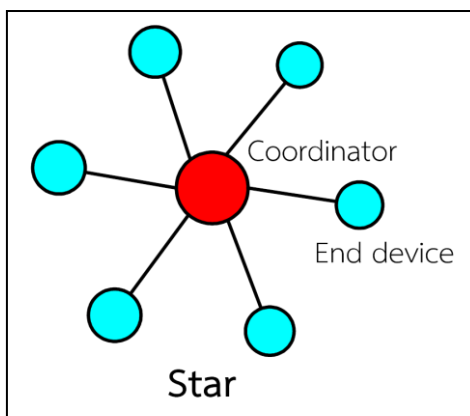
มาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานสำหรับการสื่อสารระยะใกล้ที่เน้นการใช้พลังงานต่ำ และเน้นการสื่อสารที่ทนต่อสภาพสัญญาณรบกวนสูงและเน้นที่ความง่ายเพื่อให้ชีพการสื่อสารมีราคาถูก ส่วนมาตรฐาน Zigbee เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับการติดต่อเครื่องเซนเซอร์ชนิดต่างๆ เพื่อการพัฒนาแอปพลิเคชันเช่นเครื่องเซนเซอร์สำหรับ Home Automation ที่มีการสื่อสาร

ระหว่างเซนเซอร์ประตู่ การสื่อสารแบบ Zigbee กับกล้องเพื่อบันทึกภาพคนที่เข้ามาในบ้านเป็นแบบ Multi-Hop Routing ที่สามารถส่งข้อมูลไปยังเครื่องเซนเซอร์ที่ต้องการโดยผ่านเครื่องเซนเซอร์ตัวอื่นๆ ซึ่งคุณสมบัตินี้ไม่ได้รับการสนับสนุนในบลูทูธ การสื่อสารแบบ Zigbee ช่วยให้ขยายรัศมีการส่งของข้อมูลออกไปได้ Zigbee สำหรับในชั้นเน็ตเวิร์ค (Network Layer) ของ Zigbee จะอยู่บนพื้นฐานของระบบมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งในชั้นเน็ตเวิร์ค สามารถรองรับได้ 3 แบบ คือแบบสตาร์ (Star) แบบเมชและวงแหวน (Ring Topology) การค้นหาเส้นทางด้วยตัวเอง (Multiple Routing Algorithms) เมื่อมีการเพิ่มจำนวนของเครื่องเซนเซอร์จากที่ Zigbee รองรับโทโพลยีแบบเมช ซึ่งในตัว Zigbee นี้จะต้องมีโปรโตคอล (Aodv Protocol) ซึ่งการทำงานของ Aodv Protocol คือ การส่งข้อความ (Message) ผ่านไปยังโนดข้างเคียง (Neighbor Node) เพื่อไปยังโนดที่ต้นทางไม่สามารถติดต่อได้โดยตรง ในระหว่างทางที่ข้อความถูกส่งผ่านไปโปรโตคอล Aodv ก็จะทำการค้นหาเส้นทางไปด้วย โดยเชื่อว่าจะไม่เกิดการวนลูป (Loop) และพยายามหาเส้นทางที่สั้นที่สุด เพื่อประหยัดเวลาในการส่งข้อมูลและโปรโตคอล Aodv (Ad-hoc On-Demand Distance Vector Protocol) ยังสามารถที่จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงของเส้นทาง (Route) และสามารถสร้างเส้นทางใหม่ได้หากเกิดข้อผิดพลาด ในงานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Xbee ซึ่งมีคุณลักษณะสมบัติที่ตรงตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ทุกประการ

#### 2.4.1 โครงสร้างของโปรโตคอล Zigbee

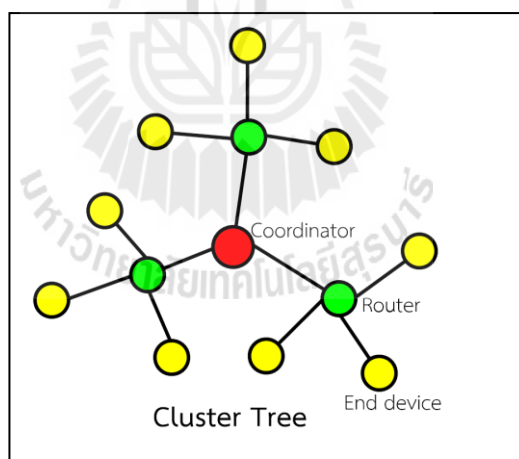
Application Layer เป็นชั้นที่มีส่วน ของการทำงานบนเฟรม (Application Framework) ทำหน้าที่จัดการในการเข้าถึงและใช้งานบนเลเยอร์นั้น Application Support Sub-Layer ทำหน้าที่ในการสร้างเฟรม (Frame) และทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูล Network Layer ทำหน้าที่ใช้ในการหาเส้นทาง (Routing) ข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางที่อาจอยู่ภายในเครือข่ายเดียวกันหรือต่างเครือข่ายกัน

เครือข่ายแบบสตาร์ (Star Network) ประกอบด้วยจุดเชื่อมต่อโปรโตคอล Zigbee 1 จุด และอุปกรณ์ปลายทางหลาย ๆ จุด ในเครือข่ายแบบสตาร์ อุปกรณ์ปลายทางทั้งหมดจะสื่อสารกับอุปกรณ์เชื่อมต่อเท่านั้นถ้าอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งต้องการสื่อสารกับอุปกรณ์ปลายทางอื่น ๆ ต้องส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ อุปกรณ์เชื่อมต่อทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยังผู้รับ ดังรูปที่ 2.4



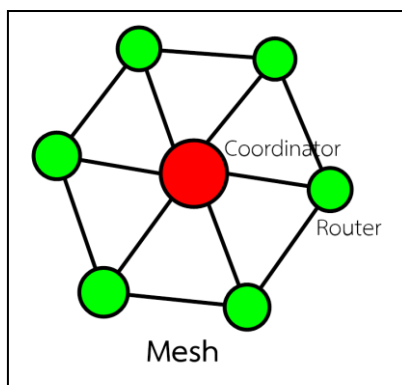
รูปที่ 2.4 เครือข่ายแบบสตาร์

เครือข่ายแบบต้นไม้ (Cluster Tree) ในเครือข่ายนี้ อุปกรณ์ปลายทางจะสามารถเชื่อมต่อได้กับอุปกรณ์เชื่อมต่อหรือ Zigbee โปรโตคอลเรทเตอร์ทำหน้าที่ 2 ประเภท คือเพิ่มจำนวนโหนดที่สามารถเชื่อมต่ออยู่บนเครือข่ายและขยายขนาดของเครือข่ายเนื่องจากเรทเตอร์จะทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยังจุดต่างๆ ของเครือข่ายได้โดยที่อุปกรณ์ปลายทางไม่จำเป็นต้องอยู่ในระยะการส่งสัญญาณวิทยุ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เครือข่ายแบบต้นไม้

เครือข่ายแบบเมช (Mesh Network) เครือข่ายแบบเมชใช้กับเครือข่ายแบบต้นไม้ ยกเว้นอุปกรณ์ FFD สามารถส่งข้อมูลไปยัง FFD อื่นได้โดยตรงไม่ต้องผ่านโครงสร้างต้นไม้ ข้อมูลที่ส่งไปยัง RFD จะต้องทำการต่อผ่านอุปกรณ์ RFD ก่อนหน้าข้อดีของการเชื่อมต่อแบบนี้คือช่วยลดอัตราความล่าช้าของการส่งและเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เครือข่ายแบบเมช

เครือข่ายแบบต้นไม้และเครือข่ายแบบเมช มีอีกชื่อว่า เครือข่ายหลายจุด (Multi-Hop) ขณะที่เครือข่ายแบบสตาร์เป็น เครือข่ายจุดเดียว (Single-Hop) เครือข่ายโพรโทคอล Zigbee เป็นเครือข่ายแบบเชื่อมต่อได้หลายอุปกรณ์พร้อมกันซึ่งหมายความว่าจุดเชื่อมต่อในเครือข่ายทุกจุดมีสิทธิในการเข้าถึงตัวกลางที่ใช้ในการสื่อสารเท่าๆกัน มีวิธีการเชื่อมต่อแบบหลายอุปกรณ์พร้อมกัน 2 วิธี ได้แก่ Beacon และ Non-Beacon การเชื่อมต่อแบบ Non-Beacon ทุกจุดเชื่อมต่อในเครือข่ายส่งข้อมูลได้ตลอดเวลาที่ช่องสัญญาณว่างอยู่ในเครือข่ายแบบ Beacon จุดเชื่อมต่อจะสามารถส่งข้อมูลได้ในช่วงเวลาที่ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าเท่านั้น

#### 2.4.2 การทำงานของ Zigbee

แบ่งได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

- 1) Coordinator มีหน้าที่สร้างการสื่อสาร เชื่อมโยงเครือข่าย ระหว่าง End Device กับ Router หรือ Coordinator กับ Coordinator ด้วยกัน หรือ Coordinator กับ Router กำหนดตำแหน่งที่อยู่ ให้กับอุปกรณ์ที่อยู่ในเครือข่าย ไม่ให้ซ้ำกัน ดูแลจัดการเรื่องการจัดการ เส้นทาง ซึ่งเทียบได้กับ FFD
- 2) End Device เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุด ซึ่งจะใช้รับสัญญาณจากเซนเซอร์ที่ปลายทาง โดยที่ใช้พลังงานต่ำในการทำงาน เทียบได้กับ RFD หรือ FFD บางกรณี ขึ้นอยู่กับเซนเซอร์ที่ใช้
- 3) Router มีหน้าที่ รับส่งข้อมูล ในเส้นทางต่าง ๆ ของเครือข่ายและหาเส้นทางที่ใกล้ที่สุดซึ่งจะต้องใช้เวลาที่น้อยที่สุด

#### 2.5 การบีบอัดข้อมูล

การบีบอัดข้อมูล (Data Compression) เป็นวิธีการลดขนาดของข้อมูลให้มีขนาดเล็กลง เพื่อช่วยลดความคับคั่งในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย และสามารถลดพลังงานในการส่งข้อมูลทำให้ อุปกรณ์ของระบบสามารถใช้งานได้เป็นเวลานาน ซึ่งการแปลงเวฟเล็ตเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ช่วยลด

ขนาดของข้อมูล ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาวิธีการดังกล่าว เนื่องจากการบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ได้มีการทำงานในระบบสมองกลฝังตัว ซึ่งมีหน่วยความจำและพลังงานที่จำกัด การแปลงเวฟเล็ตจึงเหมาะกับการนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

### 2.5.1 การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform)

การแปลงเวฟเล็ต [10] เป็นแนวความคิดใหม่ที่เพิ่งเกิดขึ้น ซึ่งถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้กับสัญญาณหรือสัญญาณภาพที่ต้องการข้อมูลทางด้านเวลาและความถี่ โดยใช้หลักในการแทนคลื่นใด ๆ ด้วยคลื่นเล็ก ๆ ที่มีความยาวและพลังงานจำกัดทำให้ได้ทั้งเวลาและความถี่ของคลื่นใด ๆ นั้น การแปลงเวฟเล็ตได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาที่ไม่สามารถกระทำได้ใน การแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) บ่อยครั้งที่การแปลงเวฟเล็ตถูกนำไปเปรียบเทียบกับ การแปลงฟูเรียร์ จุดแตกต่างหลักของการแปลงทั้งสอง คือ การแปลงเวฟเล็ตเป็นการพิจารณาความถี่ที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา ทำให้ผลลัพธ์การแปลงที่ได้ให้ข้อมูลทั้งในแกนเวลาและแกนความถี่ ในขณะที่การแปลงฟูเรียร์เป็นการพิจารณาความถี่โดยรวมตลอดสัญญาณอินพุต อย่างไรก็ตามก็มีความพยายามที่จะเปรียบเทียบการแปลงเวฟเล็ตกับการแปลงฟูเรียร์ในช่วงเวลาสั้นๆ (Short Time Fourier Transform; STFT) ซึ่งพิจารณาข้อมูลทั้งเวลาและความถี่โดยอาศัยการเลื่อนหน้าต่างเพื่อทำการแปลง เมื่อเปรียบเทียบผลการแปลงสัมประสิทธิ์ด้วยเทคนิคทั้งสองแล้ว การแปลงเวฟเล็ตจะให้ผลลัพธ์การเป็นตัวแทนสัญญาณได้ดีกว่าโดยผ่านทาง การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายความละเอียด (Multiresolution Analysis)

เวฟเล็ต เป็นการวิเคราะห์สัญญาณแบบ Multiresolution โดยการแปลงเวฟเล็ตจะได้ผลลัพธ์เป็นค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต (Wavelet Coefficient) การแปลงเวฟเล็ตจะเป็นการแปลงค่าสัมประสิทธิ์ผ่านฟังก์ชันหน้าต่าง แต่ฟังก์ชันหน้าต่างนี้สามารถเลื่อนตำแหน่งและปรับเปลี่ยนช่วงเวลาให้เหมาะสมกับความถี่ที่จะวิเคราะห์ โดยเรียกฟังก์ชันหน้าต่างนี้ว่า ฟังก์ชันเวฟเล็ต (Wavelet Function)

ทฤษฎีเวฟเล็ตใช้ในการอธิบายสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่เสมือนกับการแยกสิ่งเหล่านั้นออกเป็น ส่วนประกอบเล็ก ๆ ที่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งอยู่ในรูปของเวฟเล็ตที่ถูกปรับขนาดและเลื่อนตำแหน่งและมีค่าถ่วงน้ำหนัก (สัมประสิทธิ์เวฟเล็ต) ต่างๆ กันขึ้นอยู่กับเวฟเล็ตแต่ละตัว การทำส่วนการแปลงกลับเวฟเล็ต (Inverse Wavelet Transform; IWT) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การแปลงกลับเวฟเล็ต (Wavelet Reconstruction)

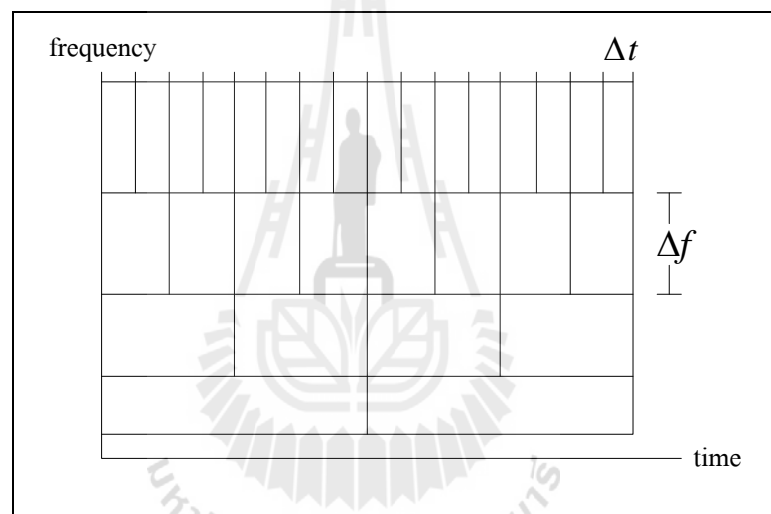
ให้  $f(t)$  เป็นสัญญาณที่ประกอบด้วยหลายความถี่ ถ้าเราพิจารณาในรูปแบบ 2 มิติ โดยแกนหนึ่งเป็นแกนเวลา และอีกแกนหนึ่งเป็นแกนของความถี่ ดังนั้นสามารถเขียนสมการสำหรับการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (CWT) ที่ใช้ในการแตกกระจายเวฟเล็ตของสัญญาณของฟังก์ชันใด ๆ  $f(t)$  ด้วยเวฟเล็ตแม่  $M(t)$  เป็นดังนี้

$$W_M(a, b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) M^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt \quad (2.1)$$

โดย \* คือ Complex Conjugate ของ  $M(t)$

$M(t)$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตที่ได้เป็นผลลัพธ์

ค่า  $M(t)$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้เป็นผลลัพธ์ ซึ่งอาจมองได้ว่าเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Cross-Correlation) ระหว่างสัญญาณที่พิจารณา  $f(t)$  และฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ (Mother Wavelet) โดย  $M(t)$  ที่ถูกเลื่อนตำแหน่งด้วยพารามิเตอร์  $b$  และสเกลความถี่ด้วยพารามิเตอร์  $a$  ซึ่งจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงเวลาและความถี่ที่สัมพันธ์กันคือ ในช่วงเวลาความถี่สูงจะใช้ช่วงเวลาการวิเคราะห์สั้นและในช่วงความถี่ต่ำจะมีช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่ยาวนานขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.7 ซึ่งเหมาะสมกับลักษณะสัญญาณในทางปฏิบัติ



รูปที่ 2.7 ระยะเวลาและความถี่การเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาและความถี่ที่สัมพันธ์กันของการแปลงเวฟเล็ต [10]

### 2.5.2 การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform; DWT)

การแปลงเวฟเล็ตสามารถทำได้ทั้งแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform; CWT) และแบบไม่ต่อเนื่อง แต่ในที่นี้กล่าวเฉพาะการแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่องเท่านั้น ฟังก์ชันการแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่องนี้เป็นการปรับสเกลความถี่ (Scale) และค่าการเลื่อนตำแหน่ง (Translate) ที่ไม่ต่อเนื่องด้วย โดยการแปลงเวฟเล็ตจะทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแปลง  $DWT_{j,k}$  จากการหาความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุต  $f(x)$  กับฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่  $M(x)$  ที่เลือกใช้ในแต่ละสเกล ( $j$ ) และการเลื่อนตำแหน่ง ( $k$ ) ดังสมการที่ 2.2 และสมการที่ 2.3



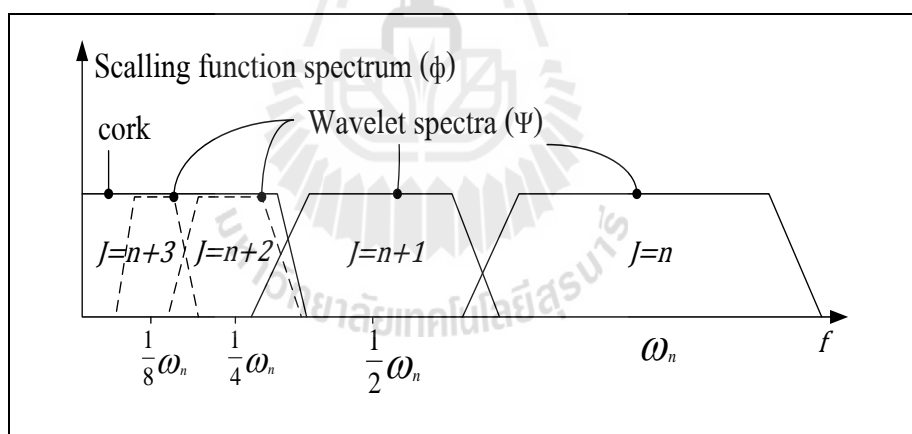
การเลื่อนตำแหน่ง ( $k$ ) ของฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ ซึ่งแน่นอนย่อมถูกจำกัดด้วยช่วงของสัญญาณที่ทำการวิเคราะห์  $[0, N - 1]$  แต่เมื่อพิจารณาขอบเขตการปรับความถี่ของฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ จะพบว่าเมื่อเราทำการปรับขนาดของฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ในแกนเวลาด้วยน้ำหนักกำลังสอง ( $2^j$ ) เทียบได้กับการลดขอบเขตช่วงของความถี่ลงครึ่งหนึ่ง จากคุณสมบัติฟูรีเยร์ในสมการที่ 2.4

$$DWT_{j,k} = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[ 2^j \sum_{x=0}^{N-1} f(x) W_{j,k}(x) \right] \quad (2.2)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{N}} \left[ 2^j \sum_{x=0}^{N-1} f(x) M(2^j x - k) \right] \quad (2.3)$$

$$F\{f(at)\} = \frac{1}{|a|} F\left(\frac{\omega}{a}\right) \quad (2.4)$$

ดังนั้นการยืดขยายฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ไปสองเท่าจะเป็นการลดช่วงกว้างของความถี่ที่วิเคราะห์ลงครึ่งหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การลดช่วงกว้างของความถี่ที่ละครึ่งหนึ่งสำหรับค่าแต่ละค่าสเกล [10]

ดังนั้นหากต้องการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความถี่เวฟเล็ตย่อยลงไปในลักษณะที่ความถี่ถูกปรับลดลงทีละครึ่ง และต้องการวิเคราะห์ความถี่ต่ำที่ความถี่ศูนย์  $f = 0$  จำเป็นต้องทำการแบ่งช่วงความถี่ย่อยลงไปถึงจำนวนอนันต์ค่า จึงจะสามารถวิเคราะห์ความถี่ต่ำลงไปจนครอบคลุมถึงความถี่ศูนย์ได้ ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นใช้เวลานานเกินไป และถ้าเป็นในกรณีของสัญญาณไม่ต่อเนื่องนั้นเป็นไปได้เลยที่จะทำการวิเคราะห์ความถี่ศูนย์ได้ ดังนั้นสามารถวิเคราะห์ความถี่ต่ำที่ผ่านตำแหน่งความถี่

ศูนย์ (Low Pass Spectrum) แยกออกจากช่วงความถี่สูง (High Pass Spectrum) แทนการพยายามวิเคราะห์ความถี่ย่อยลงเป็นจำนวนอนันต์ครั้ง โดยฟังก์ชันที่วิเคราะห์ช่วงความถี่ต่ำเรียกว่า สเกลลิงฟังก์ชัน (Scaling Function;  $S(f)$ ) และฟังก์ชันที่วิเคราะห์ช่วงความถี่สูงจะเรียกว่า เวฟเล็ตฟังก์ชัน (Wavelet Function;  $W(t)$ )

### สเกลลิงฟังก์ชัน (Scaling Function)

คุณสมบัติของสเกลลิงฟังก์ชันค่าโมเมนต์ที่ศูนย์จะต้องไม่เป็นศูนย์ ดังแสดงในสมการที่

2.5

$$\int_{-\infty}^{\infty} S(t)dt = 1 \quad (2.5)$$

สามารถทำการแปลงสัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำของเวฟเล็ต (Scaling Coefficients;  $DWT_s$ ) ด้วยสเกลลิงฟังก์ชัน  $S(t)$  ดังแสดงในสมการที่ 2.6

$$DWT_s(j_0, k) = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[ 2^{j_0/2} \sum_{x=0}^{N-1} f(x)S(2^{j_0}x - k) \right] \quad (2.6)$$

โดย  $j_0$  คือ ค่าสเกลความถี่สิ้นสุดของสเกลลิงฟังก์ชัน

$k$  คือ ค่าตำแหน่งการเลื่อน

### เวฟเล็ตฟังก์ชัน (Wavelet Function)

$$DWT_w(j, k) = \frac{1}{\sqrt{N}} [2^{j/2}] \sum_{x=0}^{N-1} f(x)W(2^j x - k) \quad (2.7)$$

โดย  $j$  คือ ค่าสเกลความถี่เริ่มต้นที่  $j_0$

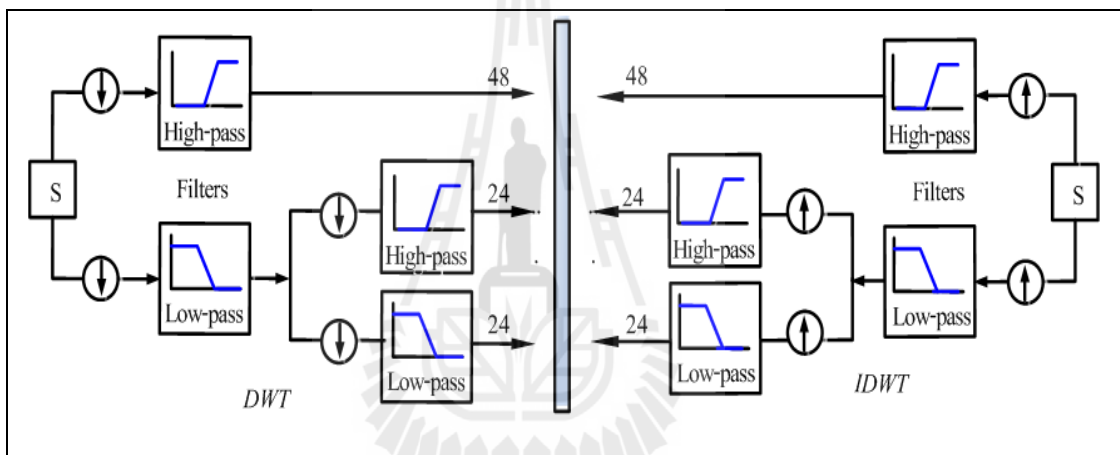
$k$  คือ ค่าตำแหน่งการเลื่อน

การแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตด้วยสเกลลิงฟังก์ชันและเวฟเล็ตฟังก์ชัน และบางครั้งถูกเรียกว่า การแยกองค์ประกอบความถี่ของเวฟเล็ต (Wavelet Decomposition) ในบางครั้งสเกลลิงฟังก์ชันอาจเรียกว่า ฟังก์ชันการประมาณค่า (Approximation Function) ในขณะที่เวฟเล็ตฟังก์ชันอาจเรียกว่า ฟังก์ชันรายละเอียด (Detail Function) ได้เช่นกัน

### 2.5.3 การแปลงกลับเวฟเล็ท (Inverse Discrete Wavelet Transform)

การแปลงเวฟเล็ทเพื่อทำการสร้างคืน (Reconstruction) สัญญาณอินพุตต้นฉบับ  $f(x)$  โดยการคำนวณผลรวมของความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ทและฟังก์ชันการแปลงสัมประสิทธิ์จากทางสเกลถึงฟังก์ชันและเวฟเล็ทฟังก์ชันของแต่ละสเกล ( $j$ ) และการเลื่อนตำแหน่ง ( $k$ ) ดังแสดงในสมการที่ 2.8

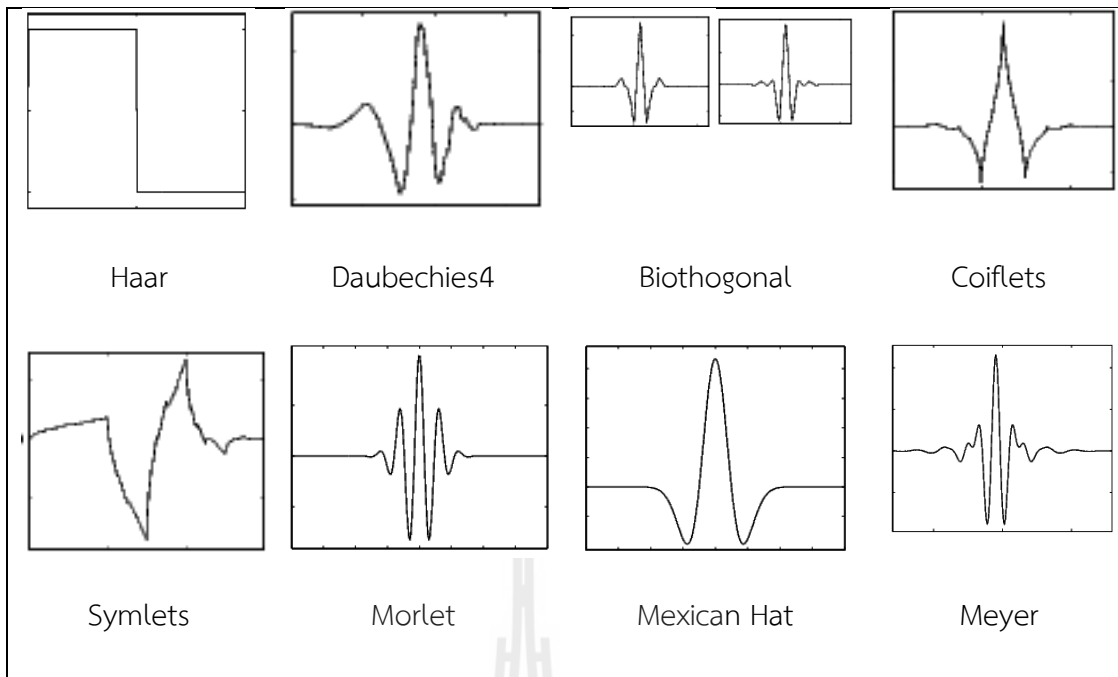
$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_k DWT_s(j_0, k) 2^{j_0/2} S_{j_0, k}(2^{j_0} x - k) + \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{j=j_0}^{\infty} \sum_k DWT_w(j, k) 2^{j/2} W_{j, k}(2^j x - k) \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.9 การแตกกระจายสัญญาณและการรวมกลับสัญญาณของเวฟเล็ท

### 2.5.4 ฟังก์ชันเวฟเล็ทแม่ (Mother Wavelet)

ฟังก์ชันเวฟเล็ทแม่เป็นฟังก์ชันต้นแบบที่จะถูกนำไปใช้เพื่อแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ทสำหรับแต่ละสเกลและตำแหน่ง โดยมีผู้นำเสนอฟังก์ชันเวฟเล็ทแม่หลากหลายฟังก์ชัน ตัวอย่างเช่น Haar, Daubachies, Gaussian or Spline, Biorthogonal, Mexican Hat, Coiflet Wavelet เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.10



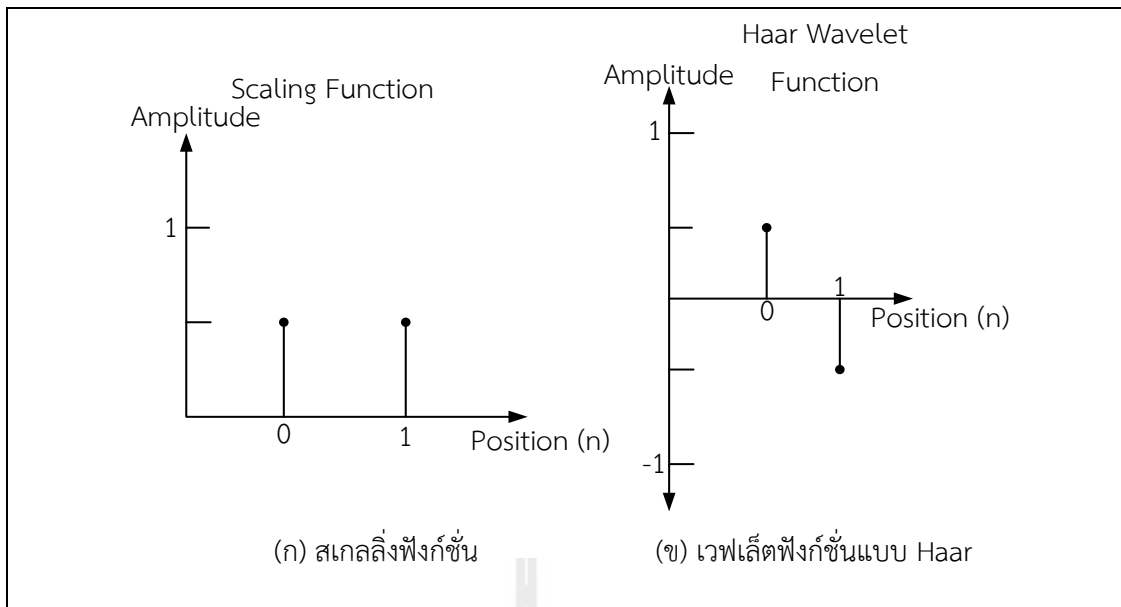
รูปที่ 2.10 ฟังก์ชันเวฟเลตแม่ชนิดต่างๆ

### 1) ฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ Haar (Haar Mother Wavelet)

ฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ Haar เป็นฟังก์ชันเวฟเลตที่นำมาประยุกต์ใช้ได้ง่ายที่สุด ใช้เวลาในการประมวลผลสั้นและใช้หน่วยความจำในการคำนวณอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้อะเรย์ชั่วคราว (Temporary Array) ในการเก็บข้อมูลระหว่างการประมวลผล ดังเช่นฟังก์ชันเวฟเลตแม่ตัวอื่นๆ นอกจากนี้ฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ Haar ยังมีคุณสมบัติตั้งฉาก (Orthogonality) นั่นคือ ฟังก์ชันเวฟเลตทุกฟังก์ชันจะตั้งฉากกันทั้งหมด โดยค่าของฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ Haar เป็นดังสมการที่ 2.9

$$gH(t) = \begin{cases} 1 & 0 < t < 1/2 \\ -1 & 1/2 < t < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.9)$$

ค่าของฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ Haar จะทำการหาค่าเฉลี่ยและค่าผลต่างของข้อมูลในตำแหน่งข้างเคียง โดยค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตในช่วงความถี่ต่ำ และค่าผลต่างที่คำนวณได้จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตในช่วงความถี่สูง



รูปที่ 2.11 คุณสมบัติของเวฟเล็ทแบบ Haar [10]

## 2) ฟังก์ชันเวฟเล็ทแม่แบบ Daubechies (Daubechies Mother Wavelet)

ฟังก์ชันแม่ของการแปลงเวฟเล็ทแบบนี้ เรียกชื่อตามนักคณิตศาสตร์ผู้คิดค้นคือ Ingrid Daubechies เป็นหนึ่งในกลุ่มของฟังก์ชันเวฟเล็ทแม่ที่มีคุณสมบัติตั้งฉาก (Orthogonal Wavelet) โดยเป็นฟังก์ชันไม่ต่อเนื่อง (Discrete Function) ที่คุณสมบัติของฟังก์ชันถูกกำหนดด้วยจำนวนค่าของโมเมนต์ที่หายไป (Vanishing Moment) สูงสุด ตามเงื่อนไขต่อไปนี้

1. ฟังก์ชันพื้นฐาน  $D_M$  มีคุณสมบัติมีค่ากระชับ (Compact Support) ในช่วง  $[0, 2r+1]$  และจะเข้าสู่ศูนย์เมื่อออกนอกช่วง
2. ค่าโมเมนต์ลำดับที่  $0-r$  มีค่าเป็นศูนย์

$$\int_{-\infty}^{\infty} D_M(x) dx = \dots = \int_{-\infty}^{\infty} x^r D_M(x) dx = 0 \quad (2.10)$$

3. ฟังก์ชันพื้นฐาน  $D_M$  มีค่าอนุพันธ์ต่อเนื่องได้จนถึงอนุพันธ์อันดับที่  $r/5$

ฟังก์ชันเวฟเล็ทแบบ Daubechies มีตั้งแต่  $D_2 - D_{20}$  โดยค่าตัวเลขจะกำหนดจำนวนของสัมประสิทธิ์ทั้งหมดของฟังก์ชันเวฟเล็ท Daubechies แต่ละฟังก์ชันจะมีค่าโมเมนต์ที่หายไปเป็นจำนวนครึ่งหนึ่งของจำนวนค่าสัมประสิทธิ์ ตัวอย่างเช่น  $D_2$  หรือเทียบได้กับฟังก์ชันเวฟเล็ทแบบ Haar ซึ่งมีจำนวนโมเมนต์ที่หายไป 1 ค่า และเช่นเดียวกันกับ  $D_4$  จะมีจำนวนโมเมนต์ที่หายไป 2 ค่า

จำนวนค่าโมเมนต์ที่หายไปเป็นตัวกำหนดความสามารถในการแทนค่าสมการที่มีความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล (Polynomial) ของพฤติกรรมหรือข้อมูลของสัญญาณที่ต้องการ

พิจารณา ตัวอย่างเช่น  $D_2$  ที่มีเพียงโมเมนต์ค่าเดียวสามารถสร้างเป็นตัวแทนฟังก์ชันโพลิโนเมียลสำหรับหนึ่งสัมประสิทธิ์หรือแทนค่าได้เพียงองค์ประกอบที่คงที่ของสัญญาณเท่านั้น ในขณะที่  $D_4$  สามารถเข้ารหัสฟังก์ชันโพลิโนเมียลได้ 2 สัมประสิทธิ์ คือ ค่าคงที่และสัมประสิทธิ์เชิงเส้นขององค์ประกอบของสัญญาณและ  $D_6$  ทำให้เราสามารถประมาณสัญญาณที่อยู่ในรูปของฟังก์ชันโพลิโนเมียล 3 สัมประสิทธิ์ คือ ค่าคงที่ ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น และความสัมพันธ์เชิงซ้อนกำลังสอง (Second Order Polynomial) ขององค์ประกอบของสัญญาณที่ทำการวิเคราะห์

Daubechies สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นฟังก์ชันการกรองความยาวจำกัด (Finite Length Filter) ได้ง่าย ด้วยฟังก์ชันการกรองความยาวจำกัดนี้เป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงตำแหน่งเฉพาะพื้นที่ได้ (Spatial Domain Localization) และยังมีคุณสมบัติที่สามารถวิเคราะห์ความต่อเนื่องของการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันต่อการหาอนุพันธ์ต่อเนื่อง (Continuous Derivatives Analyze) และสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการเกิดสัญญาณรบกวนบริเวณขอบของการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลหรือเส้นขอบของวัตถุ (Edge Artifacts) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต มีลักษณะคล้ายกับการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วยตัวถ่วงน้ำหนักซึ่งค่าตัวถ่วงน้ำหนัก คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันเวฟเล็ตที่เลือกใช้นั้นเอง และด้วยการออกแบบที่เหมาะสมของค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบ Daubechies ทำให้สามารถรักษาแนวโน้มของข้อมูลได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตที่ความถี่ต่ำถึงแม้ว่าการแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตแบบ Daubechies อาจไม่สามารถให้ผลดีกว่าเวฟเล็ตแบบ Haar ได้ทุกรูปแบบของการประยุกต์ใช้งาน แต่มีงานวิจัยที่ศึกษาพบว่า การแปลงสัมประสิทธิ์ด้วยเวฟเล็ตแบบ Daubechies ให้ผลการวิเคราะห์สัญญาณได้ดีในหลากหลายรูปแบบการทดลอง จากการพิจารณารูปร่างของฟังก์ชันเวฟเล็ตแบบ Haar เทียบกับฟังก์ชันเวฟเล็ตแบบ Daubechies พบว่าสัญญาณที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด (Sharp Spike) สามารถวิเคราะห์ได้ดีกว่าด้วยเวฟเล็ตแบบ Daubechies นอกจากนี้ยังสามารถถ่ายโอนพลังงาน (Energy) ส่วนใหญ่ของสัญญาณไว้ในช่วงความถี่ต่ำและเหลือพลังงานปริมาณน้อยอยู่ในช่วงความถี่สูง ซึ่งแตกต่างจากฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบอื่น มีการถ่ายโอนพลังงานไปยังช่วงความถี่สูงมากกว่าเมื่อข้อมูลถูกบีบอัดในช่วงความถี่สูงนี้ มักจะถูกตัดทิ้งเพื่อลดขนาดของข้อมูล

### 3) ฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบ Biorthogonal (Biorthogonal Mother Wavelet)

ในการแยกองค์ประกอบหรือการหาสัมประสิทธิ์การแปลงฟังก์ชันพื้นฐานส่วนใหญ่ มักจะมีคุณสมบัติตั้งฉาก แต่ในความเป็นจริงฟังก์ชันพื้นฐานการแปลงไม่จำเป็นต้องมีคุณสมบัติตั้งฉากเสมอไป ดังนั้นเพื่อความยืดหยุ่นในการสร้างฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ที่จะใช้เป็นพื้นฐานในการแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตสามารถลดเงื่อนไขการตั้งฉาก เนื่องจากการออกแบบให้ฟังก์ชันเวฟเล็ตมีคุณสมบัติทั้งตั้งฉาก (Biorthogonal) กระจับ (Compactly Support) และสมมาตร (Symmetric) พร้อมๆ กันนั้นเป็นไปได้ยาก ส่วนใหญ่แล้วฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติกระจับและสมมาตรมักจะต้องสูญเสีย

คุณสมบัติตั้งฉากไป แต่การสูญเสียนี้อาจไม่ทำให้ผลร้ายแรงนัก ถ้าสามารถออกแบบฟังก์ชันการแปลงหลายระดับความละเอียด (Multi Resolution) เป็นฟังก์ชันชุดคู่ที่ประกอบด้วยฟังก์ชันหลัก (Primary Basic Function) และฟังก์ชันคู่เทียบ (Dual Basic Approximation) 2 ชุด คือ  $A_w(j)\tilde{A}_w(j)$  และฟังก์ชันเวฟเล็ตที่ใช้กรองสัญญาณความถี่สูง (Detail Wavelet;  $D_w(j)$ ) 2 ชุด คือ  $D_w(j), \tilde{D}_w(j)$  โดยเป็นฟังก์ชันชุดคู่

1. มีคุณสมบัติการตั้งฉากระหว่างฟังก์ชันคู่เทียบของตัวเอง

$$\langle A_w(t), \tilde{A}_w(t - k) \rangle = \delta(k) \quad (2.11)$$

$$\langle D_w(t), \tilde{D}_w(t - k) \rangle = \delta(k) \quad (2.12)$$

2. มีคุณสมบัติตั้งฉากระหว่างฟังก์ชันหลักของฟังก์ชันเวฟเล็ตกรองความถี่ต่ำ  $A_w(j)$  และฟังก์ชันคู่เทียบของฟังก์ชันเวฟเล็ตกรองความถี่สูง  $\tilde{D}_w(j)$

$$\langle A_w(t), \tilde{D}_w(t - k) \rangle = 0 \quad (2.13)$$

3. มีคุณสมบัติตั้งฉากระหว่างฟังก์ชันหลักของฟังก์ชันเวฟเล็ตกรองความถี่สูง  $D_w(j)$  และฟังก์ชันคู่เทียบของฟังก์ชันเวฟเล็ตกรองความถี่ต่ำ  $\tilde{A}_w(j)$

$$\langle D_w(t), \tilde{A}_w(t - k) \rangle = 0 \quad (2.14)$$

ฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ที่มีคุณสมบัติ Biorthogonal มีความสามารถในการรวบรวม (Capturing) ค่ากำลังของสัญญาณที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วด้วยการใช้จำนวนของค่าสัมประสิทธิ์ที่น้อย ดังนั้นเทคนิคของการแปลงเวฟเล็ตแบบนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานทางด้านการประมวลผลสัญญาณ สำหรับการประมาณสัญญาณ (Signal Approximation) นี่เป็นปัญหาที่สำคัญของการแทนสัญญาณด้วยองค์ประกอบจำนวนน้อยที่สุดเท่าที่มีความเป็นไปได้ ซึ่งคุณสมบัติการลดขนาดของข้อมูลภาพด้วยการแทนสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตจำนวนน้อย เป็นพื้นฐานการบีบอัดภาพด้วยเวฟเล็ต ตัวอย่างฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ เช่น Daubechies 9/7 ซึ่งนิยมใช้ในการแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตเพื่อบีบอัดไฟล์รูปภาพแบบสูญเสียข้อมูล (Lossy Compression) และ LeGall 5/3 ซึ่งนิยมเพื่อบีบอัดไฟล์รูปภาพแบบไม่มีการสูญเสียข้อมูล (Lossless Compression) ในมาตรฐาน JPEG2000 และได้รับการยอมรับว่าเป็นฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ที่ให้ผลการบีบอัดข้อมูลที่ดี

จะสังเกตได้ว่าสัมประสิทธิ์ในการแปลงเวฟเล็ตของฟังก์ชันแม่แบบ Biorthogonal นี้จะมีจำนวนค่าสัมประสิทธิ์ในการกรองสำหรับฟังก์ชันหลักและฟังก์ชันคู่เทียบไม่เท่ากัน เช่น ฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบ Daubechies 9/7 โดยจำนวนค่าสัมประสิทธิ์การกรองมีจำนวน 9 และ 7 ค่า เพื่อใช้ในการแปลงเวฟเล็ต (Decomposition Wavelet; Analysis Filter) และค่าสัมประสิทธิ์ในการแปลงกลับเวฟเล็ต (Reconstruction Wavelet; Synthesis Filter)

นอกจากนี้ฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบ Biorthogonal ยังมีคุณสมบัติสมมาตรและกระชับ คุณสมบัติสมมาตรนี้เป็นคุณสมบัติที่ต้องการในการสร้างฟังก์ชันการกรองเนื่องจากให้ผลลัพธ์ของฟังก์ชันการแปลงที่ให้ความสัมพันธ์ของเฟสเชิงเส้น (Linear Phase)

#### 4) การสร้างเวฟเล็ตแม่แบบจากฟังก์ชันพัลส์สี่เหลี่ยม (Two Scale Relation from Rectangular Pulse)

การสร้างฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบสามารถสร้างได้จากการถ่วงน้ำหนักของลำดับของพัลส์สี่เหลี่ยมที่มีการสเกลและเลื่อนตำแหน่ง ซึ่งการออกแบบค่าถ่วงน้ำหนักสามารถออกแบบได้เช่นเดียวกับการออกแบบสัมประสิทธิ์การกรองสัญญาณ สมการฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบ ดังสมการที่ 2.15

$$M(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h_k P\left(\frac{2x}{s} - k\right) \quad (2.15)$$

$$P(x) = \begin{cases} 1 & ; 0 \leq t \leq 1 \\ 0 & ; \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.16)$$

1. ทำการแทนค่าฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบซึ่งอยู่ในรูปแบบของผลรวมของการถ่วงน้ำหนักฟังก์ชันพัลส์สี่เหลี่ยมในสมการแปลง

$$W_M(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_n \sqrt{2} P(2t - n)$$

$$W_M(2^j x - k) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_n \sqrt{2} P(2(2^j x - k) - n)$$

$$= \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_n \sqrt{2} P(2^{j+1} x - 2k - n); k = 2k + n$$



$$= \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_{m-2k} \sqrt{2} P(2^{j+1}x - m); \quad n = m - 2k \quad (2.17)$$

2. นำฟังก์ชันเวฟเล็ทแม่มาทำการแปลงเวฟเล็ท

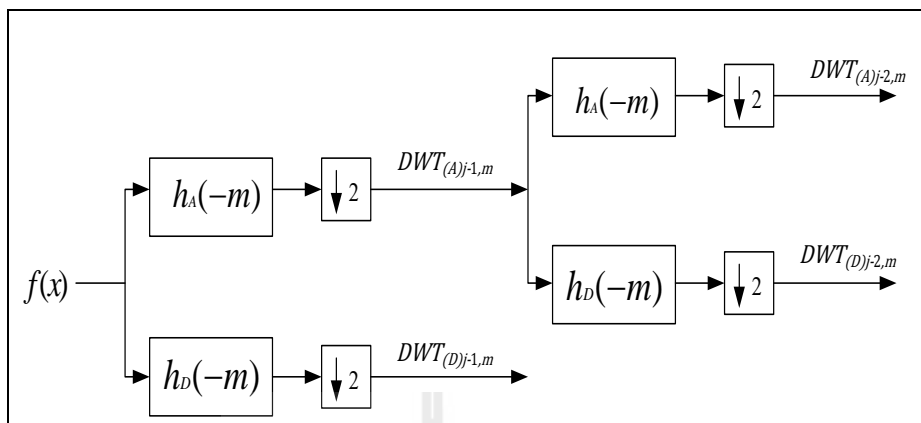
$$DWT_{j,k} = \frac{2^{j/2}}{\sqrt{N}} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_{m-2k} \sqrt{2} P(2^{j+1}x - m) \quad (2.18)$$

3. ทำการจัดเรียงสมการใหม่จะพบว่า การแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ทเป็นการแปลงแบบเป็นลำดับที่เกิดจากการคอนโวลูชัน (Convolution) ระหว่างสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันเวฟเล็ทแม่กับสัมประสิทธิ์เวฟเล็ทที่สเกลก่อนหน้า และทำการลดการสุ่มตัวอย่าง (Down Sampling) ด้วยองค์ประกอบ (Factor)

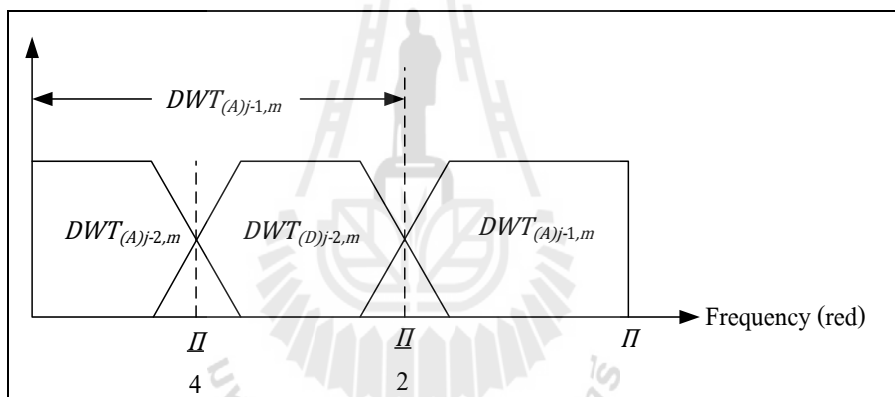
$$\begin{aligned} DWT_{j,k} &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{n=-\infty}^{\infty} 2^{\frac{j+1}{2}} f(x) h_{m-2k} P(2^{j+1}x - m) \\ &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} h_{m-2k} \frac{2^{\frac{j+1}{2}}}{\sqrt{N}} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) P(2^{j+1}x - m) \\ &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} h_{m-2k} DWT_{j+1,m} \\ &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} h_{(-2k-(-m))} DWT_{j+1,m} \\ &= h_{-m} * DWT_{j+1,m} |_{m=2k, k \geq 0} \end{aligned} \quad (2.19)$$

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ของตัวถ่วงน้ำหนักในฟังก์ชันเวฟเล็ทแม่นี้จึงเป็นค่าสัมประสิทธิ์ตัวกรองสัญญาณนั่นเอง และการแปลงสัมประสิทธิ์จะทำการหาความสัมพันธ์ของสัญญาณกับตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Approximation Function;  $h_A(-m)$ ) และตัวกรองความถี่สูง (Detail Function;  $h_D(-m)$ ) ซึ่งผลลัพธ์เหลือเพียงครึ่งหนึ่งของสัญญาณที่นำมาวิเคราะห์ และสามารถทำ

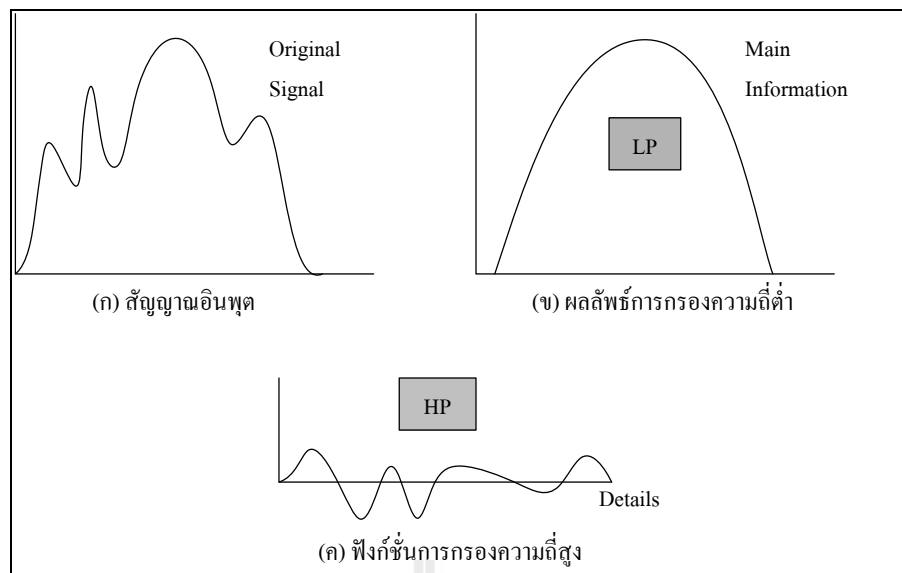
การแปลงต่อไปอย่างเป็นลำดับของความละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 2.12 - 2.14 ทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ละเอียดขึ้นในช่วงความถี่เฉพาะที่สนใจ



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตแบบ Multi Resolution [10]



รูปที่ 2.13 การแบ่งสัดส่วนความถี่ในการกรองแต่ละลำดับชั้น [10]



รูปที่ 2.14 ขั้นตอนการแปลงเวฟเล็ดแบบหลายระดับ [10]

### 2.5.5 การวัดคุณภาพของการบีบอัดข้อมูล

การพิจารณาคุณภาพของข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ผ่านการบีบอัดมีการใช้สมการต่างๆเพื่อหาคุณภาพ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในการหาคุณภาพของข้อมูลจะพิจารณาค่าสัญญาณต้นฉบับหรือข้อมูลต้นฉบับเทียบกับค่าของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ซึ่งในกระบวนการบีบอัดข้อมูลสภาพแวดล้อมจะเกิดการสูญเสียขึ้นทำให้ต้องหาคุณภาพของสัญญาณ โดยในการประมวลผลสัญญาณนิยมใช้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ( $SNR$ ) ในการหาคุณภาพของสัญญาณ มีการหาค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการบีบอัดข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่สร้างกลับกับข้อมูลต้นฉบับจากค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง ( $RMSE$ ) และการหาค่าอัตรการบีบอัดข้อมูล (Compression Ratio;  $CR$ )

#### 2.5.5.1 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ( $SNR$ )

$SNR$  คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน มีหน่วยเป็นเดซิเบล ซึ่งค่า  $SNR$  นิยมใช้ในการหาคุณภาพของสัญญาณประเภทต่างๆ เนื่องจากง่ายต่อการหาคุณภาพของสัญญาณ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.20 มีที่มาจากงานวิจัยของ Weerayuth Khunrattanasiri, (2010) [9]

$$SNR = 10 \log_{10} \left| \frac{\sigma_x^2}{\sigma_e^2} \right| \quad (2.20)$$

โดยที่  $\sigma_x^2$  = ค่าเฉลี่ยกำลังสองของข้อมูล

$\sigma_e^2$  = ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความแตกต่างระหว่างข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับ

### 2.5.5.2 ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (*RMSE*)

*RMSE* คือค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองของข้อมูลต้นฉบับ (Original Data;  $Data_o$ ) กับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับ (Reconstruction Data;  $Data_R$ ) ซึ่งถ้ามีค่าน้อยจะแสดงว่ามีความถูกต้องของข้อมูลมาก สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.22

$$Error = Data_o - Data_R \quad (2.21)$$

และ

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Data_{o_i} - Data_{R_i})^2}{n}} \quad (2.22)$$

เมื่อ  $i$  คือ ตำแหน่งของ Sample Data

$n$  คือ จำนวนของ Sample Data ทั้งหมด

### 2.5.5.3 อัตราการบีบอัดข้อมูล (*CR*)

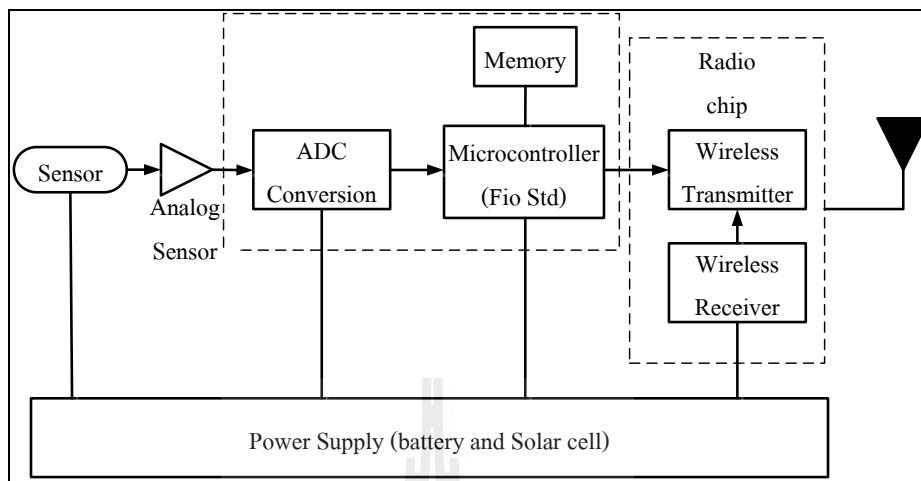
*CR* คือ อัตราส่วนระหว่างข้อมูลก่อนการบีบอัดกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับจากการบีบอัดข้อมูล ในการคำนวณหาอัตราการบีบอัดข้อมูล ซึ่งหาได้จากสมการ 2.23 [9]

$$CR = \frac{\text{Size of Original Signal}}{\text{Size of Compress Data}} \quad (2.23)$$

## 2.6 ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System)

ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) เปรียบเสมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) หรือคอมพิวเตอร์วางตั้ง (Notebook) ที่คนส่วนใหญ่รู้จักและใช้งานทุกวันนี้ แต่ระบบสมองกลฝังตัวจะเป็นการย่อเครื่องคอมพิวเตอร์ให้เล็กลงโดยเหลือเพียงแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กและมีขีดความสามารถน้อยกว่า วัตถุประสงค์หลักของการใช้งานระบบสมองกลฝังตัวคือนำไปใส่ในอุปกรณ์ที่ต้องการให้ทำงานได้เองโดยอัตโนมัติเสมือนมีสมองกลฝังตัวอยู่ภายใน ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์พื้นฐานในชีวิตประจำวันเช่น หม้อหุงข้าว เครื่องซักผ้าตู้เย็น (รุ่นอัจฉริยะ) โทรศัพท์มือถือ กล้องดิจิทัล กล้องวิดีโอ หรืออุปกรณ์ควบคุมที่มีความซับซ้อนเช่นระบบควบคุมการจ่ายน้ำมันหรือก๊าซในรถยนต์ อากาศยานไร้คนขับ เป็นต้น ซึ่งเห็นได้ว่าระบบสมองกลฝังตัวได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมต่าง ๆ เนื่องจากมีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำระบบสมองกลฝังตัวมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบควบคุมต่าง ๆ ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ระบบสมองกลฝังตัวในการประยุกต์ใช้ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายแสดงในรูปแบบที่ 2.15 ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการรับข้อมูล

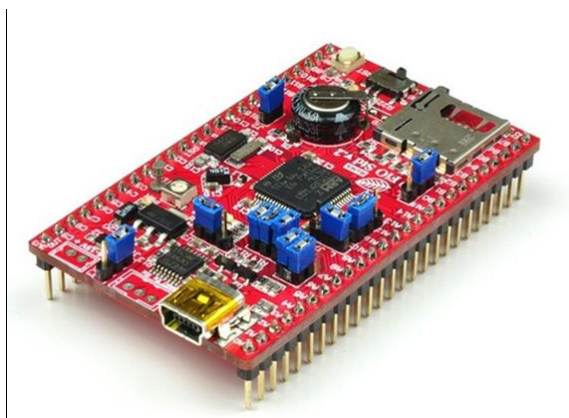
สภาพแวดล้อมและส่งข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ได้ไปยังเซิร์ฟเวอร์ ระบบมองกลฝังตัวที่ใช้งานมี 3 บอร์ด คือ บอร์ด FiO Std บอร์ด Waijung และโมดูล SIM300CZ



รูปที่ 2.15 ระบบมองกลฝังตัวในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย [7]

### 2.6.1 บอร์ด FiO Std

บอร์ด FiO Std [15] เป็นชุดทดลองที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32TM ARM 32-bits Cortex TM M3 Processors บอร์ด FiO Std นี้เป็นชุดทดลองที่สามารถทำงานร่วมกับโปรแกรม MATLAB Simulink ได้ FiO Std เป็นบอร์ดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ จุดเด่นของบอร์ด FiO Std คือ การใช้งานที่ง่ายโดยเฉพาะด้านการเขียนโปรแกรมเนื่องจากเป็นการเขียนโปรแกรมแบบ Graphic Programming ผ่าน Simulink ซึ่งติดตั้งมาพร้อมกัน MATLAB เป็น Module หนึ่งที่อยู่ในโปรแกรม MATLAB ทำให้สามารถทำความเข้าใจการทำงานของโครงการทั้งในส่วนการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ การติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์อัลกอริทึมการเขียนโปรแกรมและอื่นๆ



รูปที่ 2.16 บอร์ด FiO Std [15]

### คุณสมบัติหลักของบอร์ด FiO Std มีดังนี้

- 1) Built-in RapidSTM32 Native-Support Bootloader
- 2) ARM 32-bit CortexTM-M3 Processor (STM32F103RET6)
- 3) ออสซิลเลเตอร์ 2 ตัว
- 4) แรงดันภายในบอร์ด 3.3 V regulator up to 800mA
- 5) หน่วยความจำ 496Kbytes available flash memory
- 6) คอมไพล์และดาวโหลดอัตโนมัติเมื่อใช้ Blockset
- 7) หลอด LED 3 ตัว คือ สีแดง สีเหลือง สีเขียว
- 8) 2 user logic (H/L) input jumpers Mode selection switch
- 9) ความต้านทานปรับค่าได้ 10 K
- 10) IC เทียบสัญญาณเวลามาตรฐาน (0.33F) capacitor as RTC backup battery
- 11) ช่องใส่ Micro SD
- 12) Four built-in operating modes selectable via jumper settings
- 13) RoSH compliant (Real Time Operating System)

### จุดเด่นของบอร์ด FiO Std และ RapidSTM32Blockset

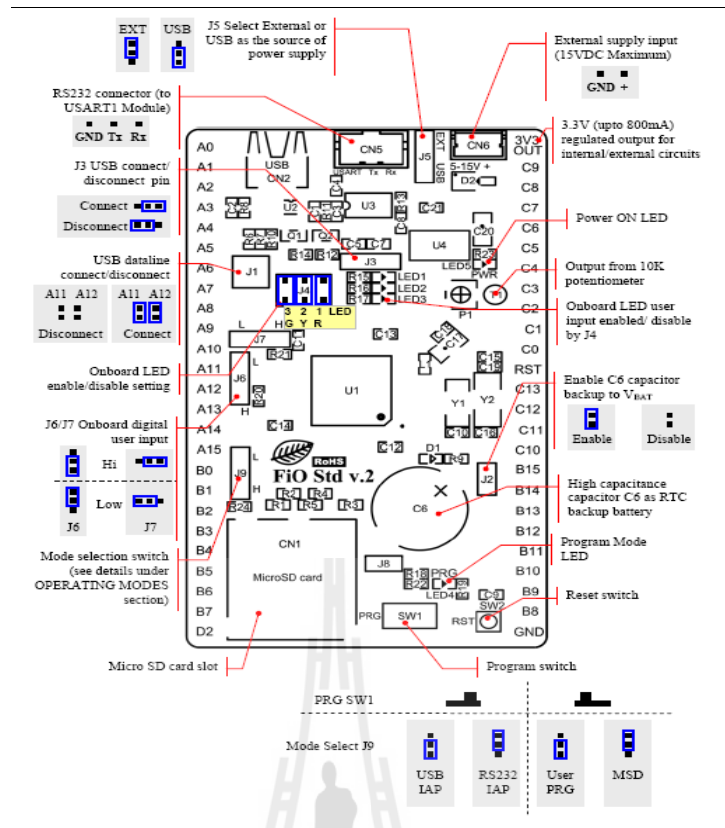
- 1) มีการเขียนโปรแกรมที่ง่ายเนื่องจากการเขียนโปรแกรมแบบกราฟิก (Graphical Programming)
- 2) มีการสร้างต้นแบบการจำลองได้อย่างรวดเร็ว (Rapid Prototyping, Simulation & Model Based Design)
- 3) ในการผลิตมีการใช้ต้นทุนต่ำ
- 4) มีการใช้งานซอฟต์แวร์ที่เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรม (MATLAB, Keil)
- 5) มีการใช้งานฮาร์ดแวร์ที่เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรม (ARM-Architecture Processor)

### ซอฟต์แวร์ที่ใช้งาน

- 1) RapidSTM32 Blockset version 0.3.6.1beta หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
- 2) Matlab 32-bits 2009a (Version 7.8) หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
- 3) Simulink 2009 (Version 7.3) หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
- 4) Real-Time Workshop 2009 (Version 7.3) หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
- 5) Real-Time Workshop Embedded Coder 2009 (Version5.3) หรือเวอร์ชันที่

ใหม่กว่า

- 6) RealView MDK for ARM version 4.0 หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
- 7) Microsoft Windows XP SP2 หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
- 8) Microsoft .Net Framework version 3.5 หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า



รูปที่ 2.17 FiO Std PCB LAYOUT [15]

### โปรแกรม MATLAB สำหรับพัฒนาบอร์ด FiO Std

MATLAB เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ขั้นสูง (High-level Language) สำหรับการคำนวณทางเทคนิคที่ประกอบด้วยค่าตัวเลข กราฟที่ซับซ้อน และแบบจำลองเพื่อให้มองเห็นภาพได้ง่ายและชัดเจนชื่อของ MATLAB ย่อมาจาก Matrix Laboratory เดิมโปรแกรม MATLAB ได้เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณทาง Matrix หรือเป็น Matrix Software ที่พัฒนาจาก Project ที่ชื่อ LINKPACK และ EISPACK

โปรแกรม MATLAB จะมีกล่องเครื่องมือที่ใช้ในการหาคำตอบเรียกว่า Toolbox โดยโปรแกรม MATLAB จะมี Toolbox ในแต่ละสาขา เช่น การประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing Toolbox) การประมวลผลภาพ (Image Processing Toolbox) ระบบควบคุม (Control System Toolbox) โครงข่ายประสาท (Neural Networks Toolbox) ฟัชซีลอจิก (Fuzzy Logic Toolbox) เวฟเลท (Wavelet Toolbox) การติดต่อสื่อสาร (Communication Toolbox) สถิติ (Statistics Toolbox) และสาขาอื่นๆ มากมาย ภายใน Toolbox แต่ละสาขาก็จะมีฟังก์ชันต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาในสาขานั้นๆ ให้เลือกประยุกต์ใช้งานเป็นจำนวนมาก

## Simulink

โปรแกรม MATLAB มีเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์และทดสอบระบบโดยการจำลองขึ้นมาซึ่งก็คือ Simulink เป็นโปรแกรมที่ควบคู่กับ MATLAB ซึ่งเป็นระบบ Interactive สำหรับการจำลองและวิเคราะห์ระบบไดนามิกต่าง ๆ ที่เป็นระบบเชิงเส้น (Linear) ระบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) Simulink เป็นโปรแกรม Mouse-Driver ที่ใช้ระบบโมเดลโดยการวาดบล็อกไดอะแกรมบนจอภาพด้วยการใช้เมาส์ทำให้โปรแกรม MATLAB สามารถทำการจำลองระบบได้หลายรูปแบบเช่น แบบที่เป็นเชิงเส้น (Linear) ไม่เชิงเส้น (Nonlinear) เวลาต่อเนื่อง (Continuous-Times) เวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete-Time) และระบบหลายอัตรา (Multi-Rate) ซึ่งแต่ละรูปแบบที่นำมาสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์นี้ผู้ใช้จะต้องมีความเข้าใจพื้นฐานการทำงานของบล็อกแต่ละบล็อกได้เป็นอย่างดี ตลอดจนเข้าใจระบบโดยรวมของงานที่จะกระทำ

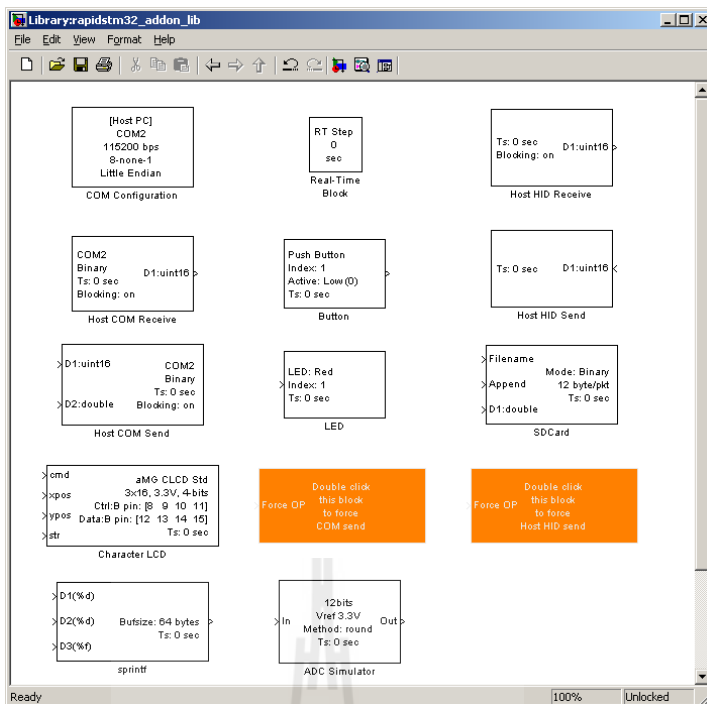
Blocksets เป็นสิ่งที่เพิ่มเติมใน Simulink โดยจะเป็นไลบรารีของบล็อกสำหรับการประยุกต์เฉพาะ เช่น การติดต่อสื่อสาร (Communications) การประมวลผลข้อมูล (Signal Processing) และระบบไฟฟ้ากำลัง (Power Systems)

Real-Time Workshop เป็นโปรแกรมที่สร้าง C Code จากบล็อกไดอะแกรมและสามารถกระทำกับบล็อกไดอะแกรมได้หลากหลายด้วยระบบเวลาจริง (Real-Time Systems) โปรแกรม MATLAB มีอยู่หลาย Version ซึ่ง Version ดั้งเดิมของโปรแกรม MATLAB จะใช้งานบน DOS ที่มีการคำนวณไม่ยุ่งยากเหมาะสำหรับผู้เริ่มศึกษา คอมพิวเตอร์ที่ใช้ก็ไม่จำเป็นต้องมีพื้นที่หน่วยความจำมาก ใช้ได้กับ CPU ที่มีความเร็วต่ำ แต่มีข้อเสียคือฟังก์ชันที่นำมาใช้งานมีน้อยทำให้เขียนโปรแกรมที่มีความซับซ้อนได้ไม่ดีเท่าที่ควรเพราะมีประสิทธิภาพและความเร็วในการประมวลผลต่ำ ต่อมาเมื่อระบบเลือกใช้ได้มากมายจึงทำให้โปรแกรม MATLAB มีประสิทธิภาพและมีความสามารถในการประมวลผลที่เร็วขึ้น Version ใหม่ที่ได้ทำการปรับปรุงใหม่ให้ดีขึ้นนี้จะใช้งานบน Windows ทำให้ผู้ใช้มีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น ข้อดีของ Version ใหม่ก็คือมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น การประมวลผลโปรแกรมที่ซับซ้อนมีความเร็วสูงขึ้น และมีฟังก์ชันต่างๆ ให้เลือกใช้ในสาขาต่างๆ มากมาย แต่ก็ต้องใช้กับคอมพิวเตอร์ที่มีพื้นที่หน่วยความจำมาก CPU มีความเร็วสูง ใน Simulink จะมี Blocksets หลายรูปแบบ ซึ่งจะแบ่งได้เป็นดังนี้

### - Add-On Modules

บล็อก Simulink ที่อยู่ในหมวดหมู่นี้ประกอบด้วย COM Configuration Real-Time Block Host HID Receiver Host COM Send LED SDCard Character LCD sprintf และ ADC Simulator แสดงดังรูปที่ 2.18

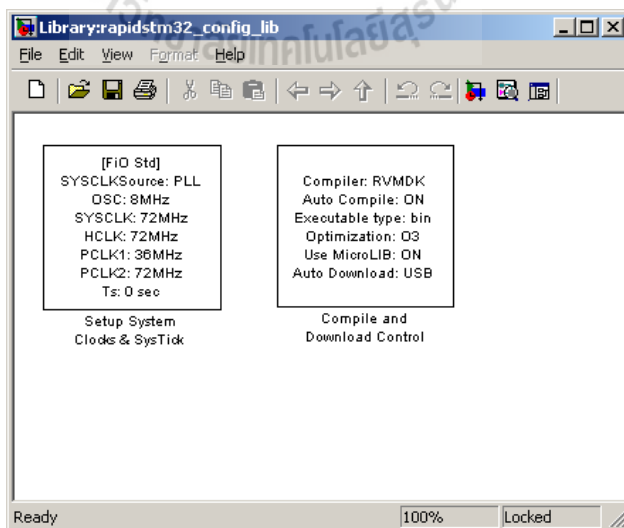




รูปที่ 2.18 Add-On Modules [15]

- List of Add-On Modules Blocks

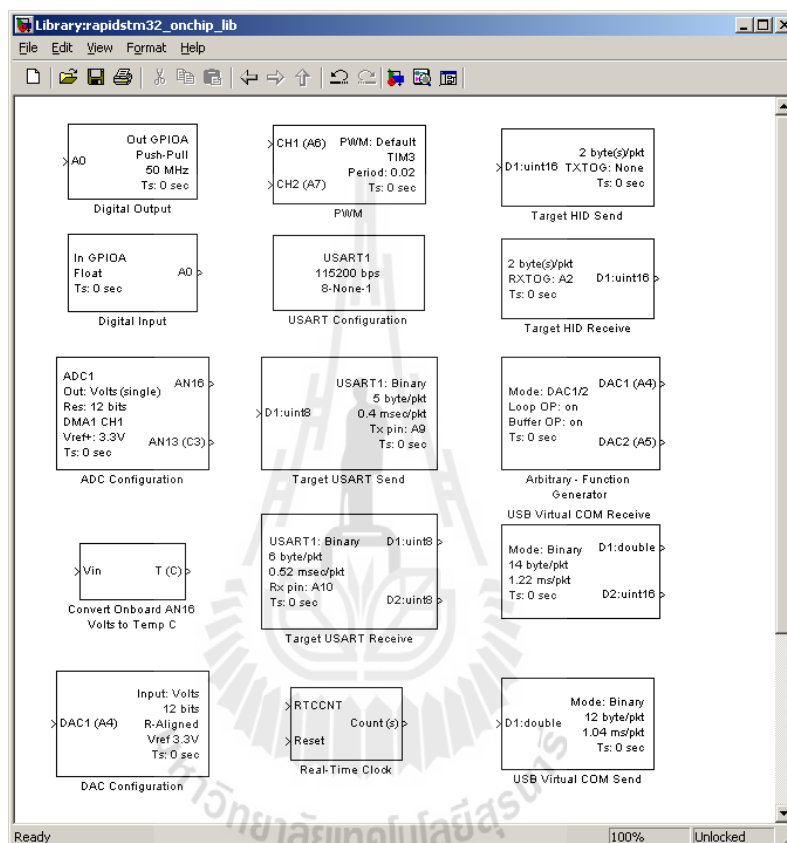
บล็อก Simulink ที่อยู่ในหมวดหมู่นี้จะประกอบด้วย Setup System Clock & SysTick และ Compile and Download Control ซึ่งทั้ง 2 บล็อก จำเป็นต้องใช้งานทุกครั้งที่มีการทำงานบนบอร์ด FIO Std เนื่องจากการกำหนดค่าต่างๆ ให้กับระบบ



รูปที่ 2.19 List of Add-On Modules Blocks [15]

## - On-Chip Peripherals

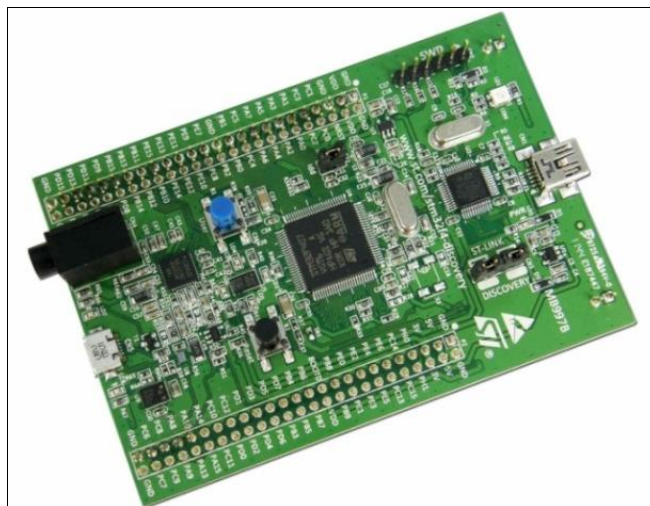
บล็อก Simulink ที่อยู่ในหมวดหมู่นี้จะประกอบด้วย Digital Output PWM Target HID Send Digital Input USART Configuration Target HID Receive ADC Configuration Target USART Send Arbitrary-Function Generator USB Virtual COM Receive Convert Onboard AN16 Volts to Temp C Target USART Receive DAC Configuration Real-Time Clock และ USB Vertical COM Send ซึ่งสามารถเลือกไปใช้งานให้เหมาะสมกับงานวิจัยได้



รูปที่ 2.20 แสดง On-Chip Peripherals [15]

### 2.6.2 บอร์ด Waijung

บอร์ด Waijung หรือ STM32F4DISCOVERY [13] เป็นชุดพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 32 บิต ของบริษัท ST ในตระกูลใหม่ STM32 ARM CORTEX-M4F โดยในบอร์ดจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ชุด ST-LINK/V2 ใช้ในการดาวน์โหลดโปรแกรมและดีบั๊กไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F407VGT6 ที่อยู่ในบอร์ด ผ่านทางพอร์ต USB



รูปที่ 2.21 บอร์ด STM32F4DISCOVERY [15]

### คุณสมบัติของบอร์ด

ในบอร์ดจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

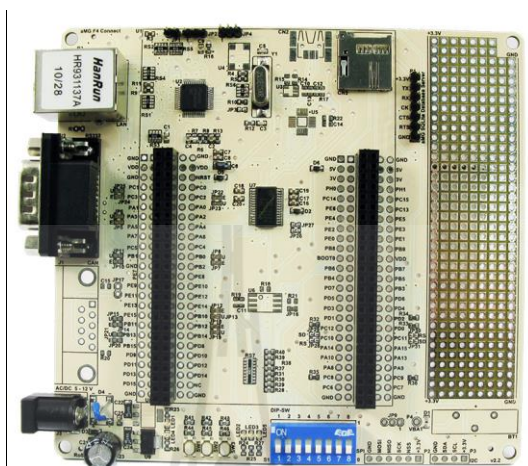
1) ส่วน ST-LINK/V2 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ STM32F103 เป็นตัวเชื่อมต่อการทำงานกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต USB สามารถทำการ IN-CIRCUIT DEBUG และ PROGRAM กับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 ที่อยู่บนบอร์ดได้ ขั้วต่อ 6 PIN SWD ต่อออกใช้งาน DEBUG และ PROGRAM ภายนอกบอร์ดได้

2) ส่วนบอร์ดใช้งาน STM32F4 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ STM32F407VGT6, 32BIT ARM CORTEX-M4F 1MB FLASH, 192KB RAM, LQFP100 TYPE บอร์ดสามารถใช้ไฟ +5V จากขั้วต่อ USB หรือจาก POWER 5V ภายนอกในการใช้งานได้ มี Accelerometer ระบบเสียง ไมค์ และ USB OTG สามารถเชื่อมต่อกับ Base Board เพื่อใช้งาน Ethernet หรือ SD Card ได้

บอร์ด Waijung มีลักษณะเป็น Expansion บอร์ด ซึ่งเหมาะกับการนำไปเสียบกับ Base Board เพื่อใช้งานโดยเฉพาะบอร์ด aMG F4Connect เป็น Base Board ที่ถูกนำมาใช้งานกับบอร์ด STM32F4DISCOVERY ทำให้สามารถเชื่อมต่อการใช้งานได้มากขึ้น ดังนี้

- 1) การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์
  - Ethernet 10/100 (with LAN/RJ45 Connector)
  - RS232 (with dedicated RS232 Transceiver + Male DB9 Connector)
  - SPI and I2C Port Pinout
- 2) Micro SDCard Socket
- 3) การเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน
  - 8 DIP Switchs
  - 3 Push Buttons

- 3 LEDs (Red, Yellow, Green)
- 4) Onboard 3.3 V 800 mA LDO Regulator
- 5) มี Socket สำหรับเสียบบอร์ด STM32F4DISCOVERY
- 6) 5VDC 2.0 mm Main Power Socket
- 7) Prototyping Area



รูปที่ 2.22 aMG F4Connect without STM32F4DISCOVERY [15]

### 2.6.3 โมดูลสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

โมดูลสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (GSM Module) หรือบอร์ด ET-GSM SIM300CZ [15] เป็นชุดเรียนรู้และพัฒนาาระบบการสื่อสารไร้สาย โดยใช้โมดูล GSM/GPRS รุ่น SIM300CZ ของ “SIM Com Ltd.” เป็นอุปกรณ์หลัก ซึ่ง SIM300CZ เป็นโมดูลสื่อสารระบบ GSM/GPRS ขนาดเล็ก รองรับระบบสื่อสาร GSM ความถี่ 900/1800/1900 MHz โดยส่งงานผ่านทางพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 ด้วยชุดคำสั่ง AT Command สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ ยกตัวอย่างเช่น การรับส่งสัญญาณแบบ Voice, SMS, Data, FAX และยังรวมถึงการสื่อสารด้วย Protocol TCP/IP ด้วย



รูปที่ 2.23 บอร์ด ET-GSM SIM300CZ [16]

#### คุณสมบัติของโมดูล SIM300CZ

- 1) รองรับความถี่ GSM/GPRS 900/1800/1900MHz
- 2) รองรับ GPRS Multi-Slot Class10 และ GPRS Mobile Station Class B
- 3) รองรับมาตรฐานคำสั่ง AT Command
- 4) รองรับ SIM Applications Toolkit
- 5) ทำงานที่ย่านแรงดัน 3.4V ถึง 4.5V
- 6) รองรับการเชื่อมต่อภายนอก
  - ใช้งานได้กับ SIM 3V และ 1.8V
  - มีวงจร Analog Audio (MIC & Speaker) จำนวน 2 ชุด
  - รองรับ 5x5 Keypad Interface & SPI LCD Interface
  - มีระบบ RTC พร้อมวงจร Backup
  - มีขั้วต่อเสาอากาศภายนอกแบบ Connector และจุดเชื่อมต่อแบบ PAD
  - มีระบบ Battery Charge ในตัว

## 2.7 อุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor)

เซนเซอร์ (Sensor) คืออุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณหรือปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ เช่น อุณหภูมิ เสียง แรงทางกล (Force) ความดันบรรยากาศ (Pressure) ระยะกระจัด (Displacement) ความเร็ว (Speed) ความเร่ง (Acceleration) ระดับของของเหลว (Liquid Level) และอัตราการไหล (Flow Rate) จากนั้นจะทำหน้าที่เปลี่ยนเป็นสัญญาณออกหรือปริมาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดในอีกรูปแบบหนึ่งที่สามารถนำไปประมวลผลต่อได้

ปัจจัยในการเลือกเซนเซอร์ใช้งานขึ้นอยู่กับปริมาณธรรมชาติของปริมาณทางฟิสิกส์ที่จะทำการวัดและควบคุมค่าเป็นสำคัญ รวมถึงราคาและความน่าเชื่อถือตลอดจนคุณภาพของข้อมูลที่ทำกรวัด นอกจากนี้ยังมีปัจจัยสำคัญอื่นที่ควรพิจารณาอีกเช่น ความเหมาะสมของเซนเซอร์ที่จะนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมนั้นๆ ยกตัวอย่างเช่น เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิที่ถูกออกแบบให้ใช้งานในบ้านพักอาศัยทั่วไปจะมีความแตกต่างและไม่สามารถนำไปใช้แทนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในโรงงานผลิตสารเคมีได้ ทั้งนี้เนื่องจากเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิซึ่งใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆในโรงงานนั้นจำเป็นต้องมีอัตราความสามารถในการทนต่อสภาวะที่อุณหภูมิสูง ความดันสูง หรือสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้สูงกว่าเซนเซอร์ที่ถูกออกแบบให้ใช้งานทั่วไป

โดยทั่วไปเทคโนโลยีของเซนเซอร์ได้ถูกนำไปใช้ประกอบหลักที่สำคัญในลักษณะงาน 2 ประเภท

1) ใช้ตรวจวัดปริมาณทางฟิสิกส์ เพื่อนำไปแสดงผลการตรวจวัดหรือจัดเก็บบันทึกเป็นข้อมูลในระบบการวัด

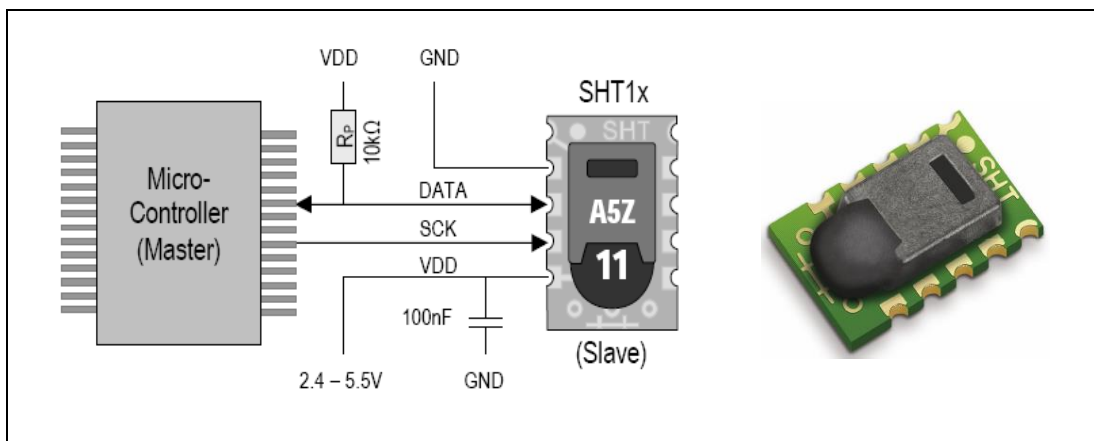
2) ใช้ตรวจสอบสภาพแวดล้อมกระบวนการในระบบการควบคุม เซนเซอร์สำหรับการตรวจวัดข้อมูลที่เป็นตัวแปรทางฟิสิกส์ โดยมากจะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลเพื่อแสดงสถานะสภาพของระบบในขณะนั้น เช่น เซนเซอร์วัดความเร็วในรถยนต์ และมิเตอร์วัดความเร็ว เป็นต้น

เซนเซอร์คือส่วนที่รับสัญญาณจากกระบวนการในตอนแรกซึ่งเป็นอุปกรณ์แปลงสัญญาณสำหรับเครื่องมือวัดหนึ่ง ๆ ทำหน้าที่เปลี่ยนปริมาณทางฟิสิกส์ เช่น การสั่นสะเทือน หรือปริมาณทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ให้เป็นปริมาณทางไฟฟ้า หรืออาจจะเรียกได้ว่า อินพุตทรานสดิวเซอร์ โดยเซนเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ โมดูล SHT-11 ใช้วัดความชื้นสัมพันธ์กับอุณหภูมิ เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน EC-5 และเซนเซอร์วัดความเข้มแสง Photocell ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### 2.7.1 โมดูลวัดความชื้นสัมพันธ์และอุณหภูมิ (SHT11)

เป็นโมดูลวัดความชื้นสัมพันธ์และอุณหภูมิ [17] มีขนาดเล็กและเพื่อความสะดวกในการใช้งานจึงได้ติดตั้งลงบนแผ่นวงจรพิมพ์และต่อคอนเน็คเตอร์ 8 ขา เพื่อให้สามารถติดตั้งลงบนแผงต่อวงจรหรือบอร์ดเพื่อทำการทดลองได้ง่าย รวมไปถึงการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงด้วย ในรูปที่ 2.24 แสดงรูปร่างของโมดูล SHT11 การจัดขาและการต่อใช้งาน ส่วนคุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญมีดังนี้

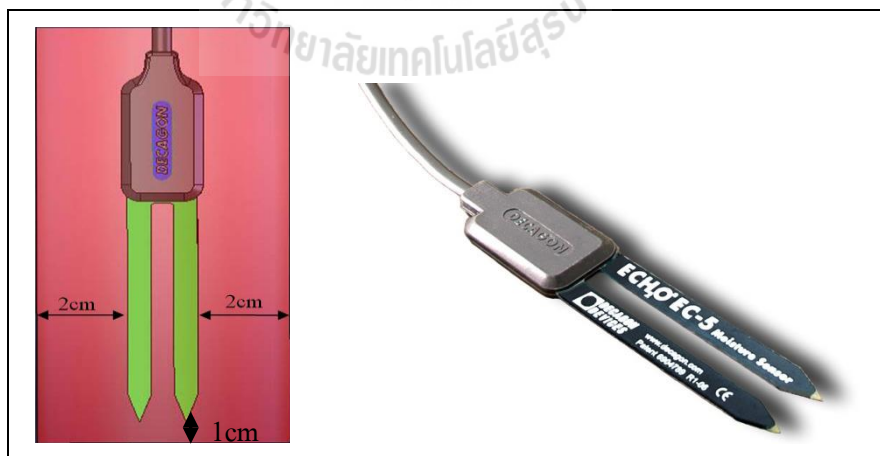
- 1) ทำหน้าที่เป็นทั้งตัววัดความชื้นและอุณหภูมิภายใต้ตัวเดียวกัน
- 2) สามารถกำหนดความละเอียดของย่านการวัดได้
- 3) มีขนาดเล็กและกินพลังงานต่ำ ทำงานในย่านแรงดันไฟเลี้ยง +2.4 ถึง +5.5 V
- 4) เสถียรภาพในการทำงานสูง



รูปที่ 2.24 วงจรที่ใช้ในการเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น SHT11

### 2.7.2 เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน (Soil Moisture Sensor)

เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน หรือ EC-5 [18] มีลักษณะเป็นโพรบใช้วัดระดับความชื้นโดยปริมาตร (Volume Water Content; VWC) ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างปริมาตรของน้ำในดินกับปริมาตรรวมของดิน เซนเซอร์สามารถวัดค่า VWC ได้ตั้งแต่ 0 - 100% (VWC ของดินอิ่มตัวโดยทั่วไป 40 - 60% ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน) สัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดเป็นสัญญาณแอนะล็อก โดยผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ใช้การเข้ารหัสข้อมูลขนาด 12 บิตใช้แรงดันไฟฟ้า 2.5V - 3.6V ที่ 10 mA สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิ  $-40^{\circ}\text{C}$  ถึง  $60^{\circ}\text{C}$  ขนาดของเซนเซอร์ 8.9 cm  $\times$  1.8 cm  $\times$  0.7 cm ความยาวของสายเซนเซอร์ 5 เมตร มีการเชื่อมต่อปลั๊ก 3.5 mm ความไวต่อการวัดของเซนเซอร์ด้านตั้งฉากกับโพรบ 2 cm และด้านขนานกับโพรบ 1 cm

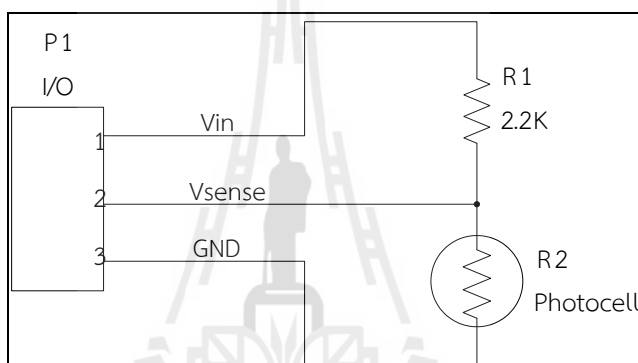


รูปที่ 2.25 เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

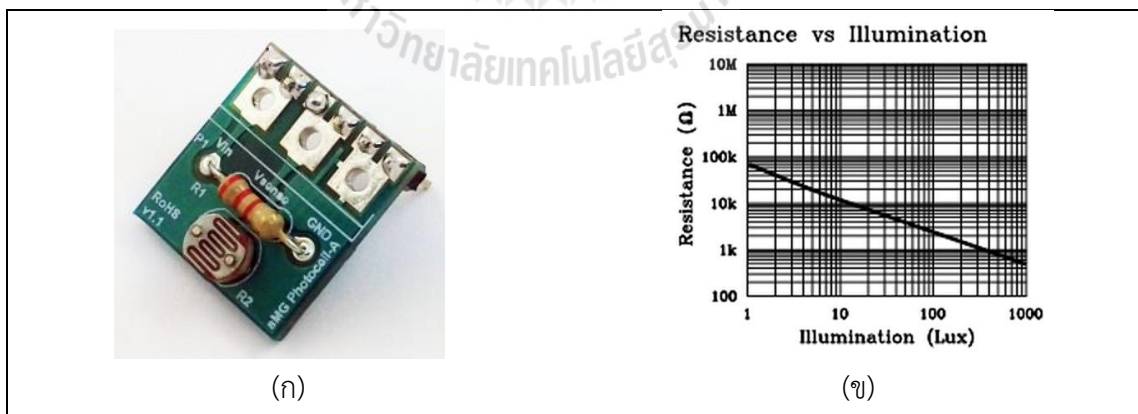
### 2.7.3 เซนเซอร์วัดความเข้มแสง

เซนเซอร์วัดความเข้มแสง [15] เป็นเซนเซอร์ที่ใช้วัดปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์ โดยใช้อุปกรณ์โฟโตเซลล์ (Photocell) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยค่าความต้านทานขึ้นอยู่กับแสงที่ตกกระทบบนตัวโฟโตเซลล์ถ้ามีแสงมากกระทบจะให้ค่าความต้านทานต่ำ (หรือได้ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำ) แต่ถ้าไม่มีแสงมาตกกระทบจะให้ค่าความต้านทานสูง (ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูง) สัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดเป็นสัญญาณแอนาล็อก โดยผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ใช้การเข้ารหัสข้อมูลขนาด 12 บิต จะได้ข้อมูลความเข้มแสงที่เป็นค่าของแรงดันไฟฟ้า สามารถหาค่า  $V_{sense}$  ได้จากการแบ่งแรงดันดังสมการ

$$V_{sense} = V_{in} \times \frac{R}{R + 2200} \tag{2.24}$$



รูปที่ 2.26 วงจรเซนเซอร์วัดความเข้มแสง

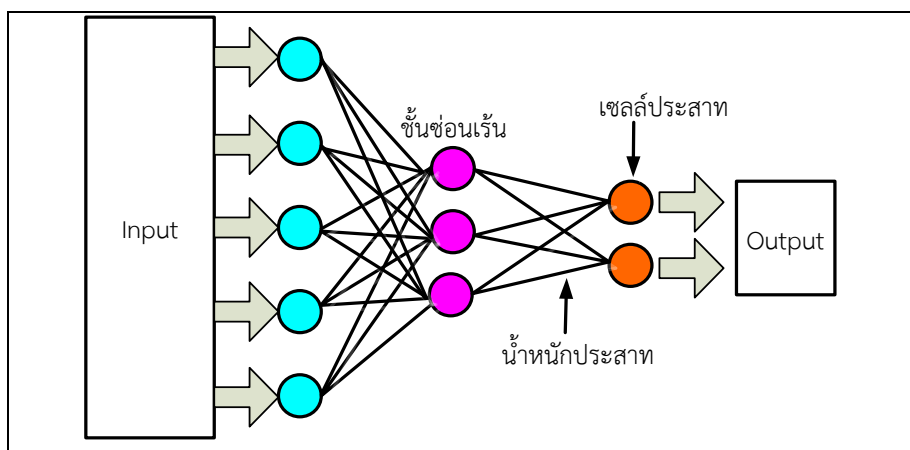


รูปที่ 2.27 (ก) เซนเซอร์วัดความเข้มแสง (ข) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความเข้มแสง



## 2.8 เครือข่ายประสาทเทียม (Neural Network)

เครือข่ายประสาทเทียม หรือ Artificial Neural Network [11] เป็นการคำนวณที่มีความสามารถคล้ายคลึงในระดับหนึ่งกับระบบประสาทในสมองของสิ่งมีชีวิตได้ โดยเฉพาะในเรื่องของการเรียนรู้ของเครือข่าย การคำนวณเชิงนิเวศ (Neural Computing) เป็นกระบวนการคำนวณหรือประมวลผลข้อมูลที่มีขั้นตอนของการเรียนรู้ โดยใช้โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมในการตอบสนองเชิงปรับตัวได้กับอินพุตของระบบตามกฎการเรียนรู้ของเครือข่ายนั้นๆ หลังจากเครือข่ายได้เรียนรู้สิ่งที่ต้องรู้แล้ว เครือข่ายสามารถทำงานตามที่ตั้งไว้ได้ เครือข่ายประสาทเทียมเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายทั้งในอดีตจนกระทั่งปัจจุบัน ในด้านการเป็นเทคโนโลยีสำหรับการแก้ปัญหาที่ยุ่ยาก ซับซ้อน และใช้กับปัญหาการไม่เป็นเชิงเส้นของข้อมูล รวมทั้งสามารถที่จะเรียนรู้ข้อมูลตัวแปรอิสระที่ได้อใหม่ในการพยากรณ์ตัวแปรตาม จากนักวิจัยหลากหลายสาขาวิชาไม่ว่าจะเป็น วิศวกรรม ฟิสิกส์ ประสาทวิทยา การเงิน แพทยศาสตร์ เป็นต้น การประยุกต์ใช้งานต่างๆ เช่นการทำนาย การจดจำรูปแบบ การประมาณฟังก์ชัน การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ทำให้เครือข่ายประสาทเทียมถูกยอมรับในความสำเร็จ นอกเหนือไปจากความสามารถในการเรียนรู้แล้ว ความทนทานของเครือข่ายประสาทเป็นอีกจุดเด่นอย่างหนึ่ง อันเนื่องมาจากโครงสร้างที่มีการเชื่อมต่อของนิเวศจำนวนมากอยู่ ระบบภายในเครือข่ายจะยังคงทำงานได้แม้ว่านิเวศบางส่วนจะเสียหาย โดยทั่วไปแล้วเครือข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วยจำนวนของการดำเนินการในขั้นแรกๆ ที่เรียกว่า นิเวศ (Neurons) เป็นคอนเนกชันระหว่างค่าน้ำหนักที่เชื่อมกันคือไซแนปส์ (Synapses) ค่าน้ำหนักที่เชื่อมต่อกันต้องมีการเรียนรู้และปรับค่าน้ำหนักตามฟังก์ชันของเครือข่าย (Network Function) ในเนื้อหาส่วนนี้จะกล่าวถึงการนำเอาการเรียนรู้ด้วยเครือข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้งานรวมถึงโครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมที่รองรับการเรียนรู้ต่างๆ เนื้อหาในที่นี่จะเน้นการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียมแบบการเรียนรู้แบบแพร่กลับ (Back Propagation Learning) ถือเป็นการเรียนรู้ที่มีผู้นำไปประยุกต์ใช้งานมากที่สุด การเรียนรู้แบบแพร่กลับสามารถใช้ฝึกสอนเครือข่ายแบบหลายชั้นได้



รูปที่ 2.28 โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียม [11]

เครือข่ายประสาทเทียมได้ถูกพัฒนาคิดค้นจากการทำงานของสมองมนุษย์โดยสมองมนุษย์ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลเรียกว่านิวรอน จำนวนนิวรอนในสมองมนุษย์มีอยู่ประมาณ  $10^{11}$  โหนดและมีการเชื่อมต่อกันอย่างมากมาย สมองมนุษย์จึงสามารถกล่าวได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ที่มีการปรับตัวเอง (Adaptive) ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) และทำงานแบบขนาน (Parallel) ความสามารถในการเรียนรู้จากตัวอย่างและการทำให้เป็นทั่วไป (Generalize) ถือเป็นคุณลักษณะสำคัญของเครือข่ายประสาทเทียม ตัวเครือข่ายจะถูกฝึกสอนโดยการแสดงรูปแบบต่างๆ ที่ต้องการให้เครือข่ายเรียนรู้ด้วยกฎการเรียนรู้ (Learning Rule) ความสามารถในการเรียนรู้ได้ของเครือข่ายนี้ทำให้มีความแตกต่างไปจากการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การที่เครือข่ายถูกทำให้เป็นกรณีทั่วไปจะทำให้ตัวเครือข่ายสามารถที่จะจำแนกแยกแยะรูปแบบของอินพุตแบบใหม่ๆ ที่ตัวเครือข่ายไม่รู้จักมาก่อนได้ในระดับที่เป็นที่ยอมรับ ตัวเครือข่ายทำการเก็บข้อมูลความรู้ในระหว่างขั้นตอนของการเรียนรู้โดยทำการเก็บไว้ที่น้ำหนักประสาท (Synaptic Weights) โครงสร้างของตัวนิวรอน ภายในเครือข่ายมีอยู่มากมายหลายชนิด โครงสร้างดังกล่าวเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้คุณลักษณะต่างๆ ของเครือข่ายแตกต่างกันออกไป ไม่ว่าจะเป็นการจัดวางเรียงตัวของนิวรอน กฎการเรียนรู้ที่ทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนค่าของน้ำหนักประสาทหรือแม้กระทั่งเงื่อนไขในการฝึกฝนของเครือข่าย สิ่งแรกในการพิจารณาใช้งานเครือข่ายประสาทเทียมคือศึกษารูปแบบของเครือข่าย เครือข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างแตกต่างกันจะมีคุณลักษณะและพฤติกรรมที่แตกต่างกันด้วย โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมทั่วไปประกอบด้วยสองส่วนใหญ่มากๆ ดังนี้

- แบบจำลองของนิวรอน
- ฟังก์ชันถ่ายโอน เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รวมค่าเชิงตัวเลขจากเอาต์พุตของนิวรอนแล้วทำการตัดสินใจว่าจะยิงสัญญาณเอาต์พุตออกไปในรูปแบบใดฟังก์ชันถ่ายโอนสามารถเป็นได้ทั้งแบบเชิงเส้นหรือไม่เป็นเชิงเส้นการเลือกใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนจะขึ้นกับลักษณะของระบบที่นำเอาเครือข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้

ในการจัดกลุ่มชนิดของเครือข่ายประสาทเทียม เมื่อพิจารณาสถาปัตยกรรมเครือข่ายประสาทเทียมแล้วจะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

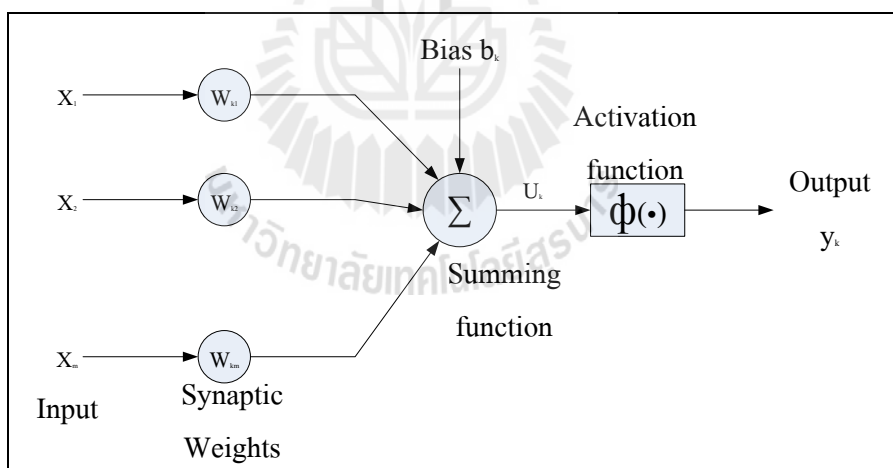
### 1) เครือข่ายแบบไปข้างหน้า (Feed Forward Network)

โดยปกติแล้วเครือข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วยนิวรอนหลายๆ ตัวและเชื่อมต่อกันแบบขนานหลายๆ ชั้นหรือเรียกว่า Layer โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมที่มีรูปแบบการไหลของอินพุตไปยังเอาต์พุต และไม่มีการป้อนกลับแต่อย่างใด เราจึงเรียกเครือข่ายประเภทนี้ว่าเป็นแบบไปข้างหน้า (Feed Forward Network) ดังแสดงในรูปที่ 2.29 ขั้นตอนแรกในการนำเครือข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้งานนั้นจะต้องทำการออกแบบพารามิเตอร์ต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น จำนวนนิวรอนในแต่ละชั้น จำนวนอินพุต จำนวนเอาต์พุต ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน เป็นต้น

## 2) เครือข่ายแบบป้อนกลับ (Recurrent Network)

เครือข่ายป้อนกลับแตกต่างจากเครือข่ายไปข้างหน้าตรงที่มีการวนรอบแบบป้อนกลับภายในเครือข่าย ซึ่งเอาต์พุตของแต่ละนิวรอนถูกป้อนกลับไปยังอินพุตของทุกๆ นิวรอน ในบางเครือข่ายมีการป้อนกลับให้ตนเองของนิวรอนด้วย เครือข่ายป้อนกลับสามารถมีชั้นซ่อนเร้นของนิวรอน การป้อนกลับในเครือข่ายป้อนกลับนี้เป็นส่วนสำคัญของการเรียนรู้ของเครือข่าย นอกไปจากนั้นแล้วในเครือข่ายป้อนกลับนี้ยังมีการใช้หน่วยหน่วงในโครงสร้าง ซึ่งเป็นส่วนที่ก่อให้เกิดพฤติกรรมไม่เป็นเชิงเส้นของเครือข่ายป้อนกลับ

เครือข่ายไปข้างหน้าแบบหลายชั้น (Multilayer Feed Forward Network) โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นโดยปกติแล้วชั้นแรกจะเป็นชั้นของอินพุต และชั้นสุดท้ายจะเป็นชั้นของเอาต์พุตโดยระหว่างชั้นแรกและชั้นสุดท้ายสามารถมีชั้นซ่อนได้ (Hidden Layer) โดยในแต่ละชั้นมีน้ำหนักประสาท ( $W$ ) ไบอัส ( $b$ ) เน็ตเอาต์พุต ( $n$ ) และเอาต์พุต ( $y$ ) ของชั้นนั้น เครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นที่มีการฝึกสอนโดยอัลกอริทึมแบบแพร่กลับ (Back-Propagation) เป็นเครือข่ายประสาทเทียมที่มีการใช้แพร่หลายที่สุด การเรียนรู้แบบแพร่กลับ (Back-Propagation Feed Forward Network) เป็นการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอนโดยมีคุณลักษณะการเรียนรู้ที่จะสร้างผลลัพธ์ที่ต้องการให้ได้ตามตัวอย่างที่ได้รับ หรือตามเป้าหมายที่กำหนดให้ โดยที่กฎการเรียนรู้ จะมีวิธีการแก้ค่าความผิดพลาดโดยการลดค่าความผิดพลาดของเอาต์พุตให้น้อยที่สุด



รูปที่ 2.29 เครือข่ายประสาทเทียมแบบไปข้างหน้า [11]

## 2.9 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่นำมาใช้ในการทำงานวิจัยนี้ จะเห็นว่าระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมีประโยชน์อย่างมากในปัจจุบัน สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลายด้าน โดยงานวิจัยนี้ได้สร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเพื่อใช้งานเกษตรกรรมมีการใช้งานร่วมกับเทคโนโลยี Zigbee ในการสร้างเครือข่าย การติดต่อสื่อสารกันกับบอร์ดหลักและหน่วยเซนเซอร์ เพื่อตรวจสอบสภาพแวดล้อมที่เวลานั้นๆ โดยระบบได้มีการส่งข้อมูลเข้าสู่เซิร์ฟเวอร์เพื่อติดตามผล ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการแบบเวลาจริง เพื่อให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังนำเสนอการแปลงเวฟเล็ตซึ่งผู้วิจัยจะได้นำไปประยุกต์ใช้ในการบีบอัดข้อมูล นำเสนอทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมซึ่งผู้วิจัยจะนำเสนอวิธีการดำเนินงานวิจัยในบทถัดไป

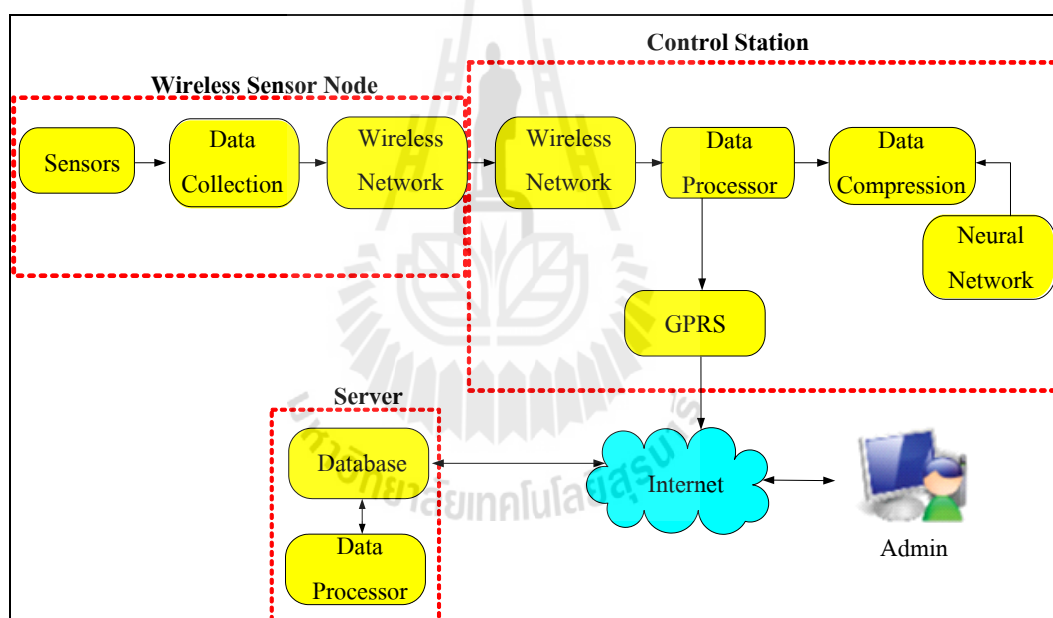


## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 บทนำ

เนื้อหาในส่วนนี้นำเสนอวิธีการดำเนินการ โดยแบ่งออกเป็นการออกแบบทางฮาร์ดแวร์เป็นการสร้างระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในงานเกษตรกรรม ซึ่งมีการสร้างเครือข่ายไร้สายด้วยโมดูล Xbee และทำการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ อาทิเช่น เซนเซอร์บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โมดูล GSM เพื่อสื่อสารส่งข้อมูลระหว่างกัน ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบทางซอฟต์แวร์ซึ่งเกี่ยวกับการออกแบบการบีบอัดข้อมูลโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม การเขียนโปรแกรม แสดงการทำงานโดยรวมของระบบดังรูปที่ 3.1



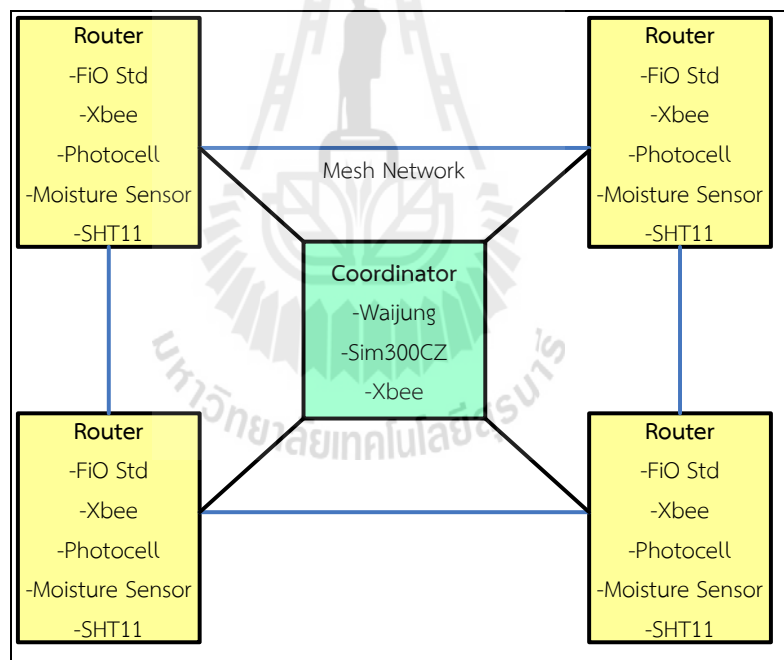
รูปที่ 3.1 การทำงานของระบบโดยรวม

#### 3.2 การออกแบบทางฮาร์ดแวร์

##### 3.2.1 การสร้างเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายที่ประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการควบคุม โดยในการสร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายนั้น ผู้วิจัยได้เลือกใช้การเชื่อมต่อผ่านโมดูล Xbee ย่านความถี่ 2.4 GHz ด้วยเครือข่ายแบบเมช (Mesh Network) เนื่องจากอุปกรณ์ที่เป็นโนดเราท์เตอร์ (Router) ทุกตัวสามารถติดต่อผ่านกันได้โดยตรง ซึ่งการเชื่อมต่อลักษณะนี้สามารถป้องกัน

ข้อผิดพลาดของระบบได้ดี และถ้าหากโนดเราท์เตอร์ไม่สามารถติดต่อผ่านกันได้โดยตรงก็ยังสามารถส่งข้อมูลผ่านอีกเส้นทางหนึ่งเพื่อเชื่อมโยงไปยังเครื่องที่ต้องการสื่อสารได้ ระบบควบคุมการทำงาน ผู้วิจัยเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล STM32TM ARM 32 bits CortexTM M3 หรือเรียกว่าบอร์ด FiO Std ซึ่งสามารถทำงานร่วมกับ MATLAB Simulink ได้ มีการใช้งานที่ง่าย โดยเฉพาะด้านการเขียนโปรแกรม เนื่องจากเป็นการเขียนโปรแกรมเชิงกราฟฟิก ผ่าน Simulink ซึ่งติดตั้งมาพร้อมกับโปรแกรม MATLAB สามารถทำความเข้าใจการทำงานของโครงการทั้งในส่วนการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ การติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ อัลกอริทึม การเขียนโปรแกรม และอื่นๆ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการเชื่อมต่อบอร์ดกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เซนเซอร์ Xbee โมดูล GSM เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมและส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งจะมีการเก็บข้อมูลในหลายๆ จุดโดยโนดที่ใช้เก็บข้อมูลจะถูกเรียกว่าโนดเราท์เตอร์ (Router) และโนดที่ทำการรับข้อมูลจากโนดเราท์เตอร์และส่งข้อมูลขึ้นเซิร์ฟเวอร์จะถูกเรียกว่าโนดโคออร์ดิเนเตอร์ (Coordinator) แสดงแผนภาพการเชื่อมโยงอุปกรณ์เราท์เตอร์และอุปกรณ์โคออร์ดิเนเตอร์ในเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายที่ออกแบบขึ้นด้วยเครือข่ายแบบเมชแสดงในรูปที่ 3.2



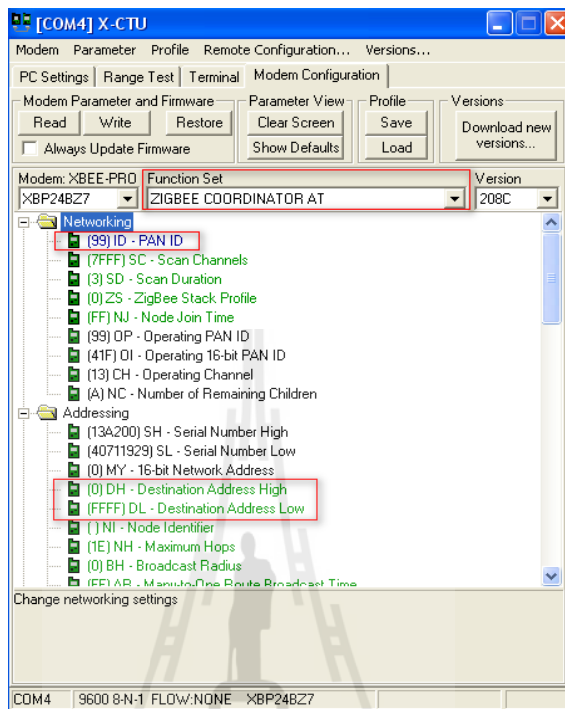
รูปที่ 3.2 โครงสร้างการเชื่อมโยงอุปกรณ์เราท์เตอร์แบบเมช

### 3.2.1.1 การกำหนดค่าพื้นฐานในการทำงานของ Xbee

ในการสร้างเครือข่ายสื่อสารไร้สายแบบเมชด้วยโมดูล Xbee จะต้องมีการกำหนดค่าต่างๆ ให้กับโมดูล Xbee งานวิจัยนี้ได้ใช้ Xbee 1 ตัวทำหน้าที่เป็นโนดโคออร์ดิเนเตอร์ คือทำหน้าที่เป็นตัวหลักหรือสถานีฐาน และอีก 4 ตัว ทำหน้าที่เป็นโนดเราท์เตอร์หรือหน่วยร่วม

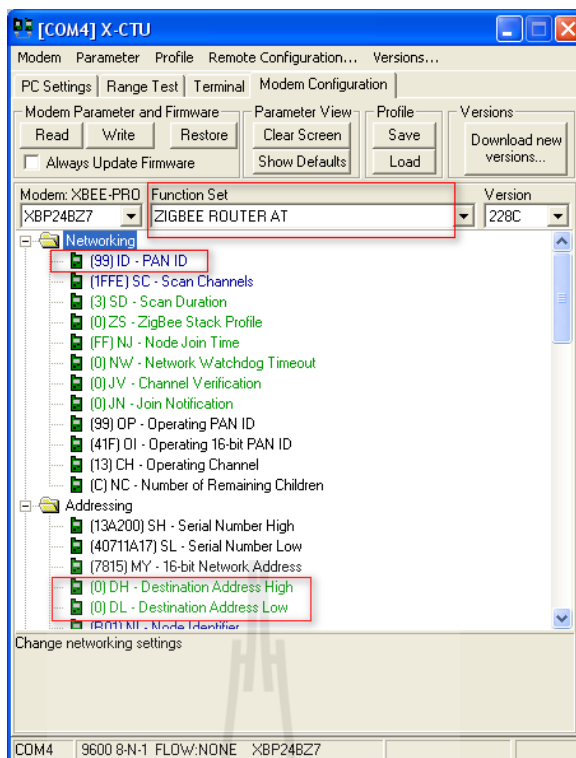
เซนเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.4 ซึ่งการกำหนดรูปแบบการทำงานดังกล่าวสามารถตั้งค่าด้วยโปรแกรม X-CTU ดังนี้

- การตั้งค่า Xbee ให้ทำงานเป็น โหนดโคออดิเนเตอร์ แสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การตั้งค่า Xbee ให้เป็นโหนดโคออดิเนเตอร์ด้วยโปรแกรม X-CTU

- การตั้งค่าให้ Xbee ทำงานเป็นโหนดเรทเตอร์ แสดงในรูปที่ 3.4

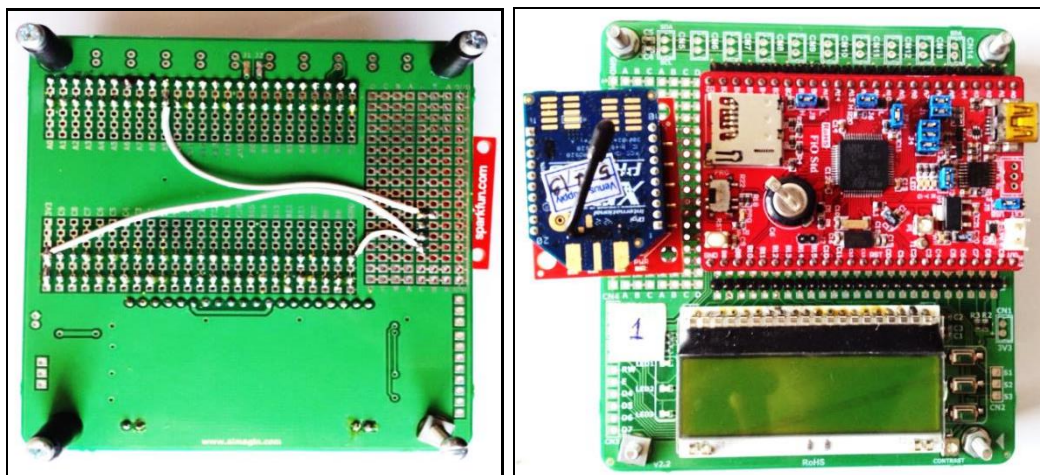


รูปที่ 3.4 การตั้งค่า Xbee ให้เป็นเราท์เตอร์ด้วยโปรแกรม X-CTU

### 3.2.1.2 การเชื่อมต่อ Xbee เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

ทำการเชื่อมต่อโมดูล Xbee เข้ากับ บอร์ด FiO Std โดยเชื่อมต่อขาสัญญาณ Tx ,Rx ของ Xbee เข้ากับขาสัญญาณ Rx, Tx (Serial Interface 2) ของบอร์ด FiO Std ซึ่งเป็นโนดเราท์เตอร์ ดังรูปที่ 3.5 และทำการเชื่อมต่อโมดูล Xbee เข้ากับบอร์ด Waijung ซึ่งเป็นโนดโคออร์ดิเนเตอร์ ดังรูปที่ 3.6 โดยกำหนดการเชื่อมต่อดังนี้คือ กำหนดบอดเรตเท่ากับ 9600 bps Flow control เท่ากับ NONE บิตข้อมูลเท่ากับ 8 บิต กำหนด Parity เท่ากับ NONE และกำหนด Stop bits เท่ากับ

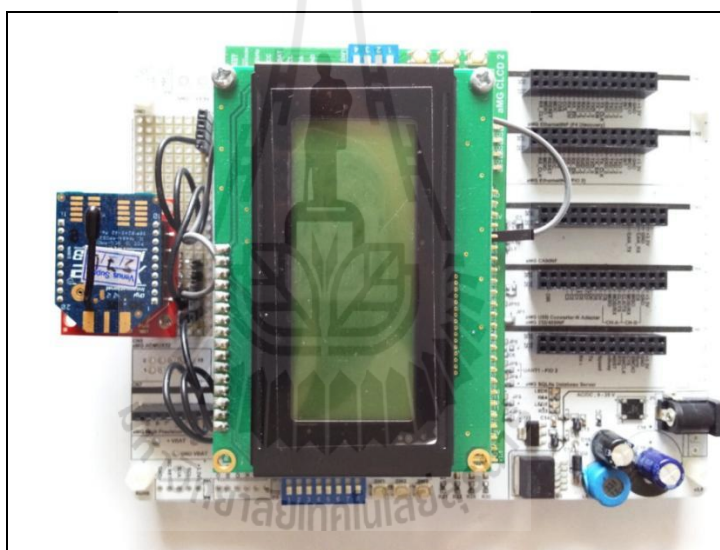




ด้านหลัง

ด้านหน้า

รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่อ Xbee เข้ากับบอร์ด FiO Std



รูปที่ 3.6 การเชื่อมต่อ Xbee เข้ากับ Waijung

### 3.2.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์กับเซนเซอร์ต่างๆ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดค่าสภาพแวดล้อมต่างๆ ในงานเกษตรกรรม เพื่อใช้ในการบิบบัดข้อมูล ซึ่งสภาพแวดล้อมที่พิจารณามี 4 ชนิด คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นในดินและความเข้มแสง มีการเชื่อมต่อเซนเซอร์ต่างๆ เข้ากับบอร์ด FiO Std เพื่อวัดค่าสภาพแวดล้อมเหล่านี้

### 3.2.2.1 การออกแบบวงจรเชื่อมต่อเซนเซอร์ SHT11

ในส่วนนี้เป็นการออกแบบวงจรที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อเซนเซอร์ SHT11 เข้ากับบอร์ด FIO Std แสดงการเชื่อมต่อดังรูปที่ 3.7 เซนเซอร์ SHT11 เป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยมีการเชื่อมต่อแบบ I2C เพียงสองเส้น และ SHT11 ให้เอาต์พุตเป็นดิจิตอลขนาด 14 บิต ซึ่งจะต้องอ่านข้อมูลดิบจากโมดูล SHT11 เข้ามาก่อน จากนั้นจึงใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิออกมา โดยคำนวณได้จากสมการที่ 3.1 โดย Sensirion [17] ผู้ผลิตโมดูล SHT11 กำหนดไว้ดังนี้

$$T = d1 + (d2 \times SO_T) \quad (3.1)$$

โดยที่  $T$  คือ ค่าอุณหภูมิจริง (องศาเซลเซียส)

$d1$  คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับไฟเลี้ยงที่ป้อนให้กับขา  $V_{DD}$  ของ SHT11 ดูรายละเอียดในตารางที่ 3.1

$d2$  คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับความละเอียดของอุณหภูมิที่ต้องการจาก SHT11 ดูในตารางที่ 3.1

$SO_T$  คือ ค่าอุณหภูมิดิบที่อ่านได้จากโมดูล SHT11

ตารางที่ 3.1 การกำหนดค่าคงที่ทางอุณหภูมิ  $d1$  และ  $d2$  สำหรับคำนวณค่าอุณหภูมิจริงที่วัดได้

ไฟเลี้ยง	ค่าคงที่ทางอุณหภูมิตัวที่ 1 ( $d1$ )	
	หน่วยองศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ )	หน่วยองศาฟาเรนไฮต์ ( $^{\circ}\text{F}$ )
+5V	-40.00	-40.00
+4V	-39.75	-39.50
+3.5V	-39.66	-39.35
+3V	-39.60	-39.28
+2.5V	-39.55	-39.23
ความละเอียด	ค่าคงที่ทางอุณหภูมิตัวที่ 2 ( $d2$ )	
	หน่วยองศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ )	หน่วยองศาฟาเรนไฮต์ ( $^{\circ}\text{F}$ )
14 บิต	0.01	0.018
12 บิต	0.04	0.072

สำหรับการอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์จากโมดูล SHT11 จะต้องอ่านข้อมูลดิบจากโมดูล SHT11 เข้ามาก่อน จากนั้นจึงใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ออกมา โดยคำนวณได้จากสมการที่กำหนดมาจาก Sensirion [17] ผู้ผลิตโมดูล SHT11 ดังนี้

$$RH_{true} = (T - 25) \times [t_1 + (t_2 \times SO_{RH})] + RH_{linear} \quad (3.2)$$

$$RH_{linear} = c_1 + (c_2 \times SO_{RH}) + [c_3 \times (SO_{RH})^2] \quad (3.3)$$

โดยที่  $RH_{true}$  คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์จริง

$T$  คือ ค่าอุณหภูมิจริงที่คำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$t_1$  และ  $t_2$  คือ ค่าคงที่โดยขึ้นอยู่กับความละเอียดของความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการจากโมดูล SHT11 ดู รายละเอียดการกำหนดค่าจากตารางที่ 3.2

$c_1$ ,  $c_2$  และ  $c_3$  คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับความละเอียดของความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการจากโมดูล SHT11 ดูรายละเอียดการกำหนดค่าจากตารางที่ 3.2

$SO_{RH}$  คือ ค่าข้อมูลดิบของความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้จากโมดูล SHT11

ตารางที่ 3.2 การกำหนดค่าคงที่ซึ่งต้องใช้ในการคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์จริงที่วัดได้

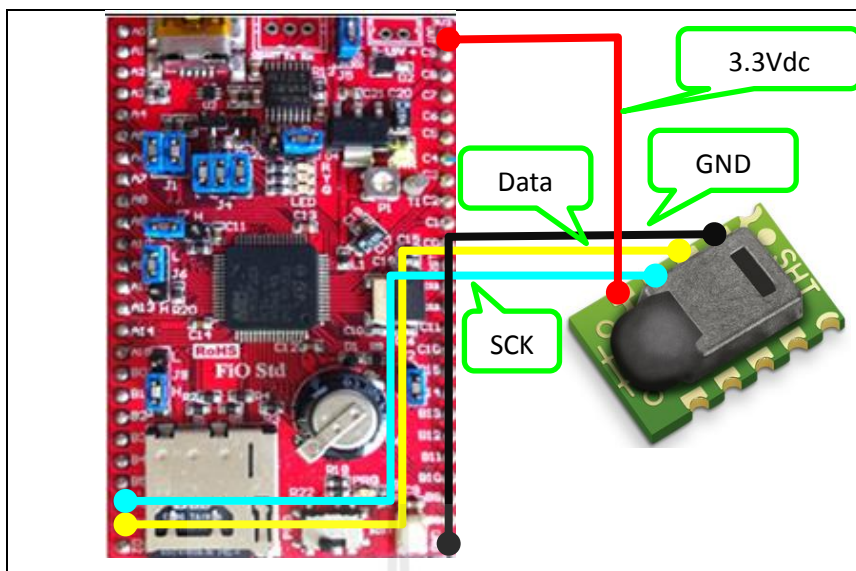
ความละเอียด	ค่าคงที่				
	$t_1$	$t_2$	$c_1$	$c_2$	$c_3$
12 บิต	0.01	0.00008	-4	0.0405	$-2.8 \times 10^{-6}$
8 บิต	0.01	0.00128	-4	0.648	$-7.2 \times 10^{-4}$

### 3.2.2.1.1 ขั้นตอนการอ่านอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

การอ่านข้อมูลดิบของอุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์นั้น ทำได้ภายหลังจากสร้างสถานะเริ่มต้นที่เรียกว่า Transmission Start แล้ว ตามด้วยการส่งข้อมูลคำสั่งอ่านอุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์อย่างใดอย่างหนึ่งไปยัง SHT11 โมดูล SHT11 ต้องใช้เวลาในการประมวลผลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการซึ่งจะใช้เวลามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความละเอียดของข้อมูลที่ต้องการดังแสดงในตารางที่ 3.3 แสดงไดอะแกรมเวลาของการอ่านข้อมูลจากโมดูล SHT11 โดยข้อมูลที่ส่งออกมาจากโมดูล SHT11 ประกอบด้วยข้อมูล 2 ไบต์และไบต์สำหรับตรวจสอบข้อผิดพลาดอีก 1 ไบต์ หรือ CRC Check โดยไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อรับข้อมูล 1 ไบต์จะต้องส่งสัญญาณรับรู้ออกมา 1 ลูก บิตนี้สำคัญสูงสุดของข้อมูลจะถูกส่งออกมาก่อน กรณีอ่านค่าแบบ 8 บิต ไบต์แรกจะไม่ถูกใช้งาน

ตารางที่ 3.3 ค่าเวลาที่โมดูล SHT11 ต้องใช้ในการประมวลผลข้อมูล

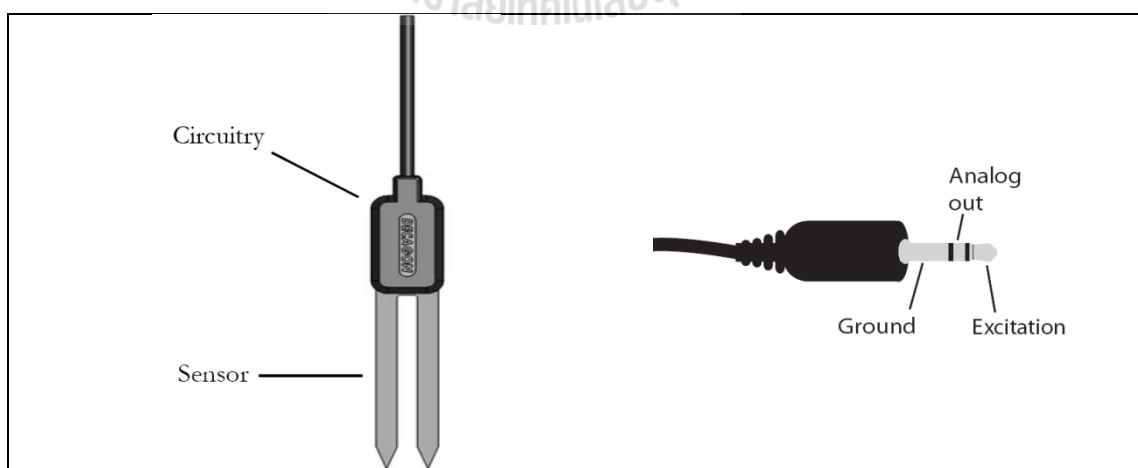
ความละเอียดของข้อมูลที่ประมวลผล	เวลาที่โมดูล SHT11 ใช้ประมวลผล
14 บิต	210 มิลลิวินาที
12 บิต	55 มิลลิวินาที
8 บิต	11 มิลลิวินาที



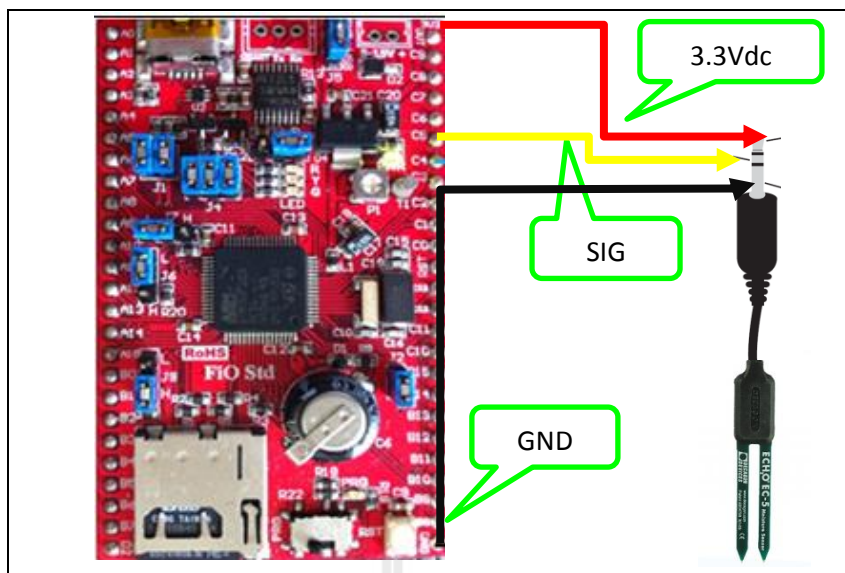
รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อเซนเซอร์ SHT11 กับบอร์ด FiO Std

### 3.2.2.2 การออกแบบวงจรเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

เซนเซอร์วัดความชื้นในดินถูกใช้ในการวัดค่าความชื้นของดินในบริเวณพื้นที่ทำการเกษตร โดยรูปที่ 3.8 แสดงเซนเซอร์วัดความชื้นในดินที่ใช้งานจริงและวงจรเชื่อมต่อเซนเซอร์ และรูปที่ 3.9 แสดงการเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความชื้นในดินกับบอร์ด FiO Std สัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดเป็นสัญญาณแอนะล็อก โดยผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ใช้การเข้ารหัสข้อมูลขนาด 12 บิต แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการปรับเทียบกับเปอร์เซ็นต์ความชื้น โดยทำการทดลองวัดค่าความชื้นในดินที่ระดับความชื้นที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3.8 เซนเซอร์วัดความชื้นในดินที่ใช้งานจริง



รูปที่ 3.9 การเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความชื้นในดินกับบอร์ด FiO Std

การวัดค่าความชื้นในดินมีการปรับเทียบค่าความชื้นที่วัดได้ในหน่วยของแรงดันกับวิธีการวัดดินโดยน้ำหนัก (Gravimetric Method) ซึ่งเป็นการวัดโดยตรงจากการเก็บตัวอย่างดินมาชั่งน้ำหนักแล้วทำการอบดินที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส แล้วนำดินที่ผ่านการอบแล้วมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณโดยใช้สมการหาความชื้นโดยมวล

ระดับความชื้นโดยมวล (Mass Water Content) คือ สัดส่วนระหว่างมวลของน้ำกับมวลของดินแห้งซึ่งบรรจุน้ำจำนวนน้อยอยู่

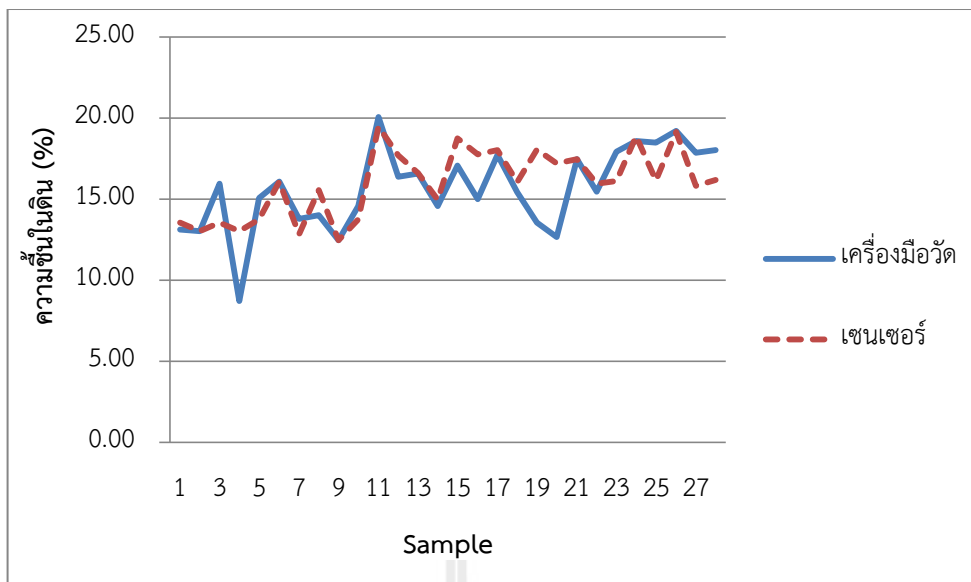
$$\theta_m = \frac{m_w}{m_s} \quad (3.4)$$

เมื่อนำค่าความชื้นในดินที่ได้จากวิธีการวัดน้ำหนักเทียบกับค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน ซึ่งเป็นค่าแรงดันและใช้สมการเพื่อปรับค่าความชื้นในดินให้เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ใกล้เคียงกับค่าความชื้นโดยมวลดังสมการที่ 3.5 ซึ่งจากการปรับเทียบจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 9.96 เปอร์เซ็นต์ แสดงการปรับเทียบดังตารางที่ 3.4

$$\text{ความชื้นในดิน} = 18 \times H(V) + 6 \quad (3.5)$$

ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

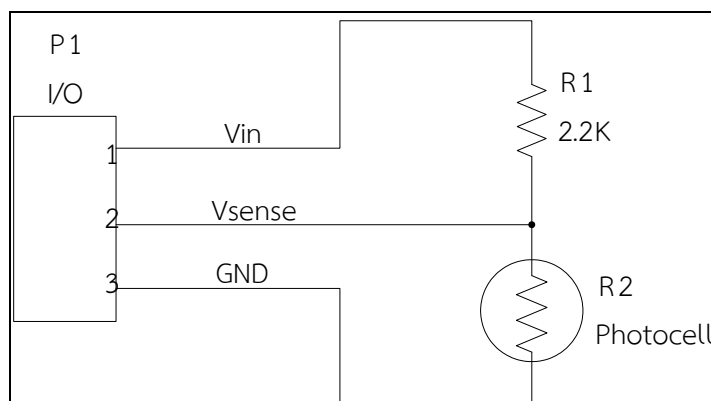
จุดทดสอบที่	ความชื้นโดยมวล (%)	เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน		
		แรงดัน (Volt)	ความชื้นในดิน (%)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
1	13.13	0.42	13.56	3.28
2	13.02	0.39	13.02	0.03
3	15.95	0.42	13.56	14.98
4	8.73	0.39	13.02	49.09
5	15.07	0.43	13.74	8.83
6	16.07	0.56	16.08	0.07
7	13.77	0.38	12.84	6.75
8	14.02	0.53	15.54	10.81
9	12.47	0.36	12.48	0.11
10	14.56	0.43	13.74	5.65
11	20.07	0.75	19.46	3.04
12	16.38	0.65	17.69	8.02
13	16.57	0.59	16.60	0.16
14	14.58	0.50	14.96	2.60
15	17.068	0.71	18.73	9.74
16	14.989	0.65	17.76	18.49
17	17.723	0.67	18.01	1.62
18	15.413	0.56	16.04	4.07
19	13.558	0.67	18.07	33.28
20	12.663	0.62	17.20	35.83
21	17.456	0.64	17.47	0.08
22	15.455	0.55	15.95	3.20
23	17.92	0.56	16.12	10.04
24	18.59	0.72	18.87	1.51
25	18.48	0.56	16.14	12.66
26	19.19	0.73	19.15	0.21
27	17.86	0.55	15.82	11.42



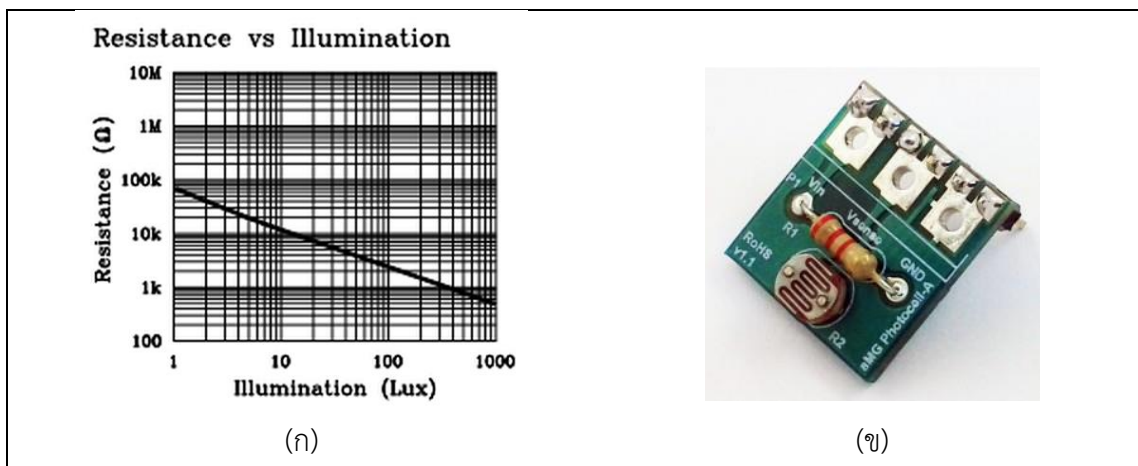
รูปที่ 3.10 การเปรียบเทียบเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

### 3.2.2.3 การออกแบบวงจรเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความเข้มแสง

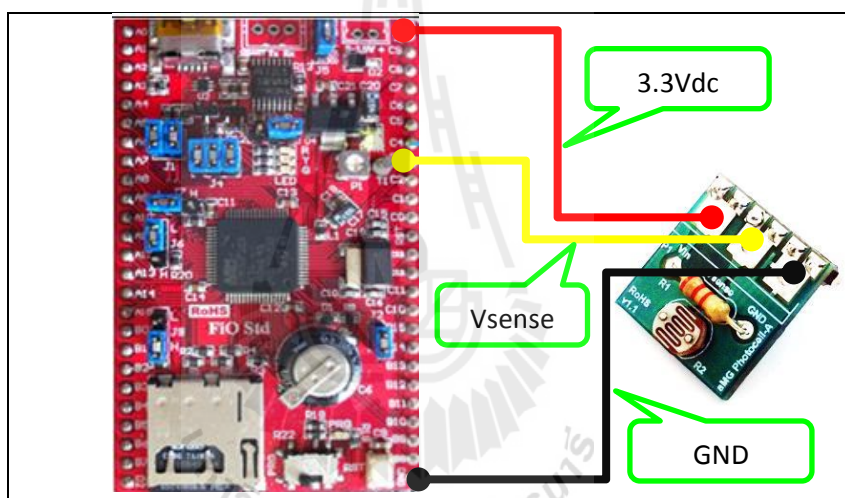
เซนเซอร์วัดความเข้มแสงเป็นเซนเซอร์ที่ใช้วัดปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์ โดยใช้อุปกรณ์โฟโตเซลล์ (Photo Cell) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยค่าความต้านทานขึ้นอยู่กับแสงที่ตกกระทบบนตัวโฟโตเซลล์ถ้ามีแสงมากกระทบบจะทำให้ค่าความต้านทานต่ำ (หรือได้ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำ) แต่ถ้าไม่มีแสงมาตกกระทบบจะทำให้ค่าความต้านทานสูง (ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูง) สัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดเป็นสัญญาณแอนะล็อก โดยผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ใช้การเข้ารหัสข้อมูลขนาด 12 บิต จะได้ข้อมูลความเข้มแสงที่เป็นค่าของแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 3.11 วงจรเซนเซอร์วัดความเข้มแสง



รูปที่ 3.12 (ก) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความเข้มแสง  
(ข) เซนเซอร์วัดความเข้มแสง



รูปที่ 3.13 การเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความเข้มแสงเข้ากับบอร์ด FiO Std

ค่าความเข้มแสงที่วัดได้ในหน่วยของแรงดันไฟฟ้าสามารถนำมาแปลงเป็นค่าความเข้มแสงในหน่วยของลักซ์ (LUX) ได้ สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าความเข้มแสงที่มีหน่วยเป็นลักซ์มีดังนี้  
การหาค่าความต้านทาน

$$R = \frac{V_{in} \times 2200}{3.3 - V_{in}} \quad (\Omega) \quad (3.6)$$

สมการที่ใช้ในการหาค่าความเข้มแสง



$$X = \begin{cases} \frac{R^{(-1.508)}}{10^{(-7.071)}}, & 3200 \geq R \geq 0 \text{ (}\Omega\text{)} \\ \frac{R^{(-1.395)}}{10^{(-6.690)}}, & 12000 \geq R > 3200 \text{ (}\Omega\text{)} \\ \frac{R^{(-1.305)}}{10^{(-6.326)}}, & R > 12000 \text{ (}\Omega\text{)} \end{cases} \quad (3.7)$$

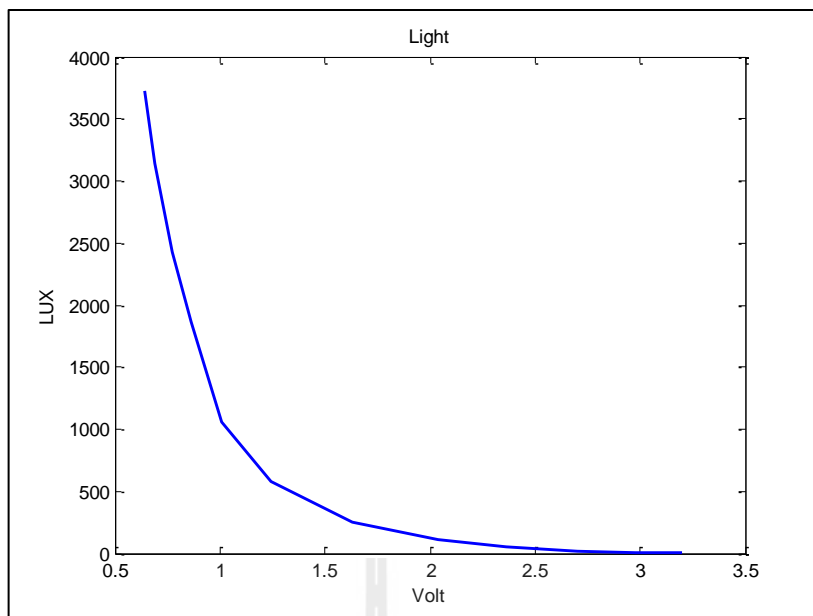
สมการที่ใช้ในการปรับเทียบค่าให้ถูกต้องกับเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐาน (Illuminance, LUX) ยี่ห้อ Digital Lux Meter รุ่น LX1010BS

$$\text{Illuminance} = \begin{cases} X^{1.17}, & 300 \geq X \geq 0 \\ X^{1.178}, & 500 \geq X > 300 \\ X^{1.205}, & 1250 \geq X > 500 \\ X^{1.21}, & X > 1250 \end{cases} \quad (3.8)$$

ผลการแปลงค่าความเข้มแสงให้มีหน่วยเป็นลักซ์ภายหลังการปรับเทียบกับเครื่องมือวัดความเข้มแสงมาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ค่าความเข้มแสง หน่วยเป็นลักซ์ (LUX)

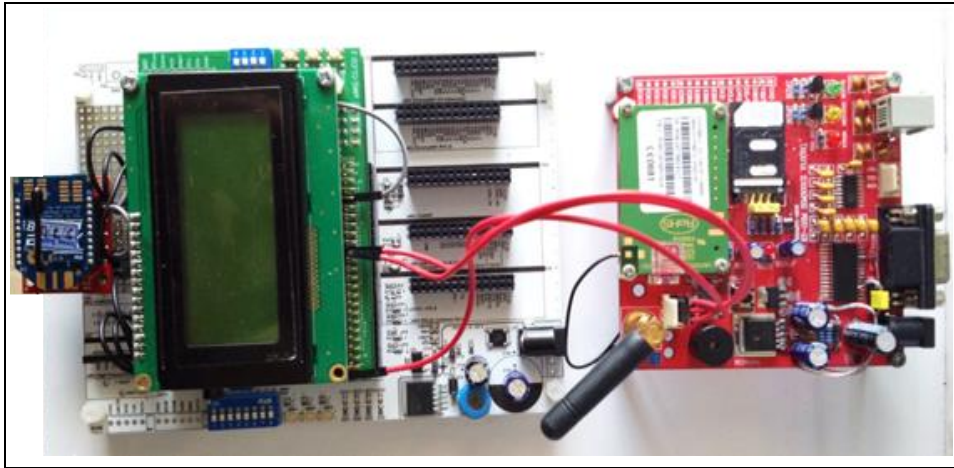
ค่าแรงดัน (V)	ความต้านทาน ( $\Omega$ )	ความเข้มแสงหน่วยลักซ์ (LUX)
3.200	66.270	1.000
3.200	63.540	1.000
3.180	53.350	1.333
3.120	35.070	2.549
2.980	18.380	6.583
2.700	9.000	20.222
2.360	5.050	52.415
2.040	3.240	107.256
1.630	1.960	247.976
1.240	1.210	581.806
1.010	0.880	1055.898
0.860	0.710	1861.539
0.770	0.610	2430.489
0.690	0.530	3139.301
0.640	0.480	3725.397



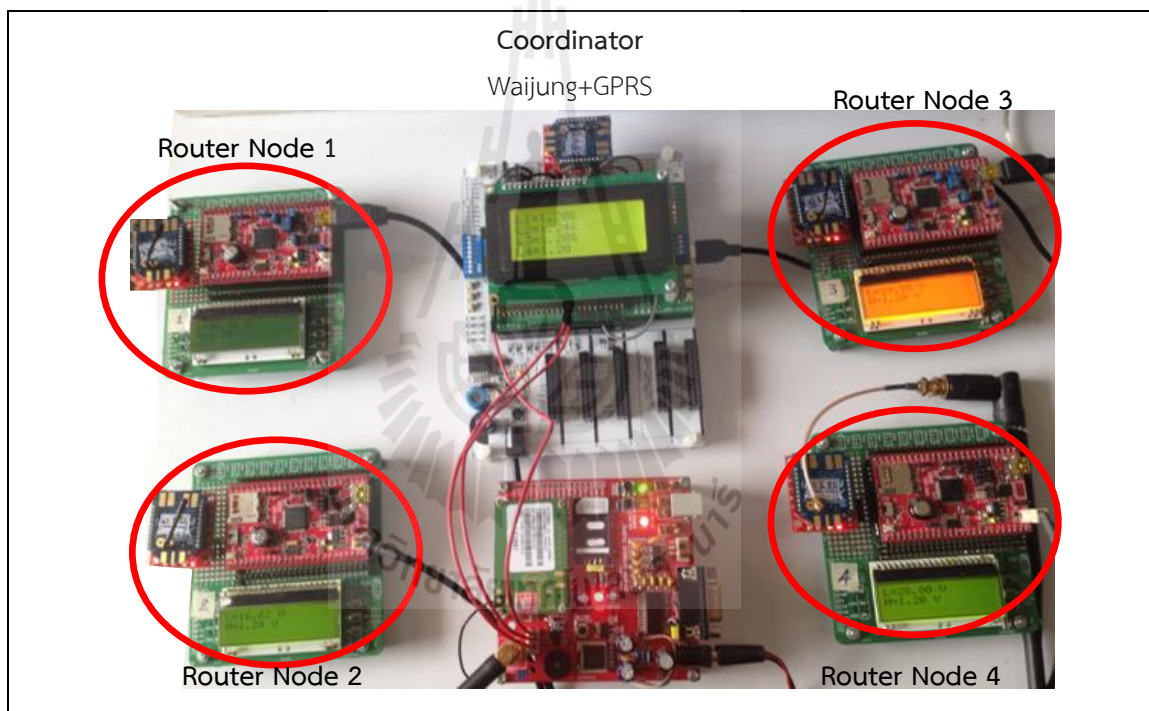
รูปที่ 3.14 การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าและค่าความเข้มแสงในหน่วยของลักซ์ (LUX)

### 3.2.3 การเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

ผู้วิจัยได้ทำการเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (GSM module) เข้ากับบอร์ด Waijung โดยต่อขาสัญญาณ Tx, Rx ของโมดูล GPRS เข้ากับ Rx, Tx (Serial1) ของบอร์ด Waijung ซึ่งบอร์ดนี้ทำหน้าที่เป็นโนดโคออดิเนเตอร์สำหรับเชื่อมโยงกับโนดเราท์เตอร์ตัวอื่น ๆ และยังทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลที่รับมาจากเซนเซอร์ที่โนดเราท์เตอร์เพื่อส่งข้อมูลต่อไปยังเซิร์ฟเวอร์ส่วนกลางด้วยโมดูลสื่อสาร GSM โมดูล ซึ่งจะทำให้การส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในรูปแบบของข้อมูลแพ็คเกจ GPRS (General packet radio service) โดยมีความเร็วสูงสุด 60 กิโลบิตต่อวินาที ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเฝ้าระวังเหตุการณ์จากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว รูปที่ 3.15 แสดงเชื่อมต่อโมดูล GSM เข้ากับบอร์ด Waijung และเมื่อนำอุปกรณ์ที่ออกแบบไว้ทั้งหมดเชื่อมต่อเพื่อทำงานร่วมกันก็จะได้ต้นแบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.15 การเชื่อมต่อโมดูล GSM เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.16 เครือข่ายตรวจรู้ไร้สายที่ออกแบบขึ้น

### 3.2.4 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ET-STM32 และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบที่ออกแบบขึ้น จะใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายสองแหล่งคือ แบตเตอรี่และพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จไฟฟ้า (Solar charge regulator) ในการสวิตช์เลือกใช้แหล่งจ่าย



(ก) พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์

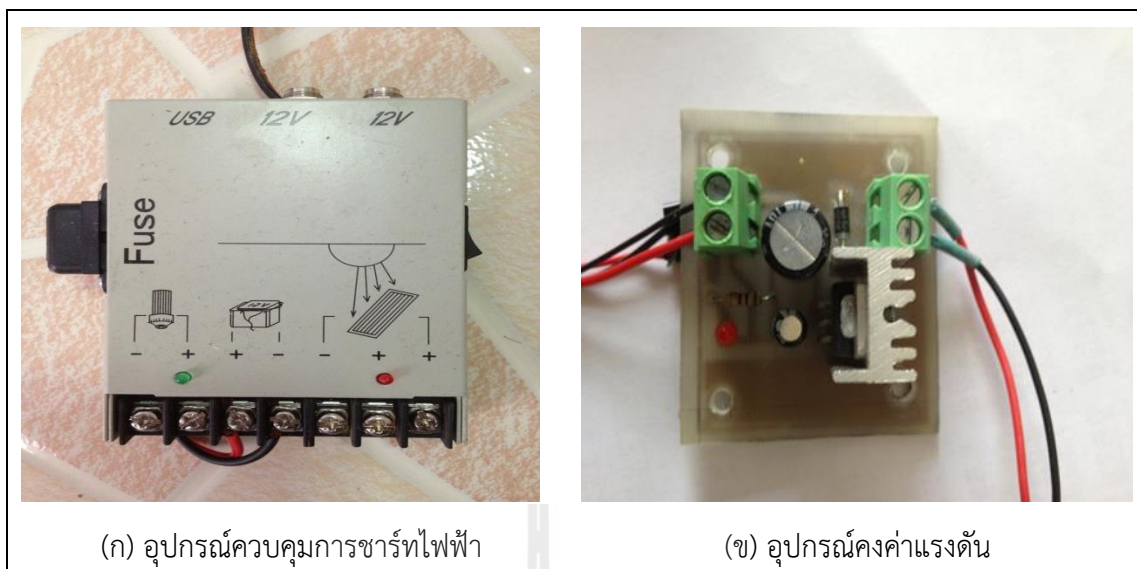
(ข) แบตเตอรี่

รูปที่ 3.17 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการชาร์จไฟฟ้าที่ได้จากจากเซลล์แสงอาทิตย์ในเวลากลางวันไปยังแบตเตอรี่และควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปยังโหลดในเวลากลางคืน โดยมีข้อมูลทางเทคนิคดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

Operating temperature	-10°C – 42°C	Humidity	≤ 80%
Solar panel	80 Watt@17.5V	Recommended battery	12V/(7-40)Ah deep Cycle
Max. DC output	4V	Output DC Voltage	5.5V-12V (±10%)
Over discharge protection	11 ± 0.3V	Over charge protection	14.0-14.5V



(ก) อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จไฟฟ้า

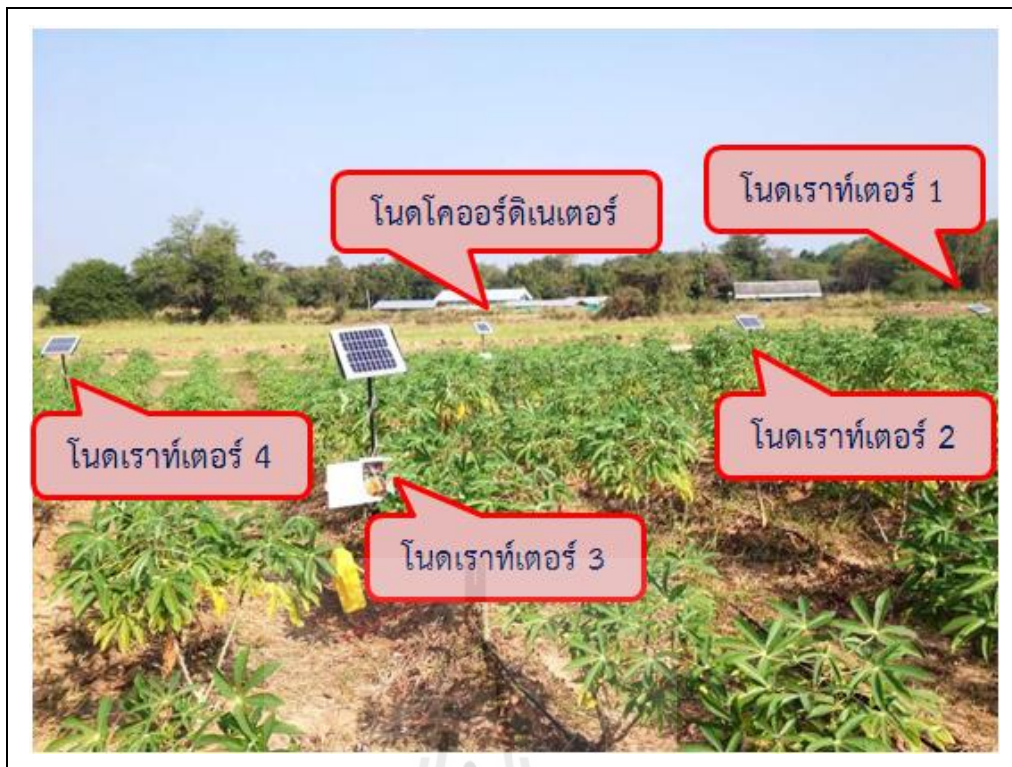
(ข) อุปกรณ์คงค่าแรงดัน

รูปที่ 3.18 อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จไฟฟ้าและอุปกรณ์คงค่าแรงดัน

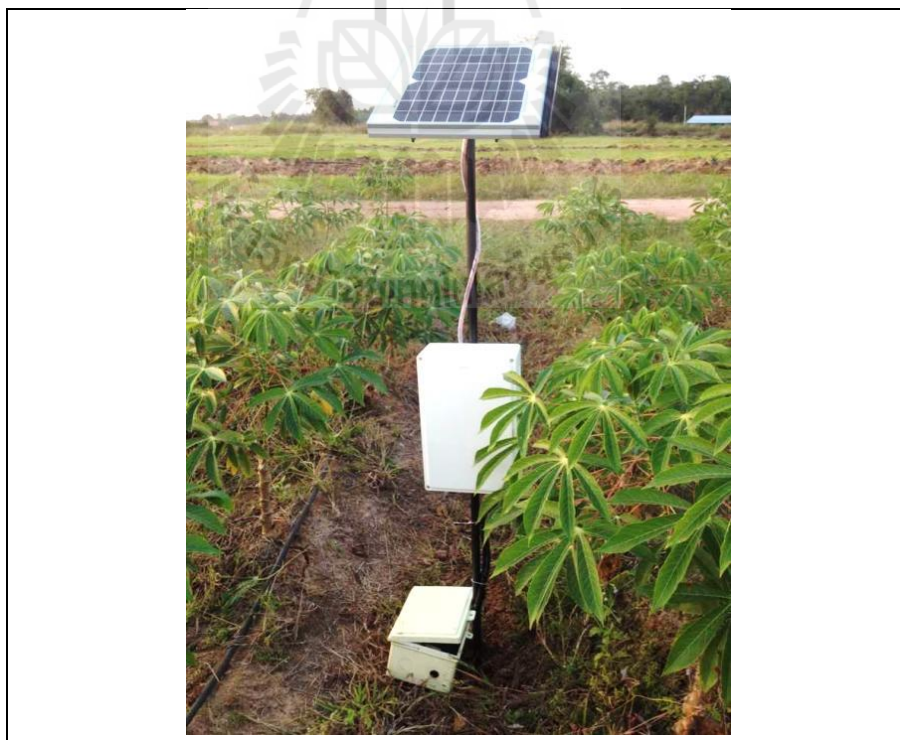
นอกจากนี้ผู้วิจัยยังทำการออกแบบอุปกรณ์สำหรับการคงค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulator) เพื่อใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 12V ให้เป็น 5V เพื่อนำไปใช้เป็นไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด FiO Std บอร์ด Waijung และบอร์ดสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

### 3.3 การติดตั้งชุดต้นแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

การติดตั้งชุดต้นแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่มีเทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูล ในบริเวณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งเป็นแปลงเพาะปลูกมันสำปะหลัง ขนาดพื้นที่ 1 ไร่ มีจำนวนจุดติดตั้งโนดเซนเซอร์ 4 จุด แต่ละโนดได้ทำการตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความชื้นในดิน และความเข้มแสง จากนั้นทำการส่งข้อมูลการตรวจวัดผ่านทาง GPRS เข้าสู่เซิร์ฟเวอร์ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเฝ้าระวังหรือติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้จากทุกแห่งที่มีอินเทอร์เน็ตใช้งาน โดยภาพการติดตั้งในพื้นที่เพาะปลูกจริงแสดงดังรูปที่ 3.19 และรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.19 การติดตั้งโนตเซนเซอร์ในพื้นที่เพาะปลูกจริง



รูปที่ 3.20 การติดตั้งระบบในฟาร์ม

### 3.3.1 ตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์

การติดตั้งเซนเซอร์ต่างๆ เพื่อวัดค่าสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นในดิน และความเข้มแสง ซึ่งค่าสภาพแวดล้อมเหล่านี้ต่างมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงต้องมีการวัดค่าสภาพแวดล้อม เพื่อนำไปปรับปรุงสภาพดิน ปริมาณน้ำ หรือความเข้มแสง เพื่อให้เหมาะสมกับพืชชนิดนั้นๆ และเพื่อความสะดวกต่อการดูข้อมูล จึงมีการส่งข้อมูลขึ้นเซิร์ฟเวอร์เพื่อดูข้อมูลผ่านทางอินเทอร์เน็ตได้

#### 1) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

การติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ มีตำแหน่งที่ใช้ในการติดตั้งบริเวณข้างกล่องใส่บอร์ดทดลอง ลักษณะของกล่องมีการระบายอากาศเพื่อไม่ให้กล่องมีความร้อนมากเกินไปซึ่งจะมีผลต่อการค่าอุณหภูมิที่ได้ แสดงการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 การติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

#### 2) เซนเซอร์วัดความเข้มแสง

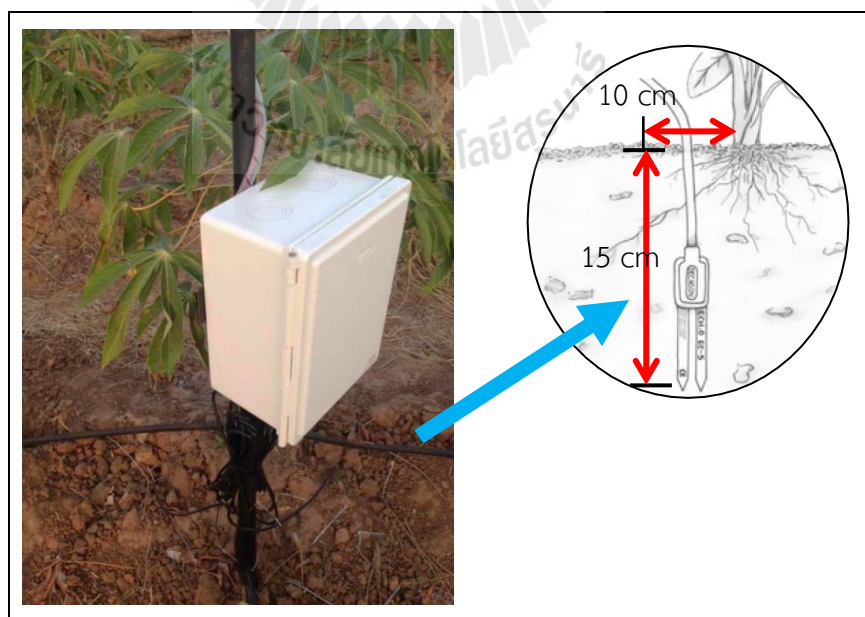
การติดตั้งเซนเซอร์วัดความเข้มแสง มีตำแหน่งที่ใช้ในการติดตั้งบริเวณข้างกล่องใส่บอร์ดทดลองเช่นเดียวกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ลักษณะของกล่องเป็นกล่องใสที่แสงส่องผ่านได้ แสดงการติดตั้งเซนเซอร์วัดความเข้มแสงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 การติดตั้งเซนเซอร์วัดความเข้มแสง

### 3) เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

การติดตั้งเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน มีตำแหน่งที่ใช้ในการติดตั้งบริเวณรอบข้างต้นมันสำปะหลัง ระยะห่างจากลำต้น 10 เซนติเมตร ที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทดสอบบริเวณที่มีการรดน้ำต้นมันสำปะหลังและบริเวณที่ไม่มีการรดน้ำ แสดงการติดตั้งเซนเซอร์วัดความชื้นในดินดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 การติดตั้งเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

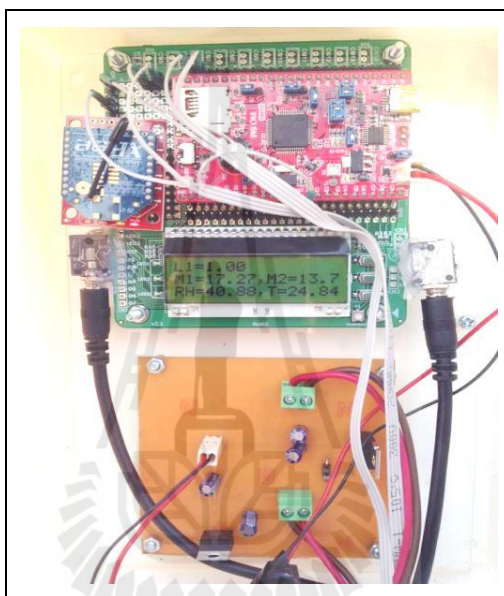


### 3.3.2 การแสดงผลข้อมูลสภาพแวดล้อม

การแสดงผลข้อมูลสภาพแวดล้อมที่วัดได้ในพื้นที่เกษตรกรรมสามารถแบ่งการแสดงผลออกเป็น 2 ส่วนคือ การแสดงผลของแต่ละโนด ซึ่งเป็นการแสดงผลบริเวณที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ เซนเซอร์และการแสดงผลบนอินเทอร์เน็ต

#### 1) การแสดงผลของแต่ละโนด

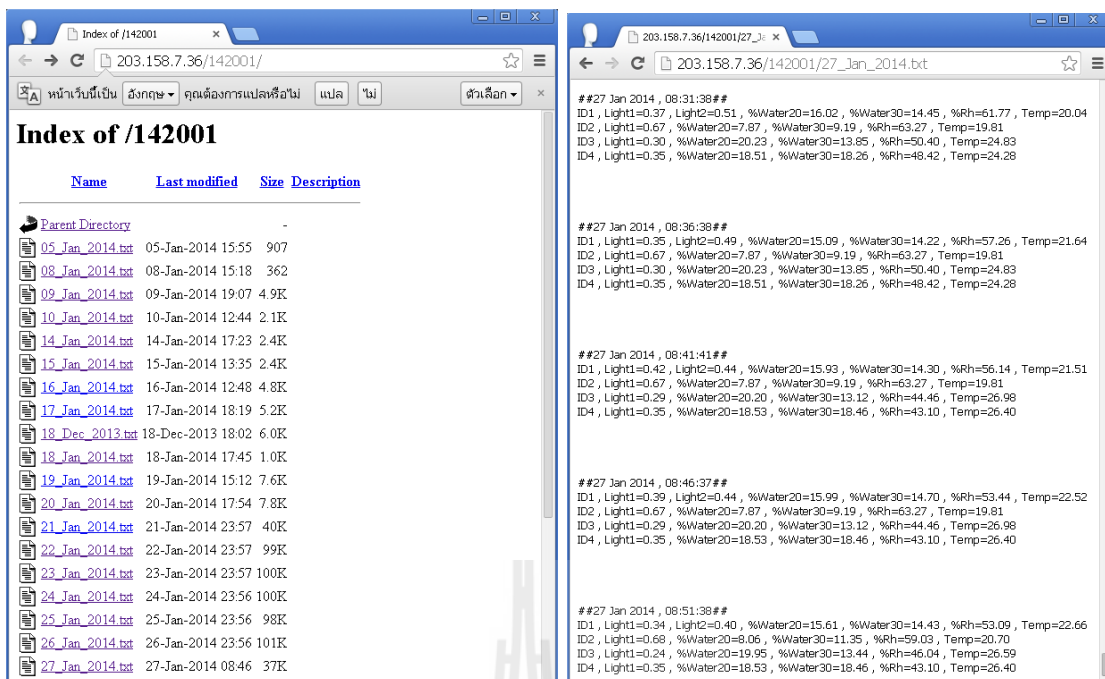
มีการแสดงผลข้อมูลสภาพแวดล้อมที่หน้าจอ LCD ของแต่ละโนด ซึ่งเราสามารถอ่านค่าสภาพแวดล้อมได้โดยตรง แสดงดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 การแสดงผลหน้าจอ LCD ของแต่ละโนด

#### 2) การแสดงผลทางอินเทอร์เน็ต

การแสดงผลข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตซึ่งสามารถเข้าไปดูได้ที่เว็บไซต์ <http://203.158.7.36/142001/> เลือกรูปการแสดงผลตามวันที่ต้องการ แสดงผลข้อมูลทั้งหมด 4 โหนด โดยแต่ละโนดจะแสดงผลข้อมูลสภาพแวดล้อมคือ อุณหภูมิ (Temp) ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ความชื้นในดิน (%Water) และความเข้มแสง (Light) ทำการแสดงผลในทุกๆ 5 นาที เพื่อให้เกิดความแม่นยำของข้อมูล สะดวกและง่ายต่อการเฝ้าติดตามผล

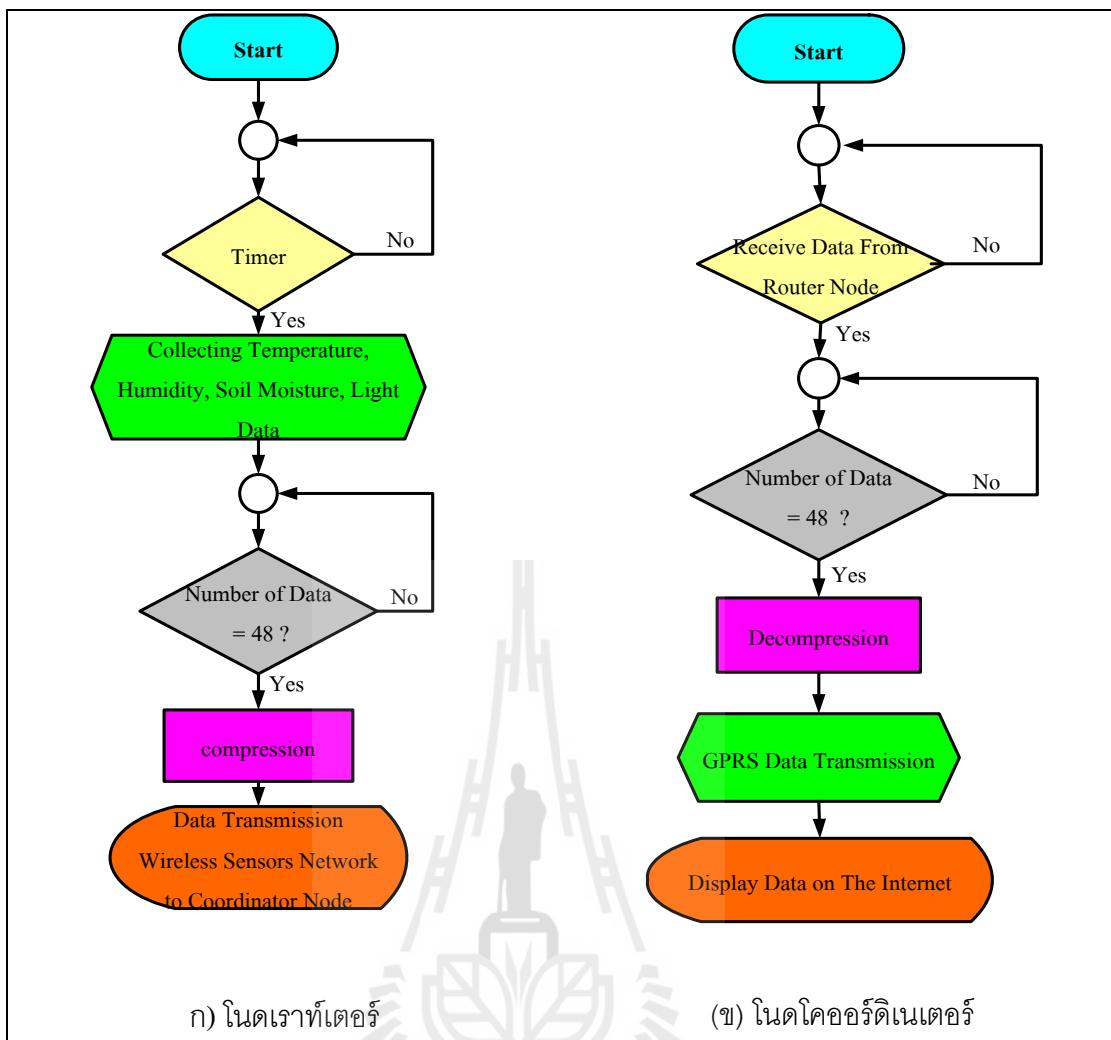


รูปที่ 3.25 การแสดงผลทางอินเทอร์เน็ต

### 3.4 การออกแบบทางซอฟต์แวร์

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการบีบอัดข้อมูลสภาพแวดล้อมในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมของฝั่งรับข้อมูล ซึ่งจะถูกรเรียกว่า โหนดโคออดิเนเตอร์ และฝั่งส่งข้อมูลซึ่งทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซนเซอร์ จะถูกรเรียกว่า โหนดเร้าเตอร์ ดังรูปที่ 3.26 สามารถแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกได้เป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

- 1) การเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อม
- 2) การบีบอัดข้อมูลโดยการแปลงเวฟเล็ท
- 3) การหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม
- 4) รูปแบบการเรียนรู้และการทดสอบเครือข่ายประสาทเทียม



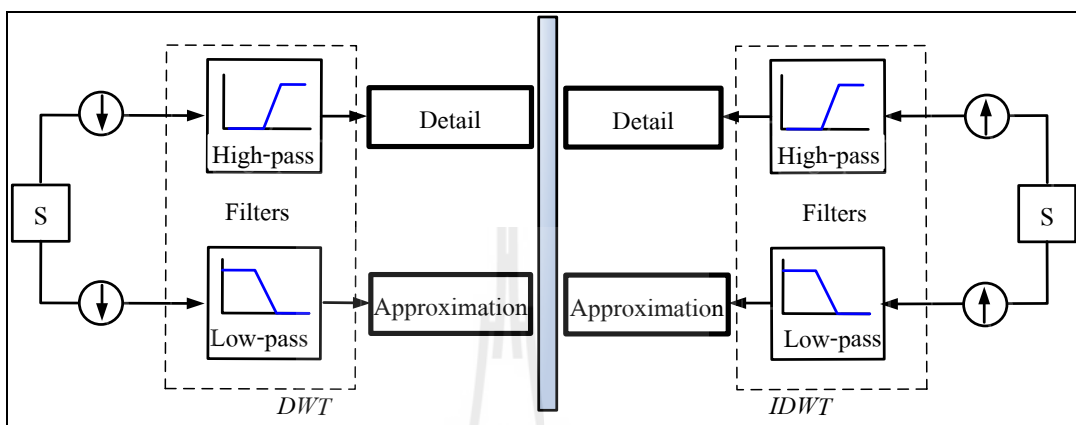
รูปที่ 3.26 การทำงานของโปรแกรมควบคุมโนดโคออร์ดิเนเตอร์และโนดเราท์เตอร์

### 3.4.1 การเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อม

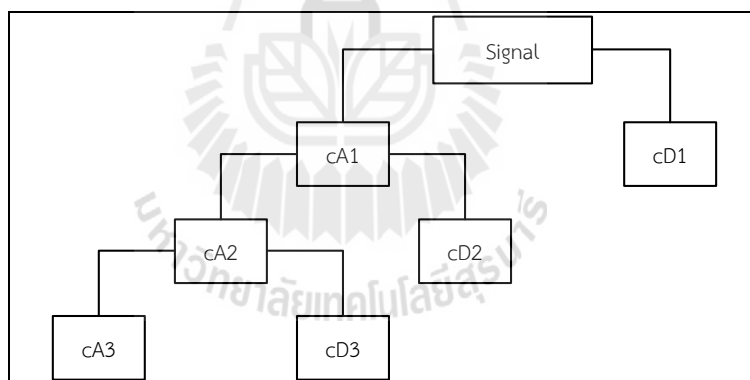
การเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมเพื่อใช้ในการบีบอัดข้อมูลนั้น ได้ทำการเก็บข้อมูลของ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นในดิน และความเข้มแสง บริเวณแปลงปลูกมันสำปะหลังที่ฟาร์ม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมเหล่านี้ เป็นชุดทดลอง ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32TM ARM 32-bits CortexTM M3 Processors หรือเรียกว่า บอร์ด FIO Std โดยเก็บข้อมูลและส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย GPRS ไปยังเซิร์ฟเวอร์ทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 1 เดือน จะนำข้อมูลที่ถูเก็บไว้มาทำการจำลองการบีบอัดข้อมูลเพื่อใช้เป็นข้อมูลให้เครือข่ายประสาทเทียมได้เรียนรู้และจดจำรูปแบบเพื่อหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม

### 3.4.2 การบีบอัดข้อมูลโดยการแปลงเวฟเล็ต

ในกระบวนการบีบอัดโดยใช้การแปลงเวฟเลตนั้น จะทำการแยกสัญญาณออกเป็น 2 ค่า คือ ค่าสัมประสิทธิ์การประมาณ (Approximate coefficient) และค่าสัมประสิทธิ์รายละเอียด (Detail coefficient) โดยนำข้อมูลเหล่านี้ไปประมวลผลในการบวนการอื่นต่อไป ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า การแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีต (Discrete Wavelet Transform: DWT)

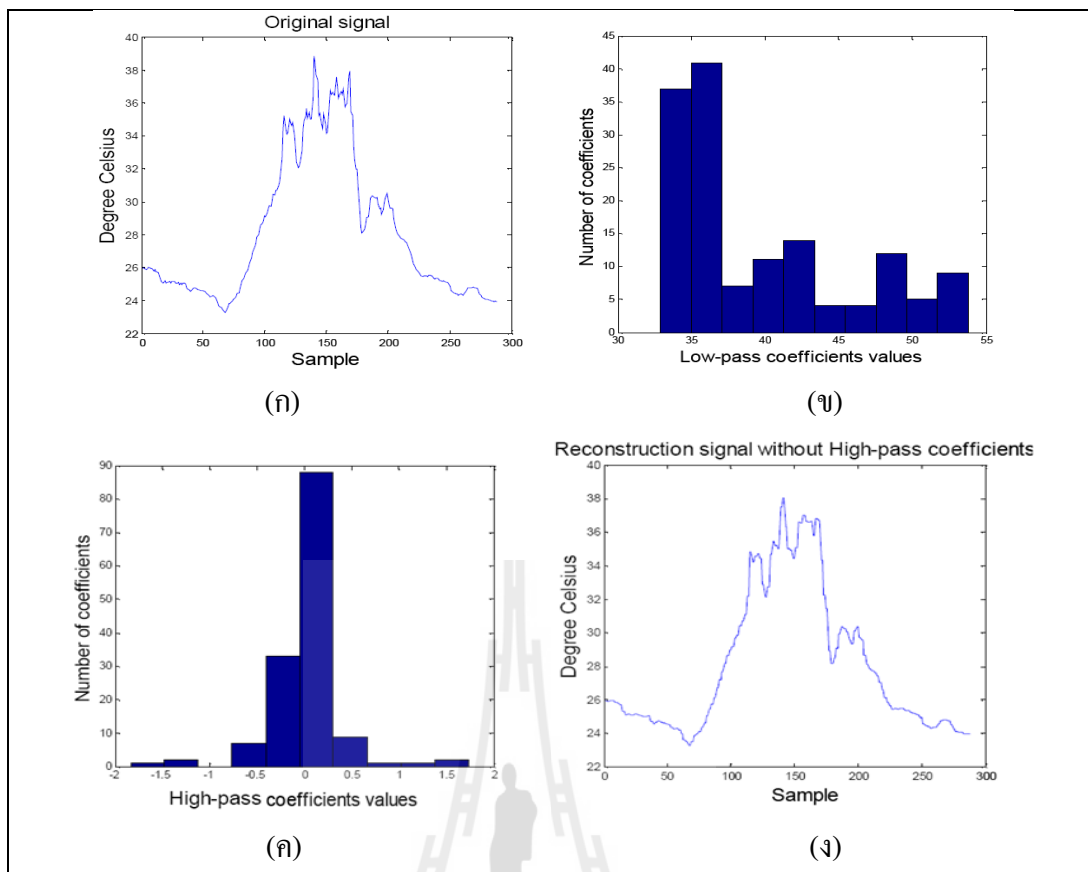


รูปที่ 3.27 การแยกองค์ประกอบและการรวมกลับองค์ประกอบในการแปลงเวฟเล็ต 1 ระดับ



รูปที่ 3.28 องค์ประกอบของการแปลงเวฟเล็ตหลายระดับ

เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การประมาณและค่าสัมประสิทธิ์รายละเอียดมาพล็อตเป็นกราฟพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การประมาณ ประกอบไปด้วยองค์ประกอบของสัญญาณด้านความถี่ต่ำ ซึ่งในข้อมูลของสภาพแวดล้อมข้อมูลส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงของความถี่ต่ำ แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของความถี่ต่ำ ดังรูปที่ 3.29 (ข) และค่าสัมประสิทธิ์รายละเอียด เป็นองค์ประกอบของความถี่สูง มีลักษณะของสัญญาณรบกวนเป็นส่วนใหญ่ แสดงดังรูปที่ 3.29 (ค)



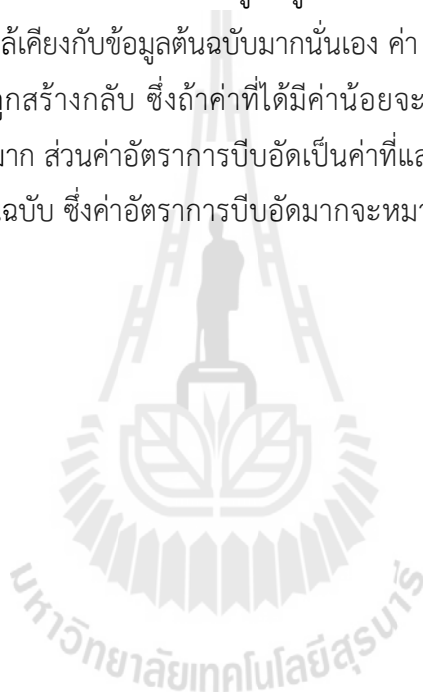
รูปที่ 3.29 (ก) สัญญาณต้นฉบับ (ข) สัมประสิทธิ์ของความถี่ต่ำ (ค) สัมประสิทธิ์ของความถี่สูง (ง) สัญญาณที่ถูกสร้างกลับ [12]

งานวิจัยนี้ได้เลือกพิจารณาเวฟเล็ตเพื่อนำมาใช้งาน 4 ชนิด ได้แก่ Haar Daubechies Symlet และ Coiflets เนื่องจากเป็นเวฟเล็ตที่มีคุณลักษณะเหมือนกันคือ เป็นเวฟเล็ตแบบตั้งฉาก (Orthogonal Wavelet) ซึ่งจะทำให้สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติได้ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ในการบีบอัดสัญญาณโดยการแปลงเวฟเล็ตของการประมวลผลสัญญาณส่วนใหญ่เป็นสัญญาณความถี่ต่ำ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การประมาณเป็นค่าที่ได้จากการผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter) ในกระบวนการบีบอัดข้อมูลโดยการแปลงเวฟเล็ต ดังแสดงในรูปที่ 3.29 (ข)

โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการหาคุณภาพเวฟเล็ตทั้ง 4 ชนิด ที่กล่าวมา เพื่อหาชนิดของการแปลงเวฟเล็ตที่เหมาะสม ซึ่งแต่ละชนิดของการแปลงเวฟเล็ต สามารถแบ่งออกเป็นชนิดย่อย เช่น Daubechies แบ่ง ออก เป็น Daubechies2 (Db2) Daubechies4 (Db4) Daubechies6 (Db6) Daubechies8 (Db8) และ Daubechies10 (Db10) การแปลงเวฟเล็ตชนิด Symlet แบ่งออกเป็น Symlet1 ถึง Symlet5 และการแปลงเวฟเล็ตชนิด Coiflets แบ่งออกเป็น Coiflets1 ถึง Coiflets5 ซึ่งแต่ละชนิดของการแปลงเวฟเล็ตจะทำการแปลงเวฟเล็ต 1 ถึง 3 ระดับ ในการบีบอัดข้อมูลสภาพแวดล้อมโดยใช้เทคนิคการแปลงเวฟเล็ตแบบ SHPS [7] ซึ่งทำการแปลงเวฟเล็ตและตัดสัญญาณ

ด้านความถี่สูงทิ้ง จะส่งเพียงข้อมูลด้านความถี่ต่ำเท่านั้น ในส่วนของการสร้างกลับข้อมูลจะทำการสร้างสัญญาณ 0 เข้ามาแทนที่สัญญาณด้านความถี่สูงที่ถูกตัดทิ้งไป โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการของ Mohsen Nasri [7] เนื่องจากวิธีการตัดองค์ประกอบด้านความถี่สูงของการแปลงเวฟเล็ต SHPS ที่นำเสนอ เป็นวิธีการที่ง่ายต่อการดำเนินการ ซึ่งในกระบวนการแปลงเวฟเล็ตเป็นการแยกองค์ประกอบของสัญญาณความถี่ต่ำและความถี่สูงจึงสามารถทำการตัดสัญญาณความถี่สูงได้ง่ายและสามารถดำเนินการได้อย่างรวดเร็ว เพื่อหาคุณภาพของการแปลงเวฟเล็ตแต่ละชนิด ซึ่งผู้วิจัยมีความคาดหวังว่าวิธีการดังกล่าวจะสามารถหาการแปลงเวฟเล็ตที่มีคุณภาพดี เพื่อนำไปใช้งานในการบีบอัดข้อมูลต่อไป

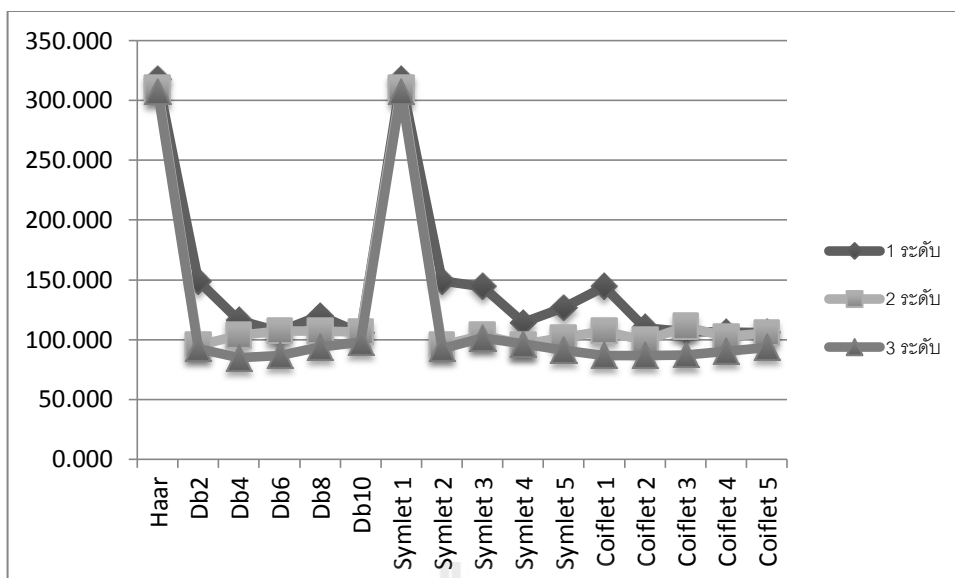
การทดสอบคุณภาพของการใช้งานเวฟเล็ตทั้ง 4 ชนิด โดยใช้ข้อมูล 10 ชุดข้อมูลในการทดสอบ ชุดข้อมูลละ 48 ค่า วัดจากค่า  $SNR$   $RMSE$  และอัตราการบีบอัดข้อมูล โดยที่ค่า  $SNR$  จะแสดงถึงคุณภาพของข้อมูลต้นฉบับเทียบกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับ ซึ่งถ้าค่าที่ได้มีค่ามากจะหมายถึงข้อมูลที่ถูกสร้างกลับมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลต้นฉบับมากนั่นเอง ค่า  $RMSE$  แสดงถึงคุณภาพของข้อมูลต้นฉบับเทียบกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับ ซึ่งถ้าค่าที่ได้มีค่าน้อยจะหมายถึงข้อมูลที่ถูกสร้างกลับมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลต้นฉบับมาก ส่วนค่าอัตราการบีบอัดเป็นค่าที่แสดงอัตราส่วนการลดลงของข้อมูลที่ถูกบีบอัดเทียบกับข้อมูลต้นฉบับ ซึ่งค่าอัตราการบีบอัดมากจะหมายถึงสามารถลดขนาดข้อมูลได้มากขึ้นนั่นเอง



ตารางที่ 3.7 ค่าเฉลี่ย  $SNR$  ของข้อมูลที่ผ่านการบีบอัด จำนวน 10 ชุดข้อมูล

ชนิดของเวฟเล็ต	ระดับการแปลง		
	1 ระดับ	2 ระดับ	3 ระดับ
Haar	317.554	310.375	307.129
Db2	148.979	95.371	92.599
Db4	116.295	103.493	84.849
Db6	106.591	107.088	86.870
Db8	120.130	107.094	93.650
Db10	105.545	106.307	97.699
Symlet 1	317.554	310.375	307.129
Symlet 2	148.979	95.371	92.599
Symlet 3	144.251	103.525	101.277
Symlet 4	114.296	95.861	96.323
Symlet 5	126.704	101.710	91.066
Coiflet 1	144.394	107.260	86.817
Coiflet 2	110.082	99.317	86.819
Coiflet 3	106.935	110.917	87.342
Coiflet 4	106.134	102.591	90.484
Coiflet 5	106.048	105.647	93.526

จากตารางที่ 3.7 แสดงให้เห็นถึงค่าเฉลี่ย  $SNR$  ของข้อมูลที่นำมาทำการบีบอัด 10 ชุดข้อมูล ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ในระดับการแปลงเวฟเล็ตที่ 1 2 และ 3 ของการบีบอัดข้อมูลด้วยการแปลงเวฟเล็ตชนิด Haar และ Symlet1 มีค่า  $SNR$  มากที่สุดคือ 317.554 310.375 และ 307.129 ตามลำดับ



รูปที่ 3.30 ค่าเฉลี่ย  $SNR$  ของข้อมูลที่ผ่านการบีบอัด จำนวน 10 ชุดข้อมูล

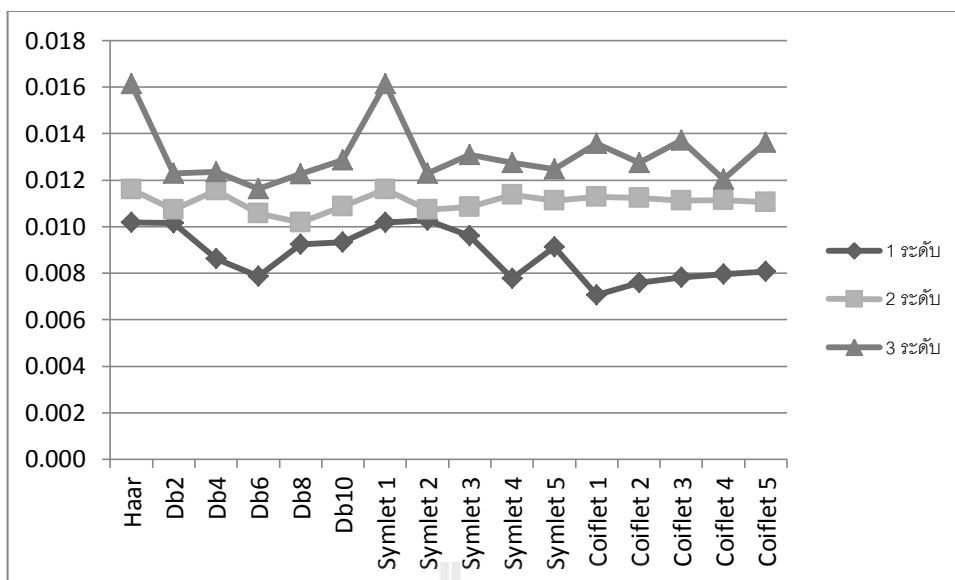
จากรูปที่ 3.30 จะเห็นได้ว่า ชนิดของการแปลงเวฟเล็ตที่ให้ค่า  $SNR$  ที่มากที่สุดคือ การแปลงเวฟเล็ตแบบ Haar และ Symlet1 และเมื่อระดับของการแปลงเวฟเล็ตมากขึ้นทำให้ค่า  $SNR$  มีค่าลดลงหรือคุณภาพของข้อมูลลดลงนั่นเอง



ตารางที่ 3.8 ค่าเฉลี่ย  $RMSE$  ของข้อมูลที่ผ่านการบีบอัด จำนวน 10 ชุดข้อมูล

ชนิดของเวฟเล็ต	ระดับการแปลง		
	1 ระดับ	2 ระดับ	3 ระดับ
Haar	0.010	0.012	0.016
Db2	0.010	0.011	0.012
Db4	0.009	0.012	0.012
Db6	0.008	0.011	0.012
Db8	0.009	0.010	0.012
Db10	0.009	0.011	0.013
Symlet 1	0.010	0.012	0.016
Symlet 2	0.010	0.011	0.012
Symlet 3	0.010	0.011	0.013
Symlet 4	0.008	0.011	0.013
Symlet 5	0.009	0.011	0.012
Coiflet 1	0.007	0.011	0.014
Coiflet 2	0.008	0.011	0.013
Coiflet 3	0.008	0.011	0.014
Coiflet 4	0.008	0.011	0.012
Coiflet 5	0.008	0.011	0.014

จากตารางที่ 3.8 แสดงค่าเฉลี่ย  $RMSE$  ที่ผ่านกระบวนการสร้างกลับข้อมูลโดยการเติมศูนย์ ของข้อมูล 10 ชุดข้อมูล ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ในระดับที่ 1 ของการบีบอัดข้อมูลด้วยเวฟเล็ตชนิด Coiflet 1 มีค่า  $RMSE$  น้อยที่สุด คือ 0.007 ในระดับที่ 2 ของการบีบอัดข้อมูลด้วยเวฟเล็ตชนิด Db8 มีค่า  $RMSE$  น้อยที่สุด คือ 0.010 และในระดับที่ 3 ของการบีบอัดข้อมูลด้วยเวฟเล็ตชนิด Db2 Db4 Db6 Db8 Symlet 2 Symlet 5 และ Coiflet 4 มีค่า  $RMSE$  น้อยที่สุดคือ 0.012



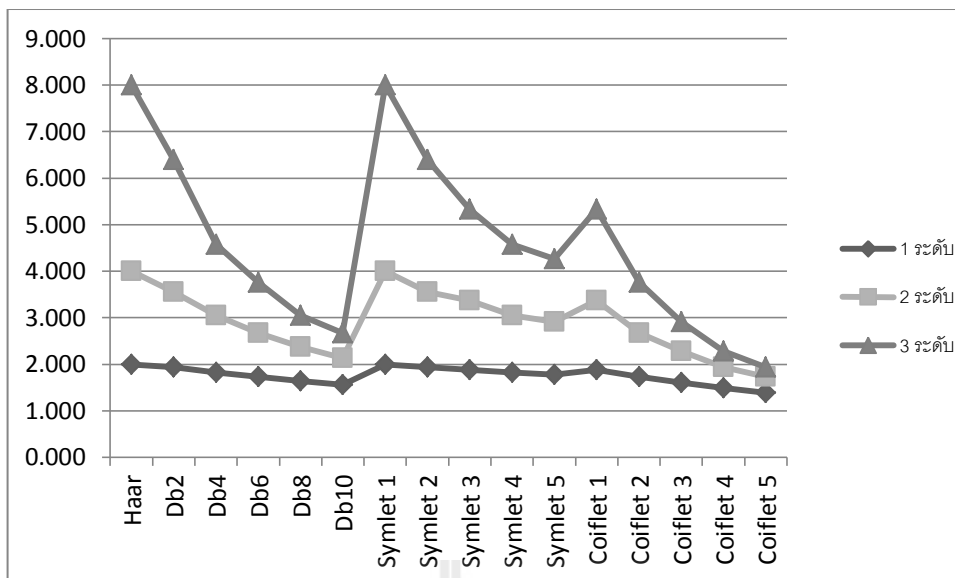
รูปที่ 3.31 ค่าเฉลี่ย  $RMSE$  ของข้อมูลที่ผ่านการบีบอัด จำนวน 10 ชุดข้อมูล

จากรูปที่ 3.31 แสดงค่า  $RMSE$  ของข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ผ่านกระบวนการสร้างกลับของข้อมูลโดยผ่านกระบวนการเติมศูนย์ จะพบว่าเมื่อทำการแปลงเวฟเล็ตที่ระดับการแปลงเพิ่มขึ้นจะได้ค่า  $RMSE$  เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งการแปลงเวฟเล็ตที่ให้ค่า  $RMSE$  ต่ำที่สุดคือ Coiflet1 มีค่า  $RMSE$  เท่ากับ 0.007

ตารางที่ 3.9 ค่าเฉลี่ยอัตราการบีบอัดของข้อมูลที่ผ่านการบีบอัด จำนวน 10 ข้อมูล

ชนิดของเวฟเล็ต	ระดับการแปลง		
	1 ระดับ	2 ระดับ	3 ระดับ
Haar	2.000	4.000	8.000
Db2	1.939	3.555	6.400
Db4	1.828	3.047	4.571
Db6	1.729	2.666	3.764
Db8	1.641	2.370	3.047
Db10	1.561	2.133	2.666
Symlet 1	2.000	4.000	8.000
Symlet 2	1.939	3.555	6.400
Symlet 3	1.882	3.368	5.333
Symlet 4	1.828	3.047	4.571
Symlet 5	1.777	2.909	4.266
Coiflet 1	1.882	3.368	5.333
Coiflet 2	1.729	2.666	3.764
Coiflet 3	1.600	2.285	2.909
Coiflet 4	1.488	1.939	2.285
Coiflet 5	1.391	1.729	1.939

จากตารางที่ 3.9 แสดงให้เห็นถึงค่าอัตราการบีบอัดข้อมูล ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบข้อมูลที่ถูกบีบอัดกับข้อมูลต้นฉบับ สามารถสรุปได้ว่า ในการแปลงเวฟเล็ตทั้ง 3 ระดับ การบีบอัดข้อมูลด้วยเวฟเล็ตชนิด Haar และ Symlet 1 มีค่าอัตราการบีบอัดมากที่สุด ที่ระดับการบีบอัดที่ 1 2 และ 3 มีอัตราการบีบอัดข้อมูลคือ 1:2 1:4 และ 1:8 ตามลำดับ



รูปที่ 3.32 คุณภาพของการบีบอัดข้อมูลของข้อมูลผ่านการบีบอัดจำนวน 10 ชุดข้อมูล

จากรูปที่ 3.32 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มระดับการแปลงเวฟเลตในการบีบอัดข้อมูลจะสามารถลดขนาดของข้อมูลได้มากขึ้นด้วย และเวฟเลตที่สามารถลดขนาดได้มากที่สุดคือเวฟเลตชนิด Haar และ Symlet 1 นั้นเอง

### 3.5 สรุป

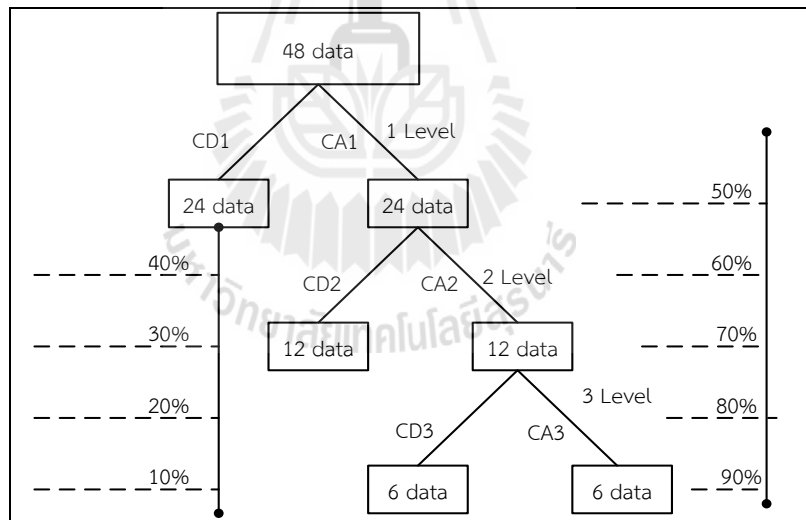
ในบทนี้ได้นำเสนอการออกแบบทางฮาร์ดแวร์ การออกแบบทางซอฟต์แวร์ และการติดตั้งเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในแปลงทดลองปลูกมันสำปะหลังในบริเวณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และหัวข้อสุดท้ายได้นำเสนอการบีบอัดข้อมูลโดยใช้การแปลงเวฟเลต จากการทดสอบคุณภาพของการบีบอัดข้อมูลพบว่า การบีบอัดข้อมูลด้วยเวฟเลตชนิด Haar และ Symlet 1 สามารถให้ค่า *SNR* มากที่สุด และมีค่าอัตราการบีบอัดที่มากที่สุด แต่ยังคงมีค่า *RMSE* ที่สูงกว่าการบีบอัดข้อมูลด้วยเวฟเลตชนิดอื่น ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้เวฟเลตชนิด Haar ในการบีบอัดข้อมูล เนื่องการประมวลผลในบอร์ด *FiO Std* เป็นการประมวลผลที่มีทรัพยากรที่จำกัด ซึ่งจากการศึกษาเวฟเลตชนิด Haar เป็นเวฟเลตที่ใช้งานง่าย ใช้ระยะเวลาในการประมวลผลสั้นมีหน่วยความจำในการคำนวณอย่างมีประสิทธิภาพและมีคุณสมบัติตั้งฉากด้วย นอกจากนี้บอร์ด *FiO Std* ยังรองรับการทำงานของเวฟเลตซึ่งง่ายต่อการนำไปใช้งานอีกด้วย

## บทที่ 4

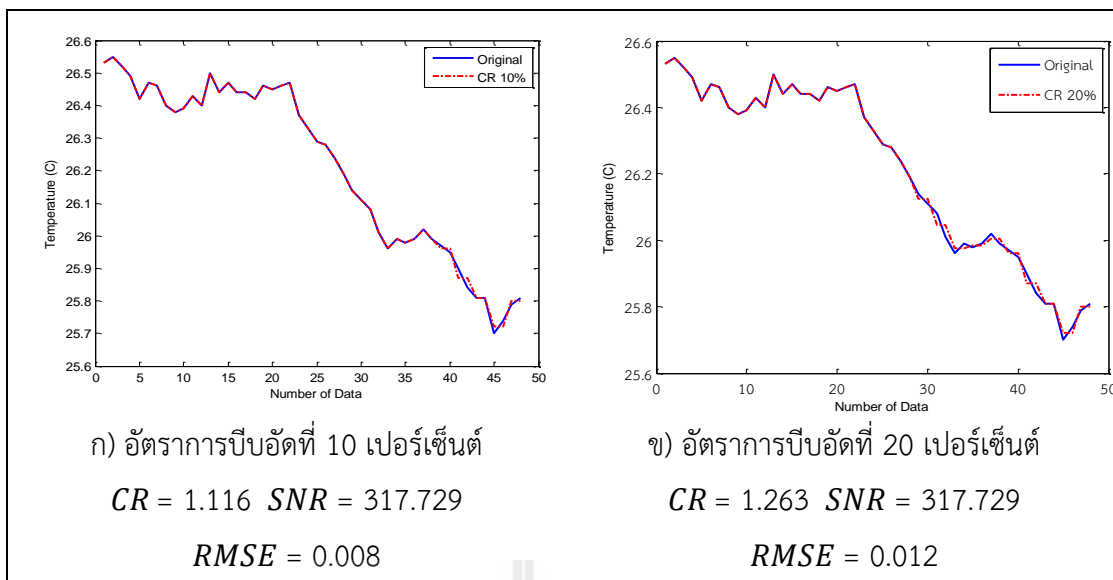
### ผลการทดลอง

#### 4.1 บทนำ

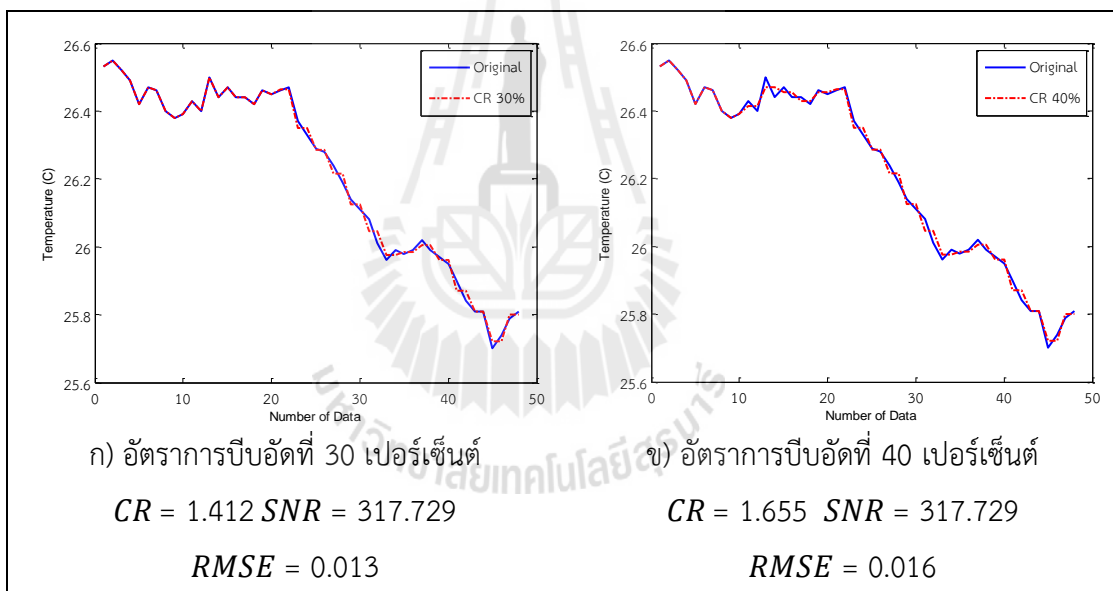
อัตราการบีบอัดที่เหมาะสมจะสามารถลดขนาดของข้อมูลได้มากเพียงพอโดยที่ยังทำให้ข้อมูลที่ได้จากการสร้างกลับมีคุณภาพดี และมีความแตกต่างกับข้อมูลต้นฉบับเพียงเล็กน้อย ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูลอินพุตที่ป้อนให้กับเครือข่ายประสาทเทียม ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลสภาพแวดล้อมที่เก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 1 เดือน มาทำการบีบอัดข้อมูลโดยวิธีการแปลงเวฟเล็ตชนิด Haar ครั้งละ 48 ข้อมูล และใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม โดยให้เครือข่ายประสาทเทียมเรียนรู้และจดจำรูปแบบของอัตราการบีบอัด ซึ่งมีทั้งหมด 9 รูปแบบ คือ 10% ถึง 90% [2] แสดงรูปแบบการแบ่งอัตราการบีบอัดข้อมูลดังรูปที่ 4.1 และแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับจากการบีบอัดข้อมูลอุณหภูมิด้วยอัตราการบีบอัดที่ 10% ถึง 90% ดังรูปที่ 4.2 ถึง 4.6



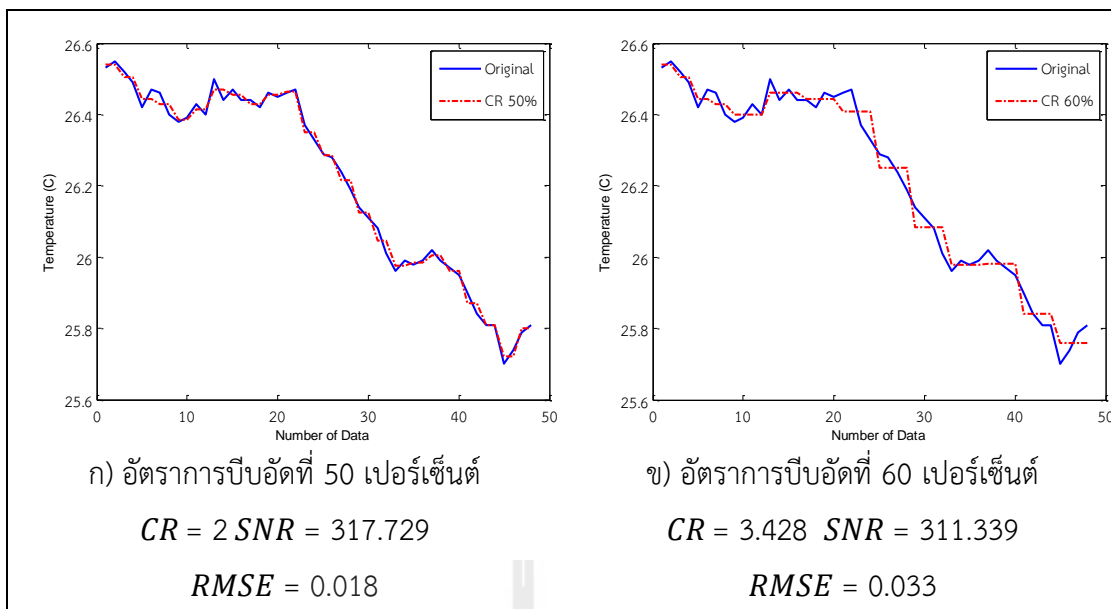
รูปที่ 4.1 การแบ่งอัตราการบีบอัดข้อมูลที่ 10% ถึง 90%



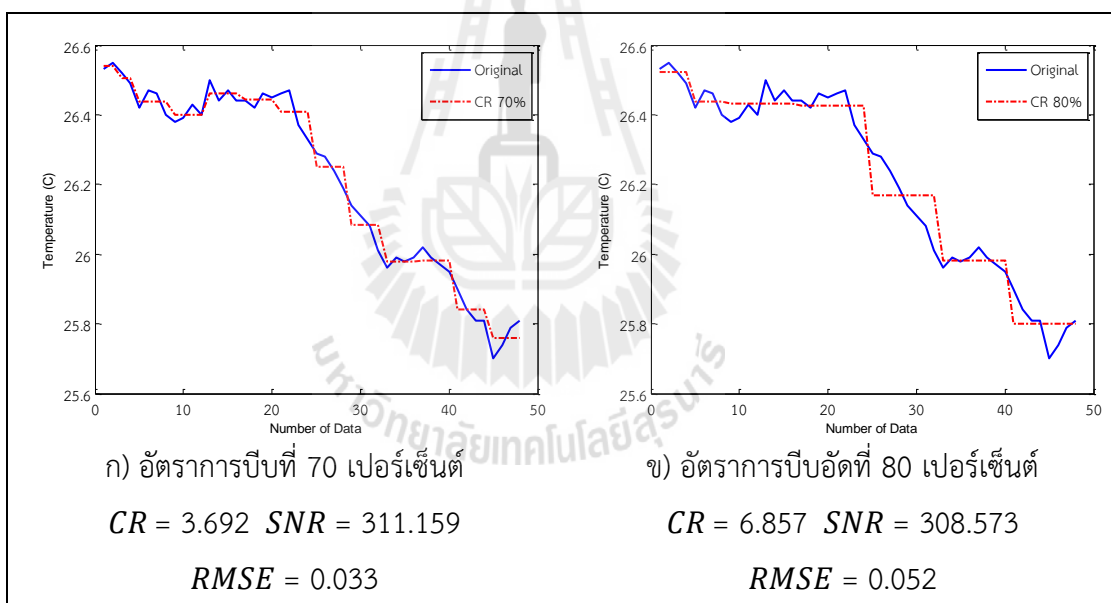
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบข้อมูลของอัตราการบีบอัดที่ 10% และ 20% กับข้อมูลต้นฉบับ



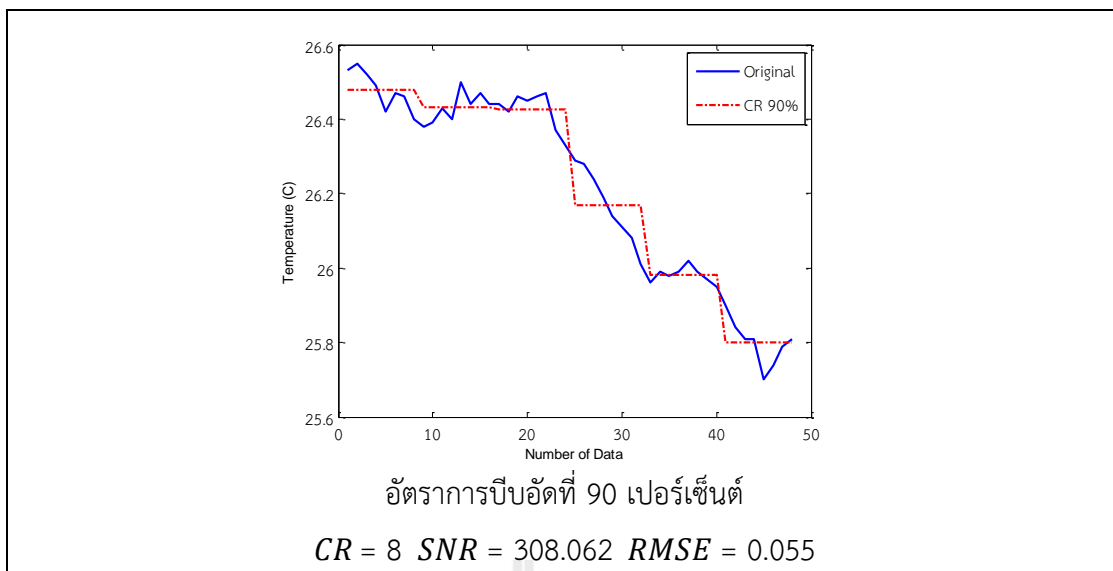
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบข้อมูลของอัตราการบีบอัดที่ 30% และ 40% กับข้อมูลต้นฉบับ



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบข้อมูลของอัตราการบีบอัดที่ 50% และ 60% กับข้อมูลต้นฉบับ



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบข้อมูลของอัตราการบีบอัดที่ 70% และ 80% กับข้อมูลต้นฉบับ



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบข้อมูลของอัตราการบีบอัดที่ 90% กับข้อมูลต้นฉบับ

## 4.2 การออกแบบเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการหาอัตราการบีบอัดข้อมูลที่เหมาะสม

### เหมาะสม

เครือข่ายประสาทเทียมเป็นรูปแบบหนึ่งของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งเครือข่ายประสาทเทียมจะมีความสามารถในการเรียนรู้ข้อมูลต่างๆ เพื่อสร้างแบบจำลองจากสิ่งที่เรียนรู้ การฝึกสอนให้เครือข่ายประสาทเทียมรู้จำข้อมูลนั้น เราได้เขียนโปรแกรม MATLAB โดยนำเสนอกลุ่มข้อมูลตัวอย่างให้กับเครือข่ายในรูปของคู่อินพุตพร้อมกับเป้าหมาย (Target) ที่ต้องการให้เครือข่ายตอบสนอง พิจารณาคู่ลำดับอินพุตและเป้าหมายดังสมการที่ 4.1

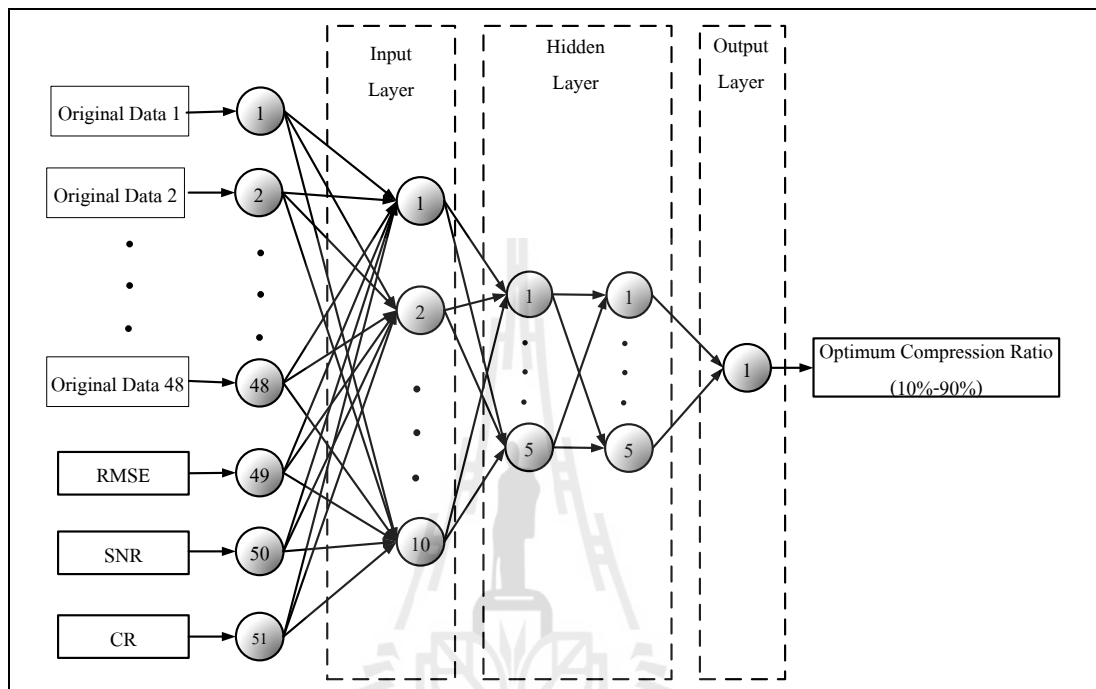
$$\{p_1, t_1\}, \{p_2, t_2\}, \dots, \{p_Q, t_Q\} \quad (4.1)$$

โดยที่  $p_i \in \mathbb{R}^R (i = 1, \dots, Q)$  เป็นเวกเตอร์อินพุตขนาดเท่ากับ  $R$  และ  $t_i \in \mathbb{R}^S (i = 1, \dots, Q)$  เป็นเวกเตอร์เป้าหมายขนาดเท่ากับ  $S$  ของเวกเตอร์อินพุต  $p_i$  เมื่ออินพุตถูกป้อนให้กับระบบเอาต์พุตของเครือข่ายจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับเวกเตอร์เป้าหมายของอินพุตนั้น ๆ แล้วเครือข่ายจะทำการปรับค่าน้ำหนักประสาทและไบอัสตามกฎการเรียนรู้ เพื่อให้เอาต์พุตของเครือข่ายลู่เข้าสู่เป้าหมายที่ต้องการ

เครือข่ายประสาทเทียมประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ ชั้นอินพุต (Input Layer) ชั้นซ่อนเร้น (Hidden Layer) ชั้นเอาต์พุต (Output Layer) การทำงานของชั้นอินพุต จะทำหน้าที่แทนส่วนของข้อมูลดิบ ที่จะถูกป้อนเข้าสู่เครือข่าย ชั้นซ่อนเร้นที่เชื่อมต่อกับอินพุตจะถูกกำหนด โดยการทำงาน ของชั้นอินพุตและค่าน้ำหนักบนความสัมพันธ์ระหว่างชั้นอินพุตและชั้นซ่อนเร้น ส่วนชั้นเอาต์พุตจะ



ขึ้นอยู่กับการทำงานของชั้นซ่อนเร้นและค่าน้ำหนักระหว่างชั้นซ่อนเร้นและชั้นเอาต์พุต ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเครือข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการเรียนรู้ข้อมูลของการบีบอัดจากข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ได้เก็บรวบรวมไว้ในฐานข้อมูลเพื่อหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม โดยทำการออกแบบโครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อสร้างแบบจำลองดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม

โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมในงานวิจัยนี้จะใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layer Neural Network) ที่มีการเรียนรู้โดยอัลกอริทึมแบบแพร่กลับ (Back Propagation) ซึ่งเป็นเครือข่ายประสาทเทียมที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยจะกำหนดพารามิเตอร์สำหรับโครงสร้างดังนี้

### 1) จำนวนชั้น

จำนวนชั้น (Layer) ของเครือข่ายประสาทเทียมนี้กำหนดให้มีทั้งหมด 4 ชั้น ประกอบด้วย 1) Input Layer จำนวน 1 ชั้น ซึ่งข้อมูลอินพุตจะเป็นข้อมูลสภาพแวดล้อม 48 ข้อมูลกับข้อมูลคุณภาพของการบีบอัดอีก 3 ข้อมูลคือ *RMSE* *SNR* และ *CR* 2) Hidden Layer จำนวน 2 ชั้น และ 3) Output Layer จำนวน 1 ชั้น ดังรูปที่ 3.30

## 2) จำนวนโนด

ในโครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมกำหนดให้แต่ละชั้นมีจำนวนโนดที่ไม่เท่ากัน โดยชั้นแรก Input Layer กำหนดจำนวนโนดคือ 10 ชั้น Hidden Layer ชั้นที่ 1 กำหนดจำนวนโนดคือ 5 Hidden Layer ชั้นที่ 2 กำหนดจำนวนโนดคือ 5 และ Output Layer กำหนดจำนวนโนด คือ 1 ตามค่าเอาต์พุตที่กำหนด

## 3) ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer Function)

ในแต่ละจำนวนชั้นของเครือข่ายประสาทเทียมจำเป็นต้องกำหนดฟังก์ชันการถ่ายโอนของแต่ละชั้นให้มีความเหมาะสมกับรูปแบบของข้อมูลที่เรียนรู้ โดยในโครงสร้างที่กล่าวนี้ได้ทำการทดสอบการใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนในหลายรูปแบบ เช่น hardlim logsig tansig purelin ซึ่งมีการลองผิดลองถูกสลับตำแหน่งของฟังก์ชันเพื่อหาฟังก์ชันที่เหมาะสมกับรูปแบบของข้อมูล โดยเลือกจากกราฟการดำเนินการที่สามารถเข้าสู่เป้าหมายโดยใช้เวลาน้อยที่สุด จากการทดสอบจะได้ฟังก์ชันการถ่ายโอนที่ใช้งานดังนี้

ตารางที่ 4.1 การกำหนดฟังก์ชันการถ่ายโอนของแต่ละชั้น

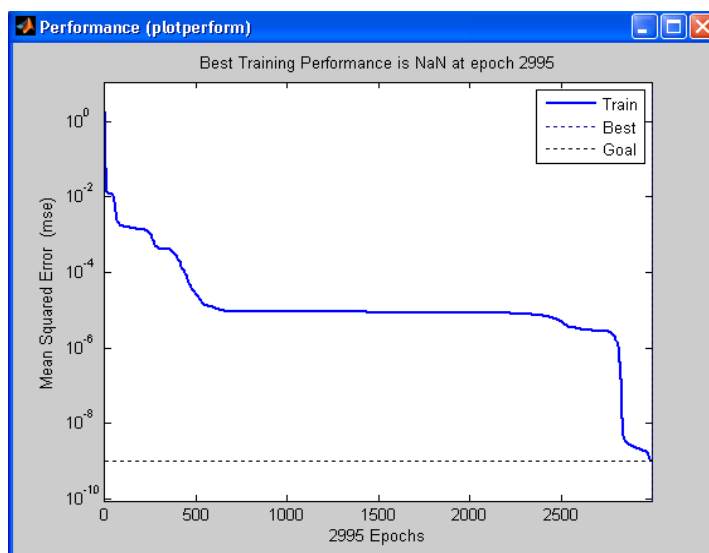
Layer	Transfer Function
Input	logsig
Hidden 1	logsig
Hidden 2	tansig
Output	purelin

## 4) ข้อมูลสำหรับการเรียนรู้

ข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียมนั้นจะถูกกำหนดค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ให้มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 เท่านั้น

## 5) พารามิเตอร์อื่นๆ

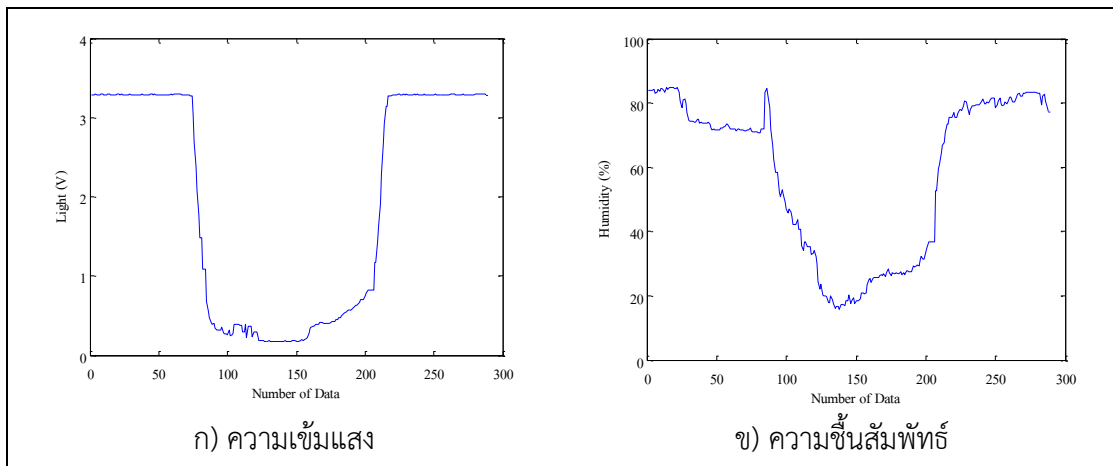
- Back propagation network training function คือ trainlm (default)
- Back propagation weight/bias learning function คือ learnqdm
- Performance function คือ MSE (default)



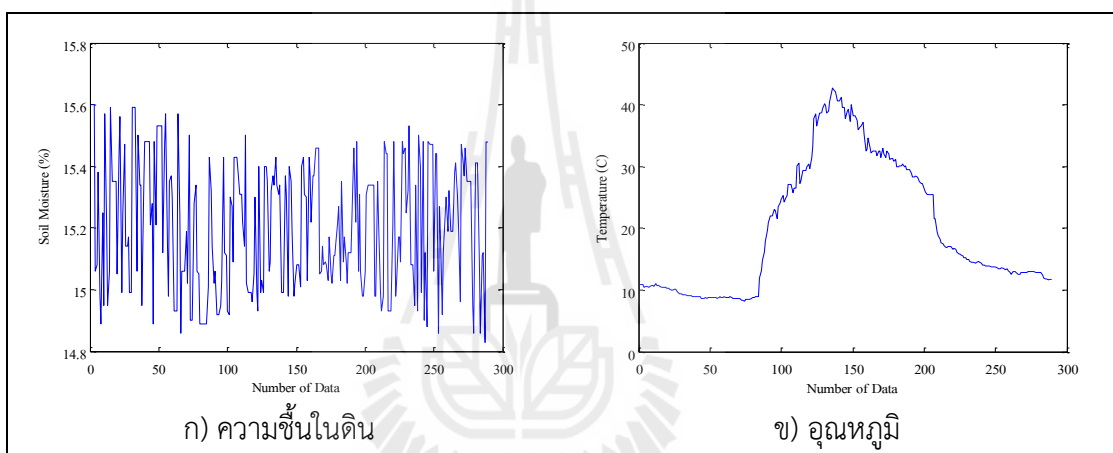
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่า Performance การเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียม

#### 4.2.1 รูปแบบการเรียนรู้และการทดสอบเครือข่ายประสาทเทียม

รูปแบบของข้อมูลสำหรับการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม ดังนั้นรูปแบบของข้อมูลจำเป็นต้องมีรูปแบบของการฝึกสอนที่เหมาะสม โดยกำหนดอัตราการบีบอัดให้เป็นเอาต์พุตของระบบ ข้อมูลอินพุตจะเป็นข้อมูลของสภาพแวดล้อมจริงและข้อมูลคุณภาพของการบีบอัดข้อมูลที่ได้จากการนำข้อมูลจริงไปผ่านกระบวนการบีบอัดและการสร้างกลับของข้อมูลและทำการเปรียบเทียบข้อมูลดังกล่าว ซึ่งคุณภาพของข้อมูลที่นำมาให้เครือข่ายประสาทเทียมได้เรียนรู้คือ  $RMSE$   $SNR$  และ  $CR$  ดังนั้นอินพุตของระบบคือ ข้อมูลสภาพแวดล้อมจริงจำนวน 48 ข้อมูล ค่า  $RMSE$   $SNR$  และ  $CR$  ซึ่งค่าคุณภาพนี้จะแตกต่างกันตามอัตราการบีบอัดที่ 10% ถึง 90% ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้แยกการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของแต่ละสภาพแวดล้อมโดยการนำข้อมูลสภาพแวดล้อมให้เครือข่ายประสาทเทียมเรียนรู้และจดจำรูปแบบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบคือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นในดิน และความเข้มแสง จากการเก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อที่จะหาอัตราการบีบอัดข้อมูลที่เหมาะสมของแต่ละสภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริงนั้นผู้ใช้งานสามารถการปรับตั้งช่วงเวลาของการเก็บข้อมูลให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน เช่น ชนิดของพืช ชนิดของข้อมูล เป็นต้น แสดงข้อมูลของแต่ละสภาพแวดล้อมใน 1 วัน ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ยกตัวอย่างรูปแบบข้อมูลอินพุตของอุณหภูมิในการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.9 ข้อมูลความเข้มแสงและความชื้นสัมพัทธ์ที่เก็บใน 1 วัน

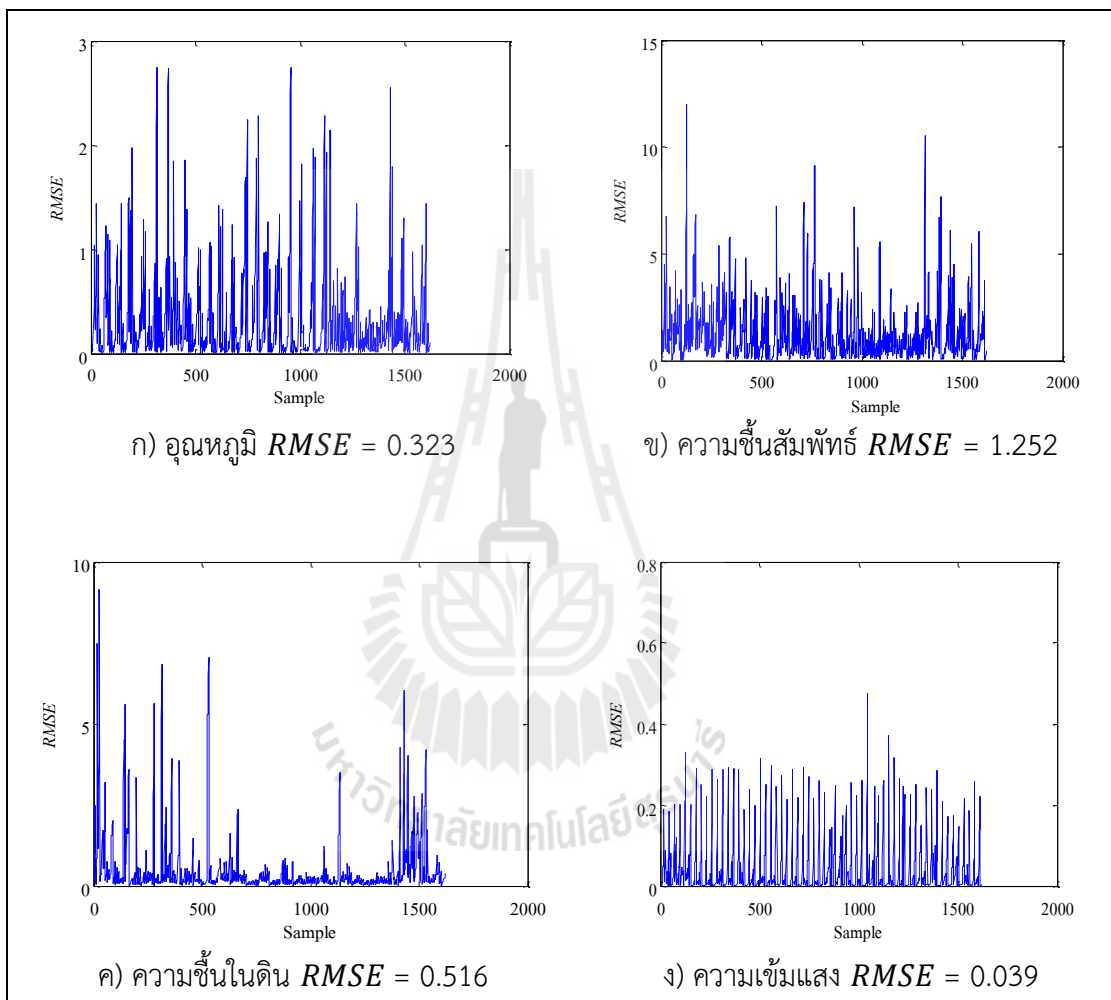


รูปที่ 4.10 ข้อมูลความชื้นในดินและอุณหภูมิที่เก็บใน 1 วัน

Data Train								
OCR10%	OCR20%	OCR30%	OCR40%	OCR50%	OCR60%	OCR70%	OCR80%	OCR90%
Temp Data 48 sample	Temp Data 48 sample	Temp Data 48 sample	Temp Data 48 sample	Temp Data 48 sample	Temp Data 48 sample	Temp Data 48 sample	Temp Data 48 sample	Temp Data 48 sample
RMSE	RMSE	RMSE	RMSE	RMSE	RMSE	RMSE	RMSE	RMSE
SNR	SNR	SNR	SNR	SNR	SNR	SNR	SNR	SNR
CR	CR	CR	CR	CR	CR	CR	CR	CR

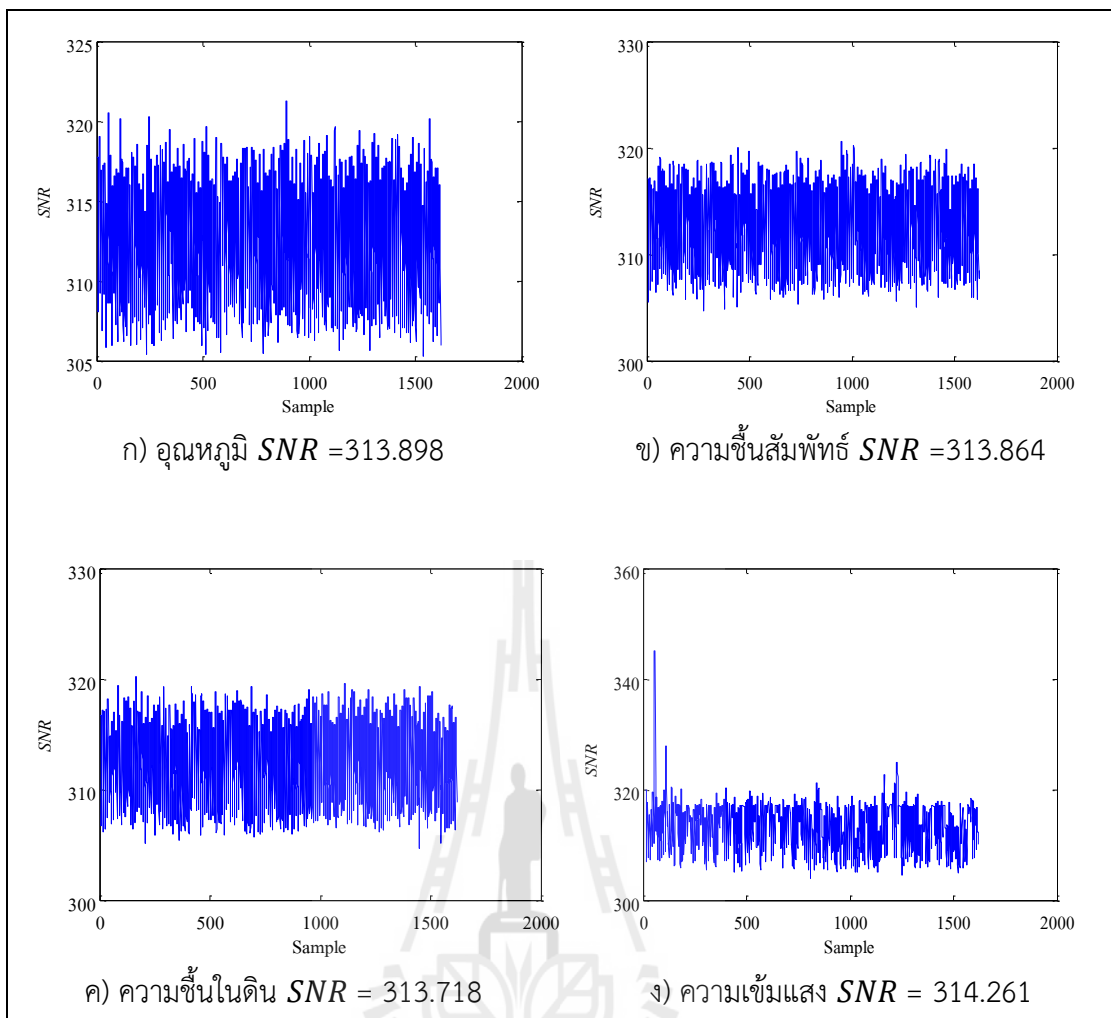
รูปที่ 4.11 รูปแบบข้อมูลอินพุตของอุณหภูมิในการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียม

ในการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม จะต้องมีการกำหนดค่า  $RMSE$   $SNR$  และค่า  $CR$  ซึ่งค่าเหล่านี้เราจะกำหนดโดยการใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละคุณภาพ เพื่อให้คุณภาพของข้อมูลที่ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลต้นฉบับในระดับที่ยอมรับได้ แสดงกราฟค่า  $RMSE$  ของการบีบอัดข้อมูลในแต่ละอัตราการบีบอัดข้อมูล ดังรูปที่ 4.12 แสดงกราฟค่า  $SNR$  ดังรูปที่ 4.13 และแสดงกราฟ  $CR$  ดังรูปที่ 4.14 ซึ่งจากค่าคุณภาพทั้ง 3 นี้ ผู้วิจัยได้ใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละคุณภาพในการกำหนดค่าดังกล่าวให้กับเครือข่ายประสาทเทียม



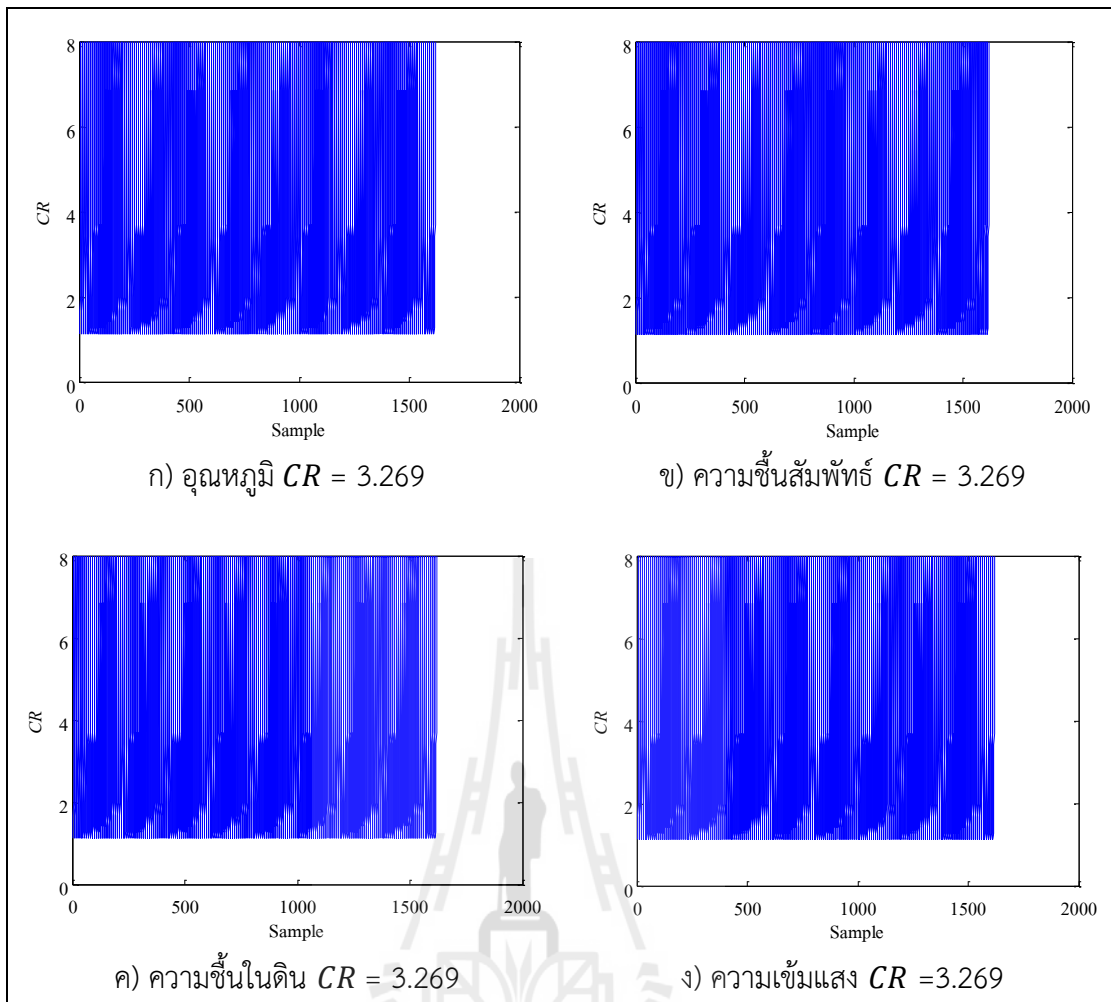
รูปที่ 4.12 กราฟค่า  $RMSE$  ของแต่ละสภาพแวดล้อม

จากรูปที่ 4.12 แสดงค่า  $RMSE$  ของแต่ละสภาพแวดล้อม ซึ่งมีค่าคุณภาพที่แตกต่างกัน โดยมีการหาค่าเฉลี่ยของ  $RMSE$  จะได้ค่าเฉลี่ย  $RMSE$  ของอุดมทงุมิเท่ากับ 0.323 ความขึ้นสัมพันธ์เท่ากับ 1.252 ความขึ้นในดินเท่ากับ 0.516 และความเข้มแสงเท่ากับ 0.039 เพื่อใช้ค่าคุณภาพเหล่านี้ไปใช้ในการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมโดยการกำหนดค่าอินพุตให้กับเครือข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการฝึกสอน



รูปที่ 4.13 กราฟค่า  $SNR$  ของแต่ละสภาพแวดล้อม

จากรูปที่ 4.13 แสดงค่า  $SNR$  ของแต่ละสภาพแวดล้อม ซึ่งมีการหาค่าเฉลี่ยของคุณภาพ  $SNR$  ที่แตกต่างกัน ค่าเฉลี่ย  $SNR$  ของอุณหภูมิต่างกับ 313.898 ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 313.864 ความชื้นในดินเท่ากับ 313.718 และความเข้มแสงเท่ากับ 314.261 ค่าคุณภาพเหล่านี้ถูกนำไปใช้เป็นอินพุตให้กับเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม



รูปที่ 4.14 กราฟค่า  $CR$  ของแต่ละสภาพแวดล้อม

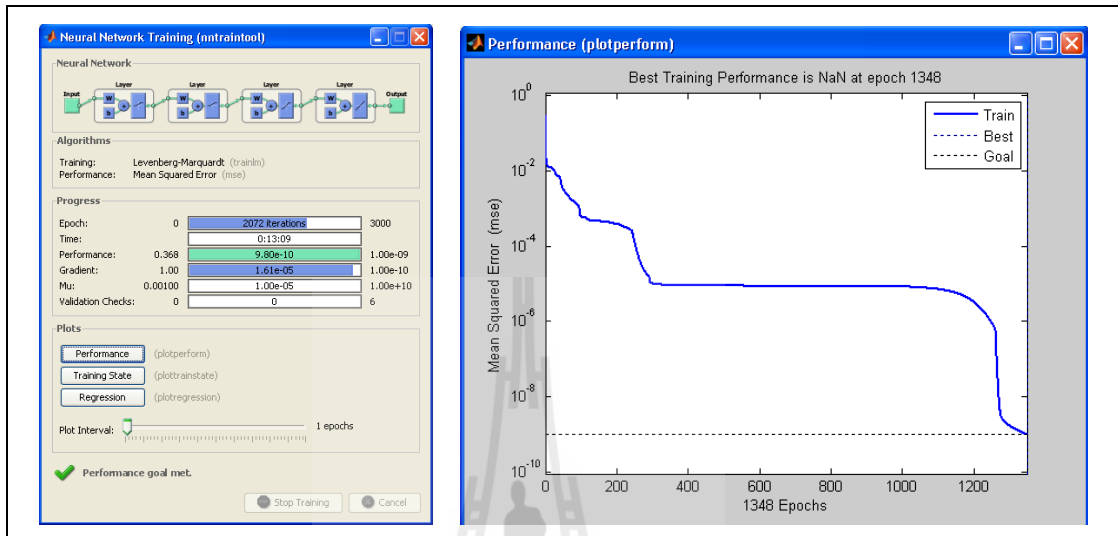
จากรูปที่ 4.14 เป็นการหาค่าเฉลี่ย  $CR$  ซึ่งจะได้ค่าเฉลี่ยอัตราการบีบอัดของแต่ละสภาพแวดล้อม จะเห็นได้ว่าทุกสภาพแวดล้อมมีอัตราการบีบอัดข้อมูลเฉลี่ยเท่ากันคือ 3.269 ผู้วิจัยได้นำค่าคุณภาพเหล่านี้ไปเป็นอินพุตให้กับระบบเพื่อให้เครือข่ายประสาทเทียมหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมได้

### 4.3 ผลการหาอัตราการบีบอัดข้อมูลที่เหมาะสมโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม

แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมที่ประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้มีโครงสร้างเป็นแบบไปข้างหน้าแบบหลายเลเยอร์ (Multi-Layer Feed Forward Network) โดยใช้คู่กับอัลกอริทึมแพร่กลับ (Back Propagation) ข้อมูลสำหรับการฝึกสอนและทดสอบแบบจำลองแบ่งออกเป็น 3 ชุดข้อมูล ชุดที่ 1 เป็นข้อมูลที่ให้เครือข่ายประสาทเทียมได้เรียนรู้จำนวน 30 วัน เรียกข้อมูลชุดนี้ว่า Training Data Set ชุดที่ 2 เป็นข้อมูลที่ใช้ทดสอบความถูกต้องของเครือข่ายประสาทเทียมโดยไม่ผ่านการฝึกสอนจำนวน

7 วัน เรียกข้อมูลชุดนี้ว่า Testing Data Set 1 และข้อมูลชุดที่ 3 เป็นข้อมูลที่ใช้หาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่ผ่านการฝึกสอนจำนวน 30 วัน เรียกข้อมูลชุดนี้ว่า Testing Data Set 2

### 1) การหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของอุณหภูมิ



รูปที่ 4.15 การเรียนรู้เครือข่ายประสาทเทียมและกราฟ Performance ของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมของอุณหภูมิ

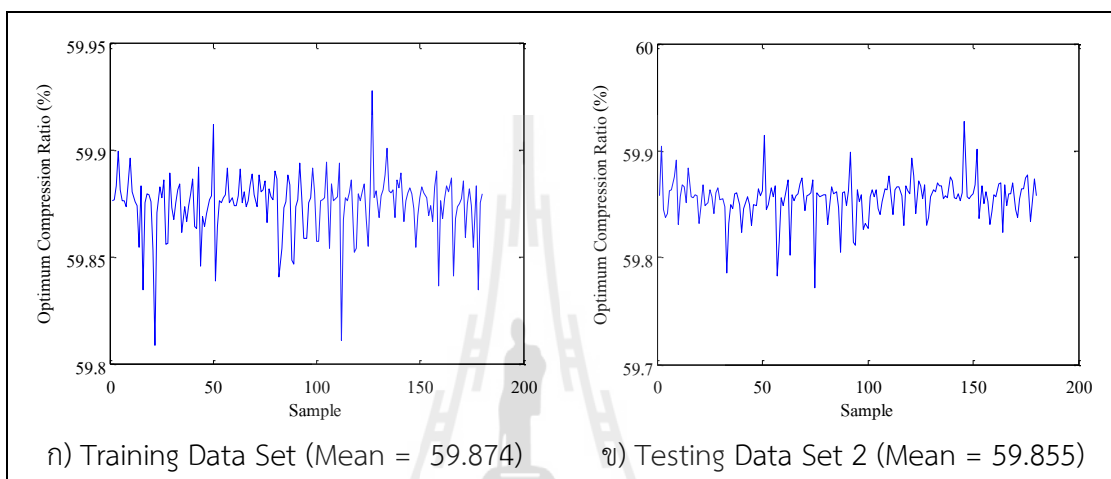
การเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียมโดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิและคุณภาพของแต่ละอัตราการบีบอัดเป็นอินพุตให้กับเครือข่าย และให้เอาต์พุตเป็นอัตราการบีบอัด 10% ถึง 90% ทำการกำหนดเป้าหมายไว้ที่  $10^{-9}$  ซึ่งจากการดำเนินการใช้เวลา 13.09 นาที กราฟการฝึกสอนก็สามารถเข้าสู่เป้าหมายที่กำหนดไว้ได้ ทดสอบความถูกต้องของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมโดยใช้ข้อมูลทำการทดสอบ 2 ชุดข้อมูลคือ ข้อมูลชุดที่ 1 เป็นชุดข้อมูล Training Data Set จำนวน 50 ข้อมูล และชุดข้อมูลที่ 2 เป็นชุดข้อมูล Testing Data Set 1 จำนวน 50 ข้อมูล แสดงผลการทดสอบความถูกต้องของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ทดสอบความถูกต้องของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมโดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิ

ข้อมูลทดสอบ	จำนวนข้อมูล	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
Training Data Set	50	100%
Testing Data Set 1	50	100%

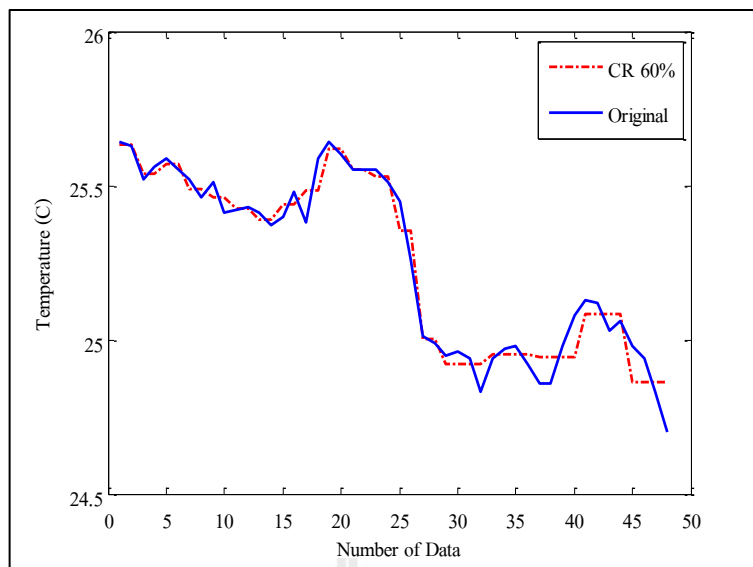


จากการทดสอบทั้งสองชุดข้อมูลพบว่าให้ความถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ ทั้งสองชุดข้อมูล จากนั้นทำการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการฝึกสอนนี้ โดยให้ข้อมูลอินพุตเป็นข้อมูลสภาพแวดล้อมจำนวน 2 ชุดข้อมูล คือ ชุดข้อมูลที่ 1 เป็นชุดข้อมูล Training Data Set และข้อมูลชุดที่ 2 เป็นข้อมูล Testing Data Set 2 ซึ่งทำการนำข้อมูลจำนวน 48 ข้อมูล กับข้อมูล  $CR, SNR$  และ  $RMSE$  เป็นข้อมูลอินพุตให้กับเครือข่ายประสาทเทียมในการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม ซึ่งสามารถแสดงอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของอุณหภูมิดังรูปที่ 4.16 โดยกำหนดค่าคุณภาพดังนี้  $CR = 3.269$   $SNR = 313.890$  และ  $RMSE = 0.323$



รูปที่ 4.16 การหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของอุณหภูมิ

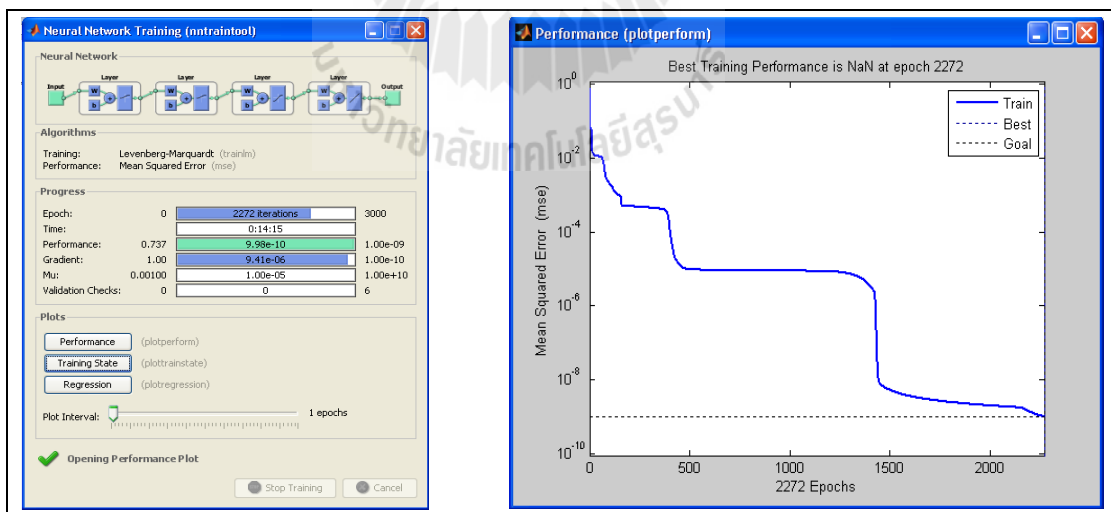
จากรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของข้อมูลอุณหภูมิจากข้อมูลชุดแรกให้ค่าเฉลี่ยของอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมคือ 59.874 เปอร์เซ็นต์ การทดสอบข้อมูลชุดที่ 2 ให้ค่าเฉลี่ยอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมที่ 59.855 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกอัตราการบีบอัดข้อมูลที่เหมาะสมของอุณหภูมิตั้งที่ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยแสดงการบีบอัดข้อมูลอุณหภูมิตัวด้วยอัตราการบีบอัดที่ 60 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับข้อมูลต้นฉบับดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 การบีบอัดข้อมูลอุณหภูมิด้วยอัตราการบีบอัดข้อมูลที่ 60 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่ผ่านมาการบีบอัดด้วยอัตราการบีบอัดข้อมูล 60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสร้างข้อมูลกลับคืนและเทียบกับข้อมูลต้นฉบับจะได้รูปข้อมูลที่ใกล้เคียงกันซึ่งจะได้ค่าคุณภาพจากการบีบอัดข้อมูลดังนี้  $CR = 3.428$   $SNR = 311.013$  และค่า  $RMSE = 0.057$

## 2) การหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของความขึ้นสัมพันธ์



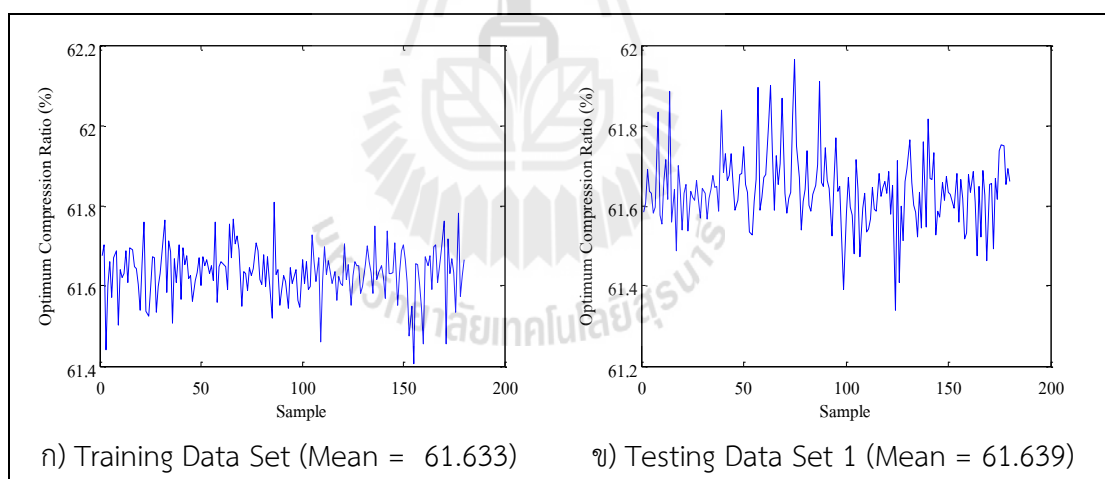
รูปที่ 4.18 การเรียนรู้เครือข่ายประสาทเทียมและกราฟ Performance ของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมของความขึ้นสัมพันธ์

จากรูปที่ 4.18 การฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมของความขึ้นสัมพันธ์ โดยใช้ข้อมูลความขึ้นสัมพันธ์กับข้อมูลคุณภาพของแต่ละอัตราการบีบอัดเป็นข้อมูลอินพุต ซึ่งกำหนดเป้าหมายในการดำเนินการไว้ที่  $10^{-9}$  ใช้เวลาในการดำเนินการ 14.15 นาที กราฟการฝึกสอนก็สามารถเข้าสู่เป้าหมายได้ และทำการทดสอบความถูกต้องของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมของความขึ้นสัมพันธ์ แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ทดสอบความถูกต้องของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมของความขึ้นสัมพันธ์

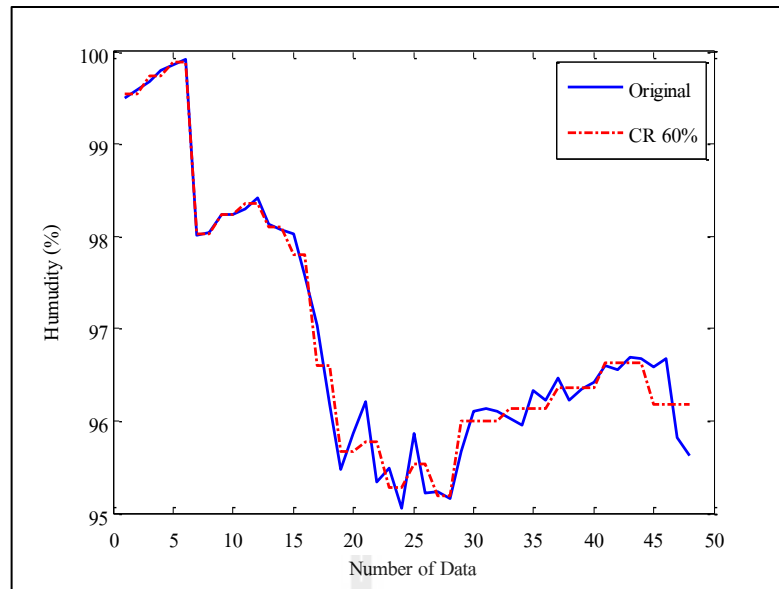
ข้อมูลทดสอบ	จำนวนข้อมูล	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
Training Data Set	50	100%
Testing Data Set 1	50	100%

จากการทดสอบทั้งสองชุดข้อมูลพบว่าให้ความถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำเครือข่ายประสาทเทียมที่ได้มาหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมโดยใช้ข้อมูล 2 ชุดข้อมูล และกำหนดค่าคุณภาพเพื่อเป็นอินพุตของระบบดังนี้  $CR = 3.369$   $SNR = 313.864$  และ  $RMSE = 1.252$  แสดงการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 การหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของข้อมูลความขึ้นสัมพันธ์

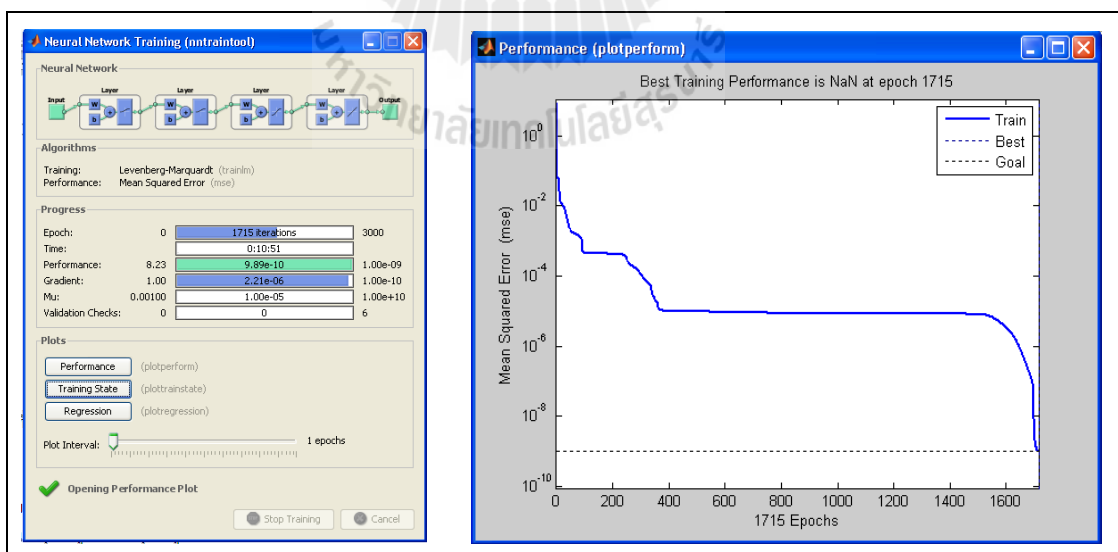
จากรูปที่ 4.19 จะได้ค่าอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของความขึ้นสัมพันธ์ที่ 61.633 เปอร์เซ็นต์ และ 61.639 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงใช้อัตราการบีบอัดที่ 60 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบข้อมูลผ่านการบีบอัดข้อมูลกับข้อมูลต้นฉบับ ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 การบีบอัดข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ด้วยอัตราการบีบอัดข้อมูลที่ 60 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.20 เป็นการเปรียบเทียบการบีบอัดข้อมูลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ กับข้อมูลต้นฉบับของความชื้นสัมพัทธ์ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถหาค่าคุณภาพของการบีบอัดข้อมูลได้ดังนี้  $CR = 3.428$   $SNR = 310.045$  และ  $RMSE = 0.222$

### 3) การหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของความชื้นในดิน



รูปที่ 4.21 การเรียนรู้เครือข่ายประสาทเทียมและกราฟ Performance ของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมของความชื้นในดิน

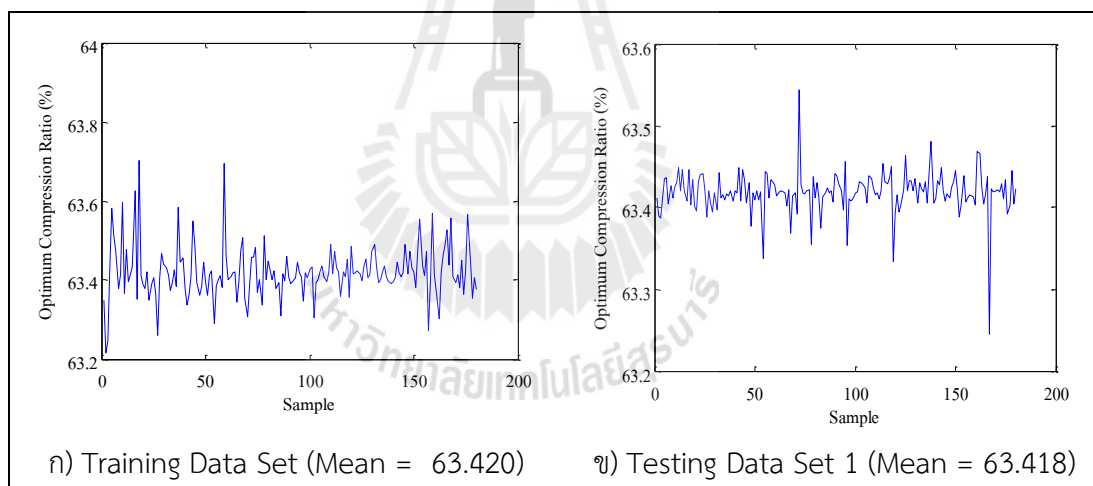
จากรูปที่ 4.21 เป็นการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียมของความชื้นในดิน ซึ่งกำหนดเป้าหมายของการฝึกสอนที่  $10^{-9}$  ใช้เวลาในการเรียนรู้ข้อมูล 10.51 นาที ในการดำเนินการก็สามารถเข้าสู่เป้าหมายได้ และทดสอบความถูกต้องของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมโดยใช้ข้อมูลทำการทดสอบ 2 ชุดข้อมูล ซึ่งจากการทดสอบทั้งสองชุดข้อมูลพบว่าให้ความถูกต้อง 100% ทั้งสองชุดข้อมูล แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ทดสอบความถูกต้องของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมของข้อมูลความชื้นในดิน

ข้อมูลทดสอบ	จำนวนข้อมูล	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
Training Data Set	50	100%
Testing Data Set 1	50	100%

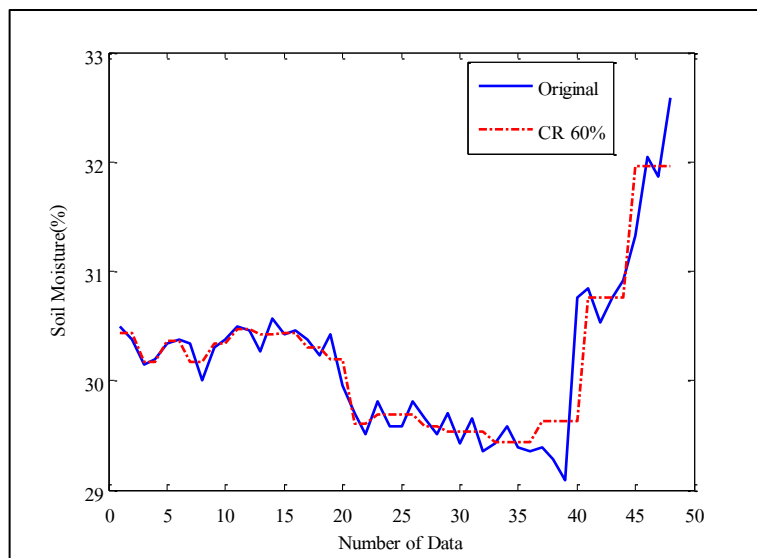
ทำการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการฝึกสอนข้างต้น ใช้ข้อมูลอินพุตเป็นข้อมูลความชื้นในดิน 2 ชุดข้อมูล และกำหนดค่าคุณภาพดังนี้

$CR = 3.269$   $SNR = 313.89$  และ  $RMSE = 0.323$  แสดงดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 การหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของข้อมูลความชื้นในดิน

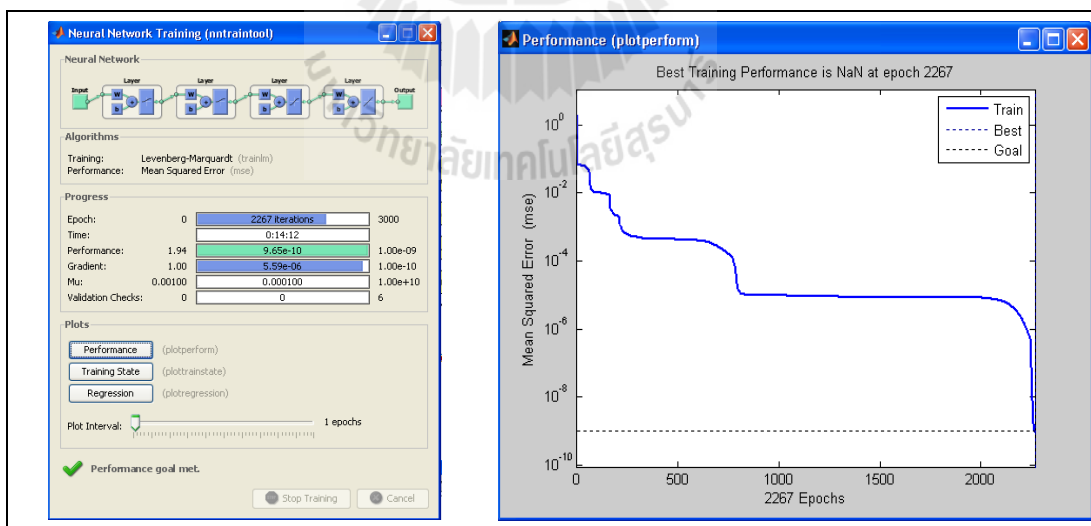
จากการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของความชื้นในดิน พบว่าให้ค่าเฉลี่ยของอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมที่ 63.419 เปอร์เซ็นต์ ผู้วิจัยจึงใช้ค่าใกล้เคียงคือใช้ค่าอัตราการบีบอัดข้อมูลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ แสดงการทดสอบการบีบอัดข้อมูลความชื้นในดินด้วยอัตราการบีบอัดข้อมูลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 การบีบอัดข้อมูลความชื้นในดินด้วยอัตราการบีบอัดข้อมูล 60 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.23 พบว่าข้อมูลที่ผ่านการบีบอัดกับข้อมูลต้นฉบับมีค่าใกล้เคียงกันมาก เมื่อพิจารณาที่ค่าคุณภาพของการบีบอัดจะได้ว่า  $CR = 3.428$   $SNR = 312.475$  และค่า  $RMSE = 0.253$

#### 4) การหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของความเข้มแสง



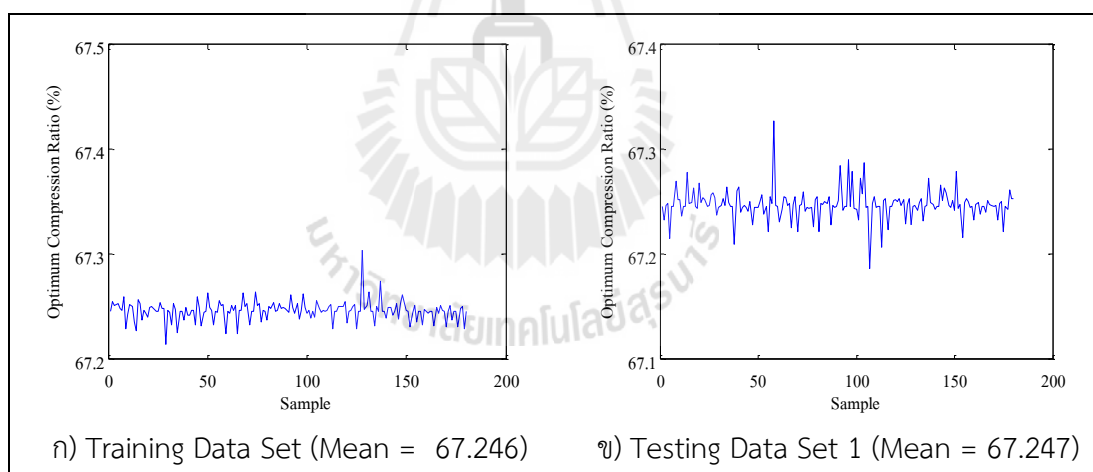
รูปที่ 4.24 การเรียนรู้เครือข่ายประสาทเทียมและกราฟ Performance ของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมของความเข้มแสง

จากรูปที่ 4.24 เป็นการเรียนรู้อัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของเครือข่ายประสาทเทียมของข้อมูลความเข้มแสง ซึ่งกำหนดเป้าหมายไว้ที่  $10^{-9}$  ใช้เวลา 14.12 นาที ในการเรียนรู้และสามารถเข้าสู่เป้าหมายได้ ทำการทดสอบความถูกต้องของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมโดยใช้ข้อมูลความเข้มแสงจำนวน 2 ชุดข้อมูล ซึ่งจากการทดสอบทั้งสองชุดข้อมูลพบว่าให้ความถูกต้อง 100% ทั้งสองชุด ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ทดสอบความถูกต้องของการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมของข้อมูลความเข้มแสง

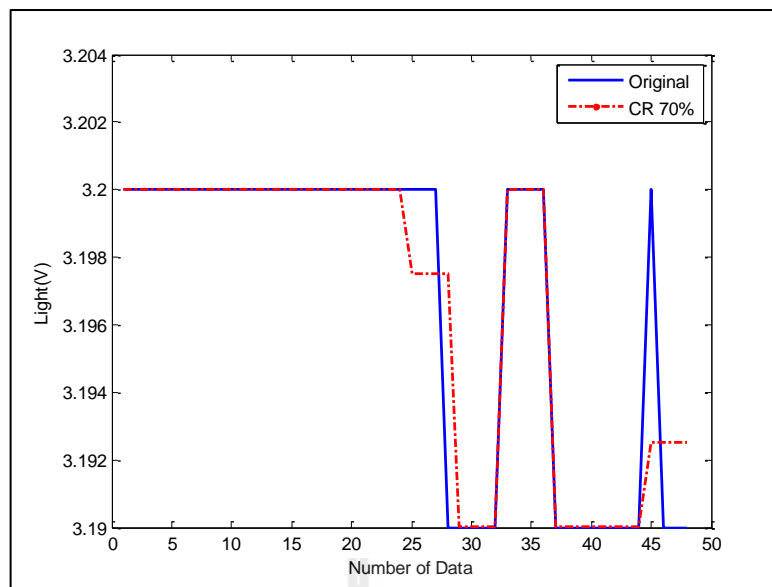
ข้อมูลทดสอบ	จำนวนข้อมูล	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
Training Data Set	50	100%
Testing Data Set 1	50	100%

ทำการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการฝึกสอนและข้อมูลอินพุตเป็นข้อมูลจำนวน 2 ชุดข้อมูล พร้อมทั้งกำหนดค่าคุณภาพของการบีบอัดข้อมูลดังนี้  $CR = 3.269$   $SNR = 314.261$  และ  $RMSE = 0.039$  แสดงอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของความเข้มแสง

จากรูปที่ 4.25 จะได้อัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของความเข้มแสงที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 67.247 เปอร์เซ็นต์ โดยผู้วิจัยได้ใช้ค่าใกล้เคียงโดยเลือกอัตราการบีบอัดข้อมูลที่เหมาะสม 70 เปอร์เซ็นต์ แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลที่ผ่านการบีบอัดด้วยอัตราการบีบอัดที่ 70 เปอร์เซ็นต์ กับข้อมูลต้นฉบับ ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 การบีบอัดข้อมูลความเข้มแสงด้วยอัตราการบีบอัดข้อมูล 70 เปอร์เซ็นต์

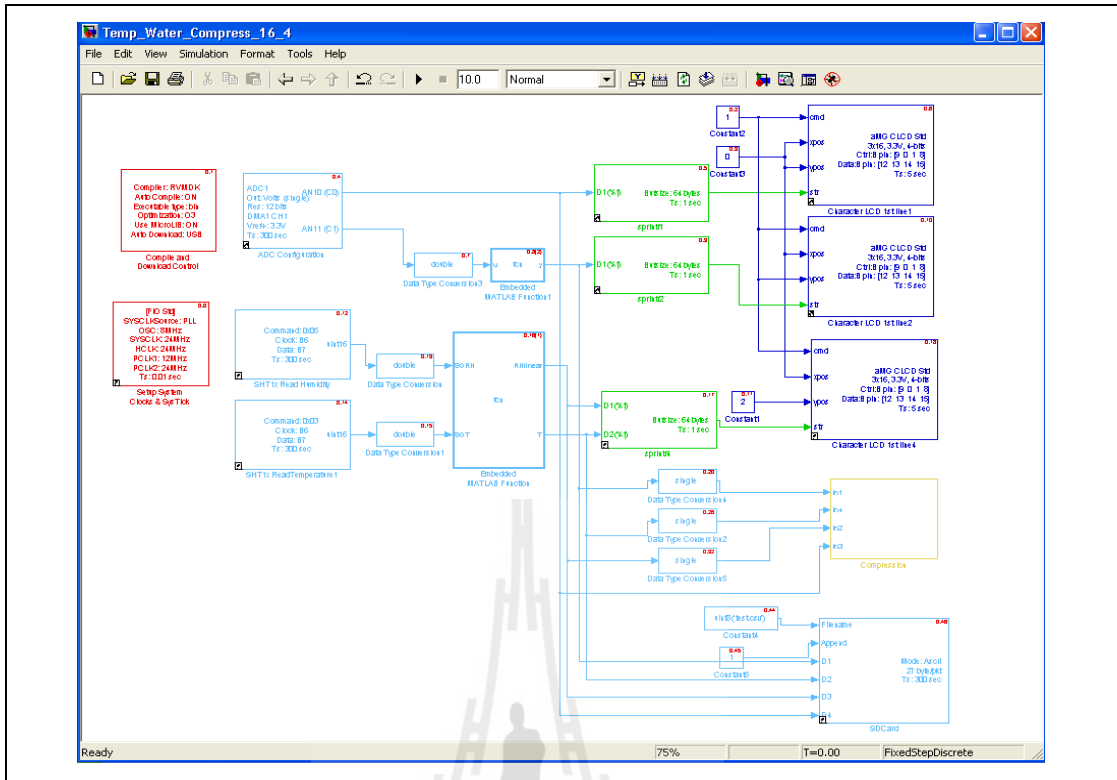
จากรูปที่ 4.26 จะเห็นได้ว่า เส้นกราฟของข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ผ่านการบีบอัดข้อมูลที่อัตราการบีบอัด 70 เปอร์เซ็นต์ มีเส้นกราฟที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าคุณภาพของการบีบอัดจะพบว่าค่า  $CR = 3.692$   $SNR = 312.283$  และ  $RMSE = 0.002$

จากการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของแต่ละสภาพแวดล้อม จะได้ว่า อัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของอุณหภูมิเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ อัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ อัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของความชื้นในดินเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของความเข้มแสงเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผู้วิจัยจะนำอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของแต่ละสภาพแวดล้อมเหล่านี้ไปใช้ในอุปกรณ์ชุดต้นแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เพื่อแก้ปัญหาในการส่งข้อมูล

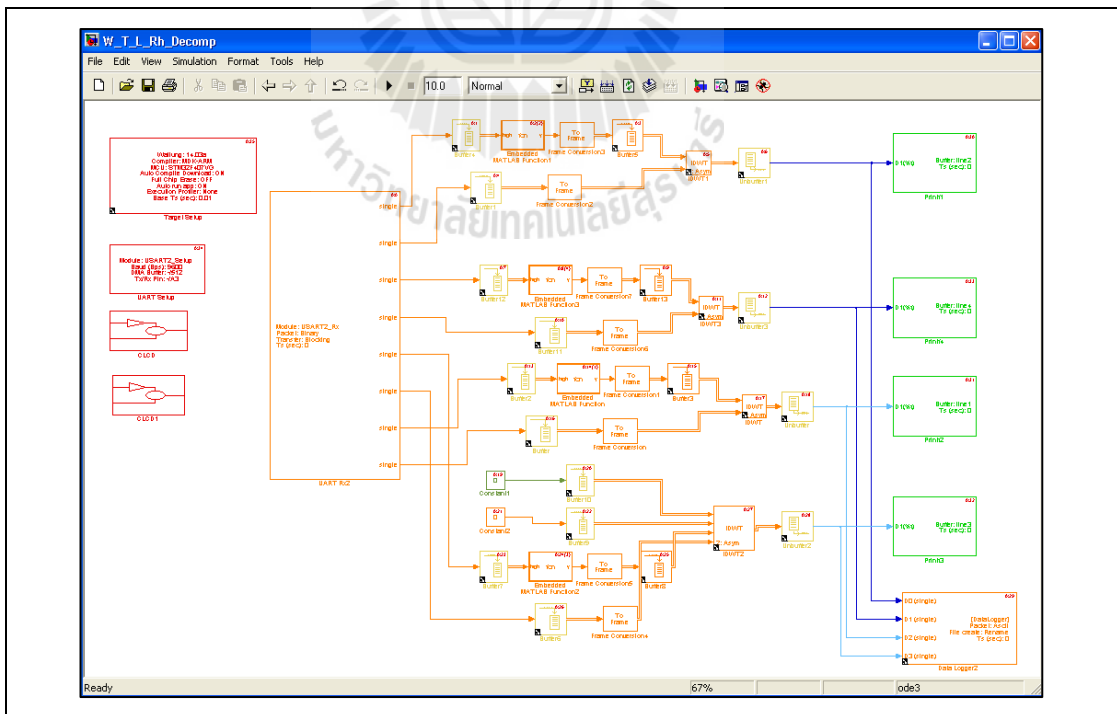
#### 4.4 ผลการเขียนโปรแกรมควบคุมระบบสมองกลฝังตัว

การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบสมองกลฝังตัวซึ่งผู้วิจัยได้ใช้บอร์ด FiO Std โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32TM ARM 32-bits CortexTM M3 processors ทำงานร่วมกับโปรแกรม MATLAB Simulink โดยทำการสร้างบล็อกเพื่อรับส่งข้อมูล แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์และบีบอัดข้อมูลก่อนส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย Xbee และการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่รับข้อมูลจากเครือข่ายไร้สาย Xbee และสร้างกลับข้อมูลโดยมีการชดเชยข้อมูลส่วนที่ถูกตัดทิ้งไป นอกจากนี้ทั้งสองส่วนยังทำการบันทึกข้อมูลไว้ใน SD Card เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับเพื่อหาคุณภาพของข้อมูลที่ได้ แสดงการสร้างบล็อกดังรูปที่ 4.27 และรูปที่ 4.28





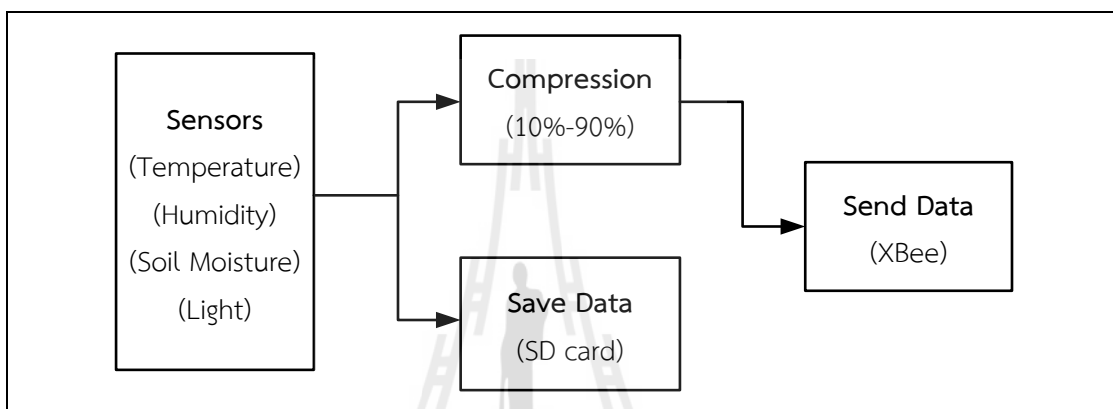
รูปที่ 4.27 โปรแกรมโนดเรทเตอร์



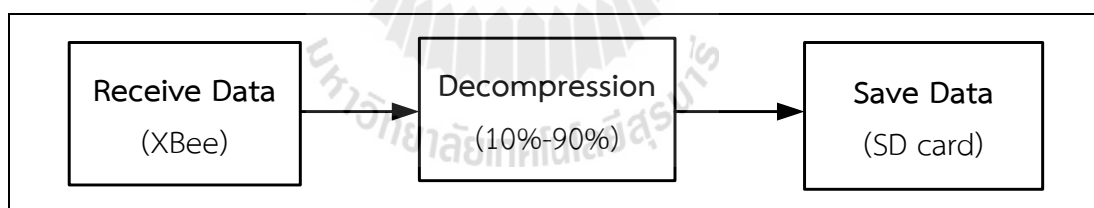
รูปที่ 4.28 โปรแกรมโนดโคออร์ดิเนเตอร์

#### 4.5 ผลการทดสอบการบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

การบีบอัดข้อมูลจะถูกดำเนินการที่โนดเรพอร์ทเตอร์ ซึ่งจะทำการรับข้อมูลจากเซนเซอร์อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นในดินและความเข้มแสง จากนั้นดำเนินการบีบอัดข้อมูลของแต่ละสภาพแวดล้อมแล้วส่งข้อมูลผ่านทาง Xbee พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลไว้ใน SD Card แสดงการดำเนินการของโนดเรพอร์ทเตอร์ดังรูปที่ 4.29 และการสร้างกลับข้อมูลในโนดโคออร์ดิเนเตอร์ ซึ่งทำการรับข้อมูลจากเครือข่ายไร้สาย Xbee แล้วทำการสร้างกลับข้อมูลโดยการสร้างข้อมูลด้านความถี่สูงบางส่วนขึ้น ตามอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม และทำการบันทึกข้อมูลที่ถูกสร้างกลับไว้ใน SD Card แสดงการดำเนินการของโนดโคออร์ดิเนเตอร์ดังรูปที่ 4.30



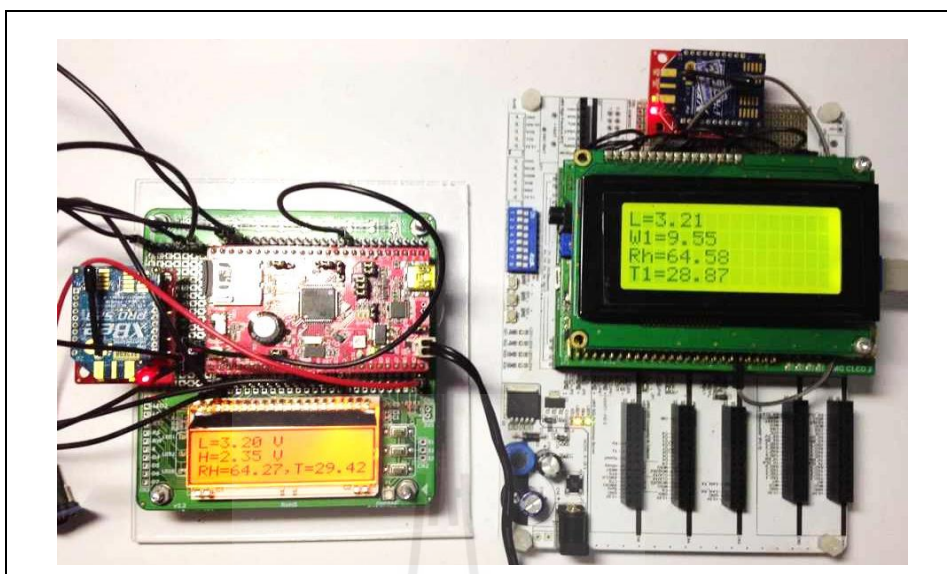
รูปที่ 4.29 การเก็บข้อมูลของโนดเรพอร์ทเตอร์



รูปที่ 4.30 การเก็บข้อมูลของโนดโคออร์ดิเนเตอร์

การสร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่มีเทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูล โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม ในการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม ซึ่งจะได้อัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของแต่ละสภาพแวดล้อม โดยที่ข้อมูลของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นในดินมีอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความเข้มแสงมีอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์ ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบให้มีการบีบอัดข้อมูลด้วยอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมดังกล่าวที่โนดเรพอร์ทเตอร์ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายพร้อมกับบันทึกข้อมูลก่อนการบีบอัด และทำการสร้างกลับข้อมูลที่โนดโคออร์ดิเนเตอร์หลังจากรับข้อมูลจากเครือข่ายไร้สาย ซึ่งการสร้างกลับข้อมูลจะมีการชดเชยข้อมูล

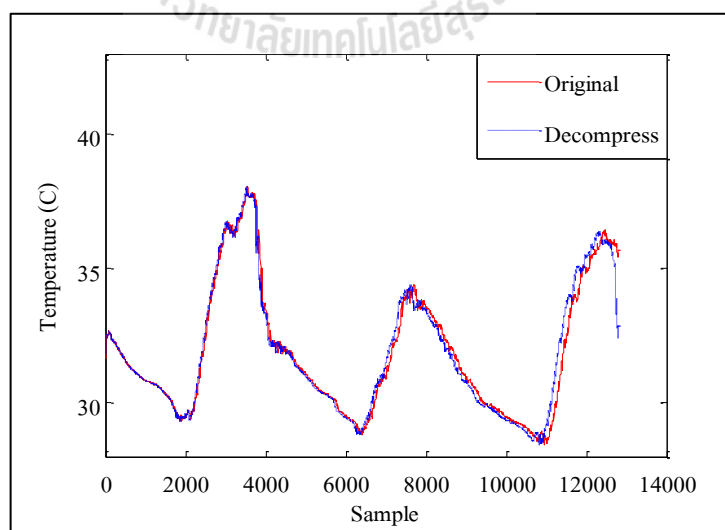
ส่วนที่ถูกบีบอัดไปด้วยเพื่อให้ข้อมูลที่ได้ในฝั่งรับมีขนาดใกล้เคียงกับข้อมูลที่ถูกส่งมาและทำการหาคุณภาพของข้อมูลที่ได้



รูปที่ 4.31 การแสดงผลของโนดเร้าเตอร์และโนดโคออร์ดิเนเตอร์

#### 1) การบีบอัดข้อมูลอุณหภูมิ

จากการบีบอัดข้อมูลอุณหภูมิด้วยอัตราการบีบอัดข้อมูลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ สามารถสร้างกลับข้อมูลและผ่านกระบวนการชดเชยข้อมูลที่โนดโคออร์ดิเนเตอร์ แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับดังรูปที่ 4.32 ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลอุณหภูมิเป็นเวลา 3 วัน

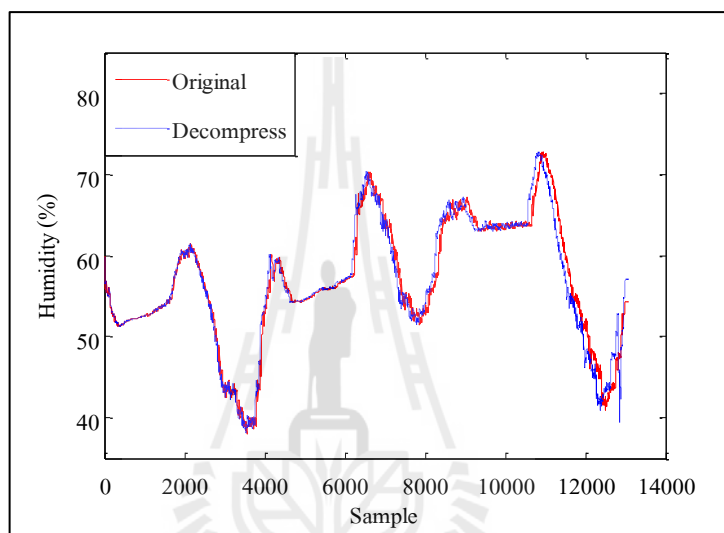


รูปที่ 4.32 เปรียบเทียบข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับของอุณหภูมิ

จากรูปจะเห็นได้ว่าข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับมีลักษณะข้อมูลที่เหมือนกัน เมื่อทำการทดสอบคุณภาพของข้อมูล พบว่า  $SNR$  เท่ากับ 61.235  $RMSE$  เท่ากับ 0.444

## 2) การบีบอัดข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์

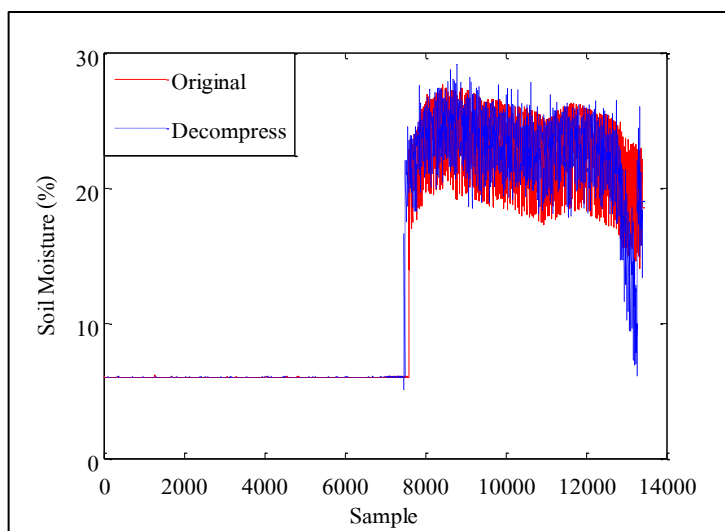
จากการบีบอัดข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ด้วยอัตราการบีบอัดข้อมูลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ สามารถสร้างกลับข้อมูลและผ่านกระบวนการชดเชยข้อมูลที่โนดโคออร์ดิเนเตอร์ แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับดังรูปที่ 4.33 ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์เป็นเวลา 3 วัน และทำการวัดค่าคุณภาพของข้อมูล พบว่า  $SNR$  เท่ากับ 55.547  $RMSE$  เท่ากับ 1.702



รูปที่ 4.33 เปรียบเทียบข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับของความชื้นสัมพัทธ์

## 3) การบีบอัดข้อมูลความชื้นในดิน

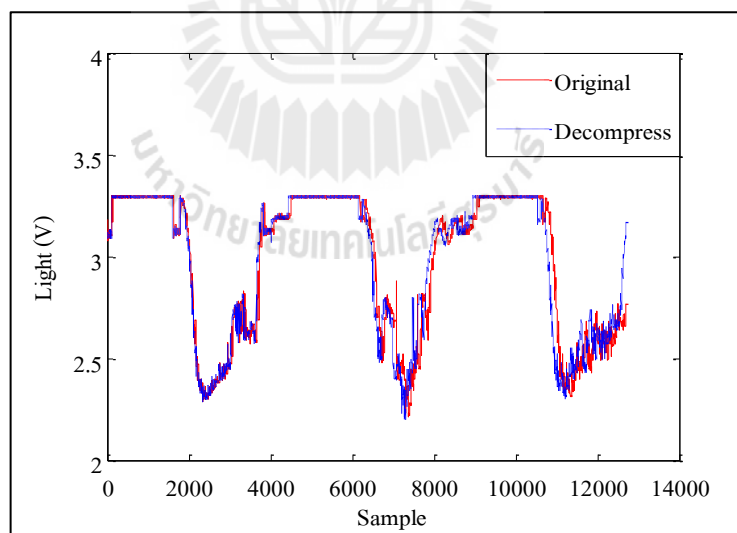
จากการบีบอัดข้อมูลความชื้นในดินด้วยอัตราการบีบอัดข้อมูลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ สามารถสร้างกลับข้อมูลและผ่านกระบวนการชดเชยข้อมูลที่โนดโคออร์ดิเนเตอร์ แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับดังรูปที่ 4.34 ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลความชื้นในดินเป็นเวลา 3 วัน เมื่อทำการวัดค่าคุณภาพของข้อมูล พบว่า  $SNR$  เท่ากับ 43.25  $RMSE$  เท่ากับ 2.18



รูปที่ 4.34 เปรียบเทียบข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับของความชื้นในดิน

#### 4) การบีบอัดข้อมูลความเข้มแสง

จากการบีบอัดข้อมูลความเข้มแสงด้วยอัตราการบีบอัดข้อมูลที่ 70 เปอร์เซ็นต์ สามารถสร้างกลับข้อมูลและผ่านกระบวนการชดเชยข้อมูลที่โนดโคออร์ดิเนเตอร์ แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับดังรูปที่ 4.35 ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลความเข้มแสงเป็นเวลา 3 วัน



รูปที่ 4.35 เปรียบเทียบข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับของความเข้มแสง

จากรูปจะเห็นได้ว่าข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับมีลักษณะข้อมูลที่เหมือนกัน เมื่อทำการวัดค่าคุณภาพของข้อมูล พบว่ามีค่า  $SNR$  เท่ากับ 78.85  $RMSE$  เท่ากับ 0.1016

คุณภาพของการบีบอัดข้อมูลของแต่ละสภาพแวดล้อมจากการบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย โดยนำข้อมูลต้นฉบับจากโนดเรทเทอร์เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ถูกรับกลับจากโนดโคออร์ดิเนเตอร์ที่ผ่านกระบวนการชดเชยข้อมูล จากการศึกษาบทความของ Beatrice Arvinti [13] ซึ่งเป็นการบีบอัดข้อมูลของสัญญาณ ECG โดยใช้เทคนิคการแปลงเวฟเล็ต มีการพิจารณาคุณภาพของการบีบอัดข้อมูลจากความแตกต่างของข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกรับกลับ (Percentage Root Mean Square Difference; *PRD*) ดังสมการที่ 4.2 และคุณภาพของการบีบอัดข้อมูล (Quality Factor; *QF*) ดังสมการที่ 4.3 [13]

$$PRD = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x[n] - \hat{x}[n])^2}{\sum_{n=1}^N x^2[n]}} \times 100\% \quad (4.2)$$

เมื่อ  $x[n]$  คือ ข้อมูลต้นฉบับ

$\hat{x}[n]$  คือ ข้อมูลที่ถูกรับกลับ

$N$  คือ จำนวนของข้อมูล

$$QF = \frac{CR^2}{PRD} \quad (4.3)$$

ทำการหาค่าคุณภาพของการบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ซึ่งคุณภาพที่พิจารณา คือ *SNR* *RMSE* *PRD* *CR* และ *QF* แสดงคุณภาพของการบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 คุณภาพการบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

คุณภาพ สภาพแวดล้อม	<i>SNR</i>	<i>RMSE</i>	<i>PRD</i>	<i>CR</i>	<i>QF</i>
Temperature	61.235	0.444	0.014	3.428	846.042
Humidity	55.547	1.702	0.029	3.428	395.041
Light	78.850	0.102	0.034	3.692	402.497
Soil moisture	43.250	2.180	0.138	3.428	85.216

จากตารางที่ 4.6 จะได้ค่าเฉลี่ยของ *SNR* มีค่าเท่ากับ 59.720 ค่าเฉลี่ยของ *RMSE* เท่ากับ 1.107 ค่าเฉลี่ยของ *PRD* เท่ากับ 0.053 ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่สร้างกลับมีลักษณะที่คล้ายกับ

ข้อมูลต้นฉบับมาก แสดงถึงคุณภาพของการบีบอัดข้อมูลที่ดีจากค่าเฉลี่ยของ  $QF$  ที่มีค่าสูงถึง 432.199 นอกจากนี้ยังสามารถบีบอัดข้อมูลด้วยอัตราการบีบอัดที่สูงถึง 1:3.494 ซึ่งคิดเป็น 62.5 เปอร์เซ็นต์

#### 4.5.1 พลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูล

จุดเด่นอย่างหนึ่งของการสื่อสารไร้สายก็คือการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายและสิ่งที่สำคัญที่สุดคือพลังงาน การส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายย่อมสิ้นเปลืองพลังงาน ซึ่งถ้ามีการส่งข้อมูลจำนวนมากก็จะยิ่งทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก นอกจากนี้ระยะทางก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน งานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงการบีบอัดข้อมูลซึ่งเป็นการลดปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่านเครือข่ายไร้สาย มีการเปรียบเทียบการส่งข้อมูลที่ผ่านการบีบอัดและการส่งข้อมูลต้นฉบับทั้งหมดโดยใช้สมการการหาพลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูลดังสมการที่ 4.4 และสมการที่ 4.5

$$Energy = Power \times \frac{Time}{Data} \quad (4.4)$$

$$Energy = Current \times Voltage \times \frac{Time}{Data} \quad (4.5)$$

โดยที่ *Energy* คือ พลังงานมีหน่วยเป็น จูล (J)

*Power* คือ กำลังมีหน่วยเป็น จูลต่อวินาที (J/s) หรือ วัตต์ (Watt)

*Time* คือ เวลา มีหน่วยเป็น วินาที (s)

*Data* คือ จำนวนบิตข้อมูล (bit)

*Current* คือ กระแส มีหน่วยเป็น แอมป์ (A)

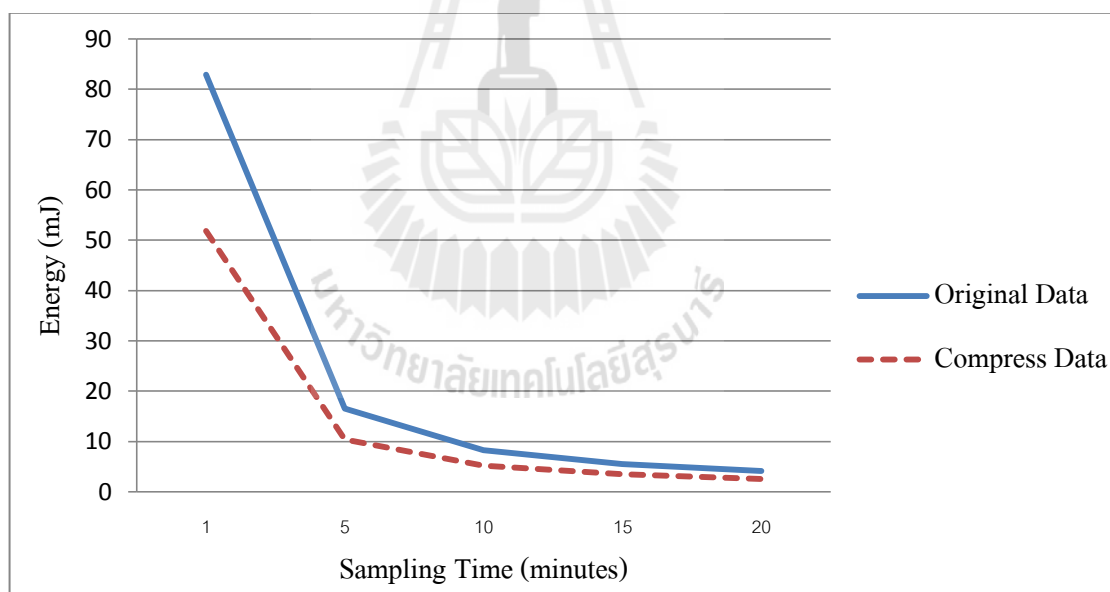
*Voltage* คือ แรงดันไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

จากการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย Xbee ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้ Xbee Pro 50 mW Series2 (ZB) ซึ่งสามารถรับส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็ว 250 kbps แรงดันไฟฟ้า 3.3 V ที่ 295 mA โดยมีกำลังส่งที่ 50 mW สามารถรับส่งข้อมูลได้ในระยะทาง 1600 m หรือ 1 mile ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของระบบและสายอากาศที่ใช้ เนื่องจากความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่สูง อัตราการลดทอนสัญญาณจะสูงและสิ่งกีดขวางจะมีผลอย่างมากกับระยะทางที่ใช้งานได้ ดังนั้นการคำนวณหาพลังงานในงานวิจัยนี้จึงจำลองการรับส่งข้อมูลที่ระยะทาง 100 เมตร โดยทำการเก็บข้อมูลต้นฉบับและข้อมูลที่ถูกบีบอัดที่ส่งได้ใน 1 วัน โดยกำหนดเวลาในการเก็บข้อมูลที่แตกต่างกันเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการส่งข้อมูลต้นฉบับและข้อมูลที่ถูกบีบอัด แสดงผลการคำนวณการใช้พลังงานดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูล

Sampling Time (minutes)	Original Data (bytes)	Energy (mJ)	Compress Data (bytes)	Energy (mJ)
1	51,840	82.900	32,400	51.800
5	10,368	16.550	6,480	10.350
10	5,184	8.250	3240	5.150
15	3,456	5.500	2160	3.450
20	2,592	4.150	1620	2.550

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการเก็บข้อมูลที่ช้าลง จำนวนข้อมูลที่เก็บได้ใน 1 วัน ก็จะมีจำนวนลดลงด้วย ส่งผลให้การใช้พลังงานในการส่งข้อมูลลดลงด้วย เมื่อพิจารณาข้อมูลต้นฉบับ (Original Data) ที่ต้องการส่งพบว่ามีการใช้พลังงานปริมาณมากเมื่อเทียบกับข้อมูลที่ผ่านการบีบอัดก่อนการส่งข้อมูล (Compress Data) ซึ่งมีการใช้พลังงานลดลงเฉลี่ย 62.5 เปอร์เซ็นต์ แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 การใช้พลังงานในการส่งข้อมูล



#### 4.6 สรุป

การบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม ซึ่งจะได้อัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของแต่ละสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน โดยที่ข้อมูลของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นในดินมีอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมเท่ากับ 60 เฟอร์เซ็นต์ ส่วนความเข้มแสงมีอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมเท่ากับ 70 เฟอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการนำอัตราบีบอัดที่เหมาะสมนี้ไปใช้กับอุปกรณ์เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเพื่อเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในพื้นที่เกษตรกรรม และทำงานบีบอัดข้อมูลก่อนส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายเพื่อลดการใช้พลังงานในการส่งผ่านข้อมูล เมื่อทดสอบคุณภาพของข้อมูลที่บีบอัดในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายพบว่า ค่าเฉลี่ยของ *SNR* มีค่าเท่ากับ 59.720 ค่าเฉลี่ยของ *RMSE* เท่ากับ 1.107 และค่าเฉลี่ยของ *PRD* เท่ากับ 0.053 ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่สร้างกลับมีลักษณะที่คล้ายกับข้อมูลต้นฉบับ แสดงถึงคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการบีบอัดข้อมูลที่ดีจากค่าเฉลี่ยของ *QF* ที่มีค่าสูงถึง 432.199 และสามารถบีบอัดข้อมูลด้วยอัตราการบีบอัดที่สูงถึง 1:3.494 ซึ่งคิดเป็น 62.5 เฟอร์เซ็นต์ สำหรับการบีบอัดข้อมูลในอุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการใช้พลังงานในการส่งข้อมูลโดยพบว่าเมื่อผ่านกระบวนการบีบอัดข้อมูลจะทำให้ข้อมูลที่ส่งมีขนาดลดลงและมีการใช้พลังงานลดลงตามไปด้วย โดยสามารถลดการใช้พลังงานได้ถึง 62.5 เฟอร์เซ็นต์

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอการบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายโดยประยุกต์ใช้เทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ในการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม โดยผู้วิจัยได้สรุปการทำงานของแต่ละส่วน ดังนี้ การสร้างชุดต้นแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายโดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการควบคุม เพื่อเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงเกษตรกรรม การจำลองการบีบอัดข้อมูลและหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม การทดสอบการบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย และการค้นหาโนตที่ผิดพลาด สามารถสรุปการทำงานของแต่ละส่วนได้ดังนี้

การสร้างชุดต้นแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่มีระบบสมองกลฝังตัวในการควบคุม เพื่อทำการตรวจวัดค่าสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความชื้นในดินและความเข้มแสง โดยองค์ประกอบหลักของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายประกอบด้วย

- โมดูลเซนเซอร์สำหรับการตรวจวัดค่าต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อม เช่น เซนเซอร์ SHT11 สำหรับตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ เซนเซอร์ EC-5 สำหรับตรวจวัดความชื้นในดินและเซนเซอร์ Photocell สำหรับตรวจวัดความเข้มแสง
- โมดูลสื่อสารไร้สายระยะไกล (Xbee) ย่านความถี่ 2.4 GHz สำหรับเชื่อมต่อระบบเข้ากับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) โดยใช้เครือข่ายแบบเมช ซึ่งสามารถเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ผ่านโมดูลสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (GPRS)
- ระบบสมองกลฝังตัว ที่ใช้งานมี 3 ระบบ คือ 1) ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM 32 บิต STM32F103RET6 หรือเรียกว่าบอร์ด FiO Std ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ประสิทธิภาพสูง ราคาประหยัด ใช้งานง่าย ทำหน้าที่เป็นโนตเรทเตอร์รับข้อมูลจากเซนเซอร์และส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย Xbee มายังโนตโคออร์ดิเนเตอร์หรือสถานีฐาน 2) ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM 32 บิต STM32F4DISCOVERY หรือบอร์ด Waijung เป็นบอร์ดโคออร์ดิเนเตอร์ทำหน้าที่รับข้อมูลจากโนตเรทเตอร์ต่างๆ และส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตสื่อสารอนุกรมไปยังโมดูลสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3) บอร์ด ET-GSM SIM300CZ ทำหน้าที่รับข้อมูลจากโนตโคออร์ดิเนเตอร์ผ่านทางพอร์ตสื่อสารอนุกรมและส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ เพื่อนำเสนอข้อมูลผ่านทางอินเทอร์เน็ต

- แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามีการใช้งานจาก 2 แหล่งจ่ายคือ แบตเตอรี่และพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์หรือโซลาร์เซลล์ (Solar Cell) ซึ่งช่วงเวลากลางวันโซลาร์เซลล์จะทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ในขณะที่เดียวกันโซลาร์เซลล์ก็ทำหน้าที่ชาร์จแบตเตอรี่เพื่อให้สามารถใช้งานได้ในช่วงเวลากลางคืนเนื่องจากมีการเก็บข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงเพาะปลูกมันสำปะหลังบริเวณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งมีพื้นที่ในการเก็บข้อมูลจำนวน 1 ไร่ ทำการติดตั้งโนดตรวจรู้ 4 โนด ซึ่งแต่ละโนดจะทำการส่งข้อมูลที่อ่านได้จากตัวเซนเซอร์มายังสถานีฐาน สถานีฐานจะทำหน้าที่ส่งข้อมูลทั้ง 4 โนดตรวจรู้ไปยังเซิร์ฟเวอร์ของมหาวิทยาลัย เพื่อนำเสนอข้อมูลสภาพแวดล้อมผ่านทางอินเทอร์เน็ต โดยทำการเก็บข้อมูลและแสดงผลข้อมูลทุกๆ 5 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 1 เดือน เพื่อนำข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ได้ไปทำการจำลองการบีบอัดข้อมูลเพื่อหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม โนดตรวจรู้ที่ออกแบบขึ้นสามารถปรับตั้งระยะเวลาในการเก็บข้อมูลได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

ในการจำลองการบีบอัดข้อมูลสภาพแวดล้อมและหาอัตราการบีบอัดข้อมูลที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคการแปลงเวฟเล็ทแบบ SHPS ในการบีบอัดข้อมูลซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่นำเสนอโดย Mohsen Nasri จากการทดสอบคุณภาพของการแปลงเวฟเล็ทด้วยเวฟเล็ทแม่ชนิดต่างๆ พบว่า การแปลงเวฟเล็ทชนิด Haar เป็นการแปลงเวฟเล็ทที่ให้คุณภาพของสัญญาณที่ดี โดยมีค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) สูง มีความแตกต่างระหว่างข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับจากการแปลงเวฟเล็ท (RMSE) ในระดับที่ต่ำ และสามารถลดขนาดของข้อมูล (CR) ได้มากอีกด้วย นอกจากนี้การคำนวณของการแปลงเวฟเล็ทเล็ทชนิด Haar เป็นการคำนวณที่ไม่ซับซ้อนสามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็วซึ่งเหมาะกับการทำงานในอุปกรณ์ที่มีทรัพยากรค่อนข้างจำกัด เช่น ระบบสมองกลฝังตัว ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้การแปลงเวฟเล็ทชนิด Haar ในการบีบอัดข้อมูลสภาพแวดล้อม จากนั้นทำการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับในการเรียนรู้ โดยกำหนดข้อมูลสภาพแวดล้อมและคุณภาพของแต่ละอัตราการบีบอัดเป็นอินพุตให้กับเครือข่าย และให้เอาต์พุตเป็นอัตราการบีบอัดที่ 10% ถึง 90% และทำการทดสอบความถูกต้องของเครือข่ายประสาทเทียมและหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม โดยได้อัตราการบีบอัดที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นในดินและอุณหภูมิเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความเข้มแสงมีอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์ อัตราการบีบอัดข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำไปประยุกต์ใช้กับการบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายต่อไป

การบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายถูกออกแบบให้มีอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมด้วยเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์และระบบสมองกลฝังตัว โดยโนดเรพอร์ทเตอร์จะทำหน้าที่เก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมทุกๆ 5 นาที ซึ่งจะมีการเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำของบอร์ด FIO Std จนครบจำนวน 48 ข้อมูล จากนั้นทำการบีบอัดข้อมูลด้วยอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของแต่ละ

สภาพแวดล้อมและส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย Xbee ซึ่งในขณะเดียวกันโนตเร้าท์เตอร์ก็จะบันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อมที่วัดได้ไว้ในหน่วยความจำภายนอกด้วย เมื่อโนตเร้าท์เตอร์ส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้ว โนตโคออร์ดิเนเตอร์ก็จะทำการรับข้อมูลจากเครือข่ายไร้สาย Xbee และทำการสร้างกลับข้อมูล (Reconstruction) โดยการชดเชยข้อมูลส่วนที่ขาดหายไปเพื่อให้สามารถสร้างข้อมูลกลับได้อย่างถูกต้อง ซึ่งโนตโคออร์ดิเนเตอร์ก็จะทำการเก็บข้อมูลที่ถูกรับกลับไว้ในหน่วยความจำภายนอกเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกรับกลับ ในการทดสอบคุณภาพของข้อมูลที่บีบอัดในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายพบว่า ค่าเฉลี่ยของ *SNR* มีค่าเท่ากับ 59.720 ค่าเฉลี่ยของ *RMSE* เท่ากับ 1.107 และค่าเฉลี่ยของ *PRD* เท่ากับ 0.053 และข้อมูลที่สร้างกลับมีลักษณะที่คล้ายกับข้อมูลต้นฉบับ โดยมีค่าเฉลี่ยของ *QF* ที่มีค่าสูงถึง 432.199 ซึ่งแสดงถึงคุณภาพที่ดีของข้อมูลที่ได้รับการบีบอัดข้อมูลและสามารถบีบอัดข้อมูลด้วยอัตราการบีบอัดที่สูงถึง 1:3.494 ซึ่งคิดเป็น 62.5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการทดสอบการใช้พลังงานในการส่งข้อมูลโดยพบว่าเมื่อผ่านกระบวนการบีบอัดข้อมูลจะทำให้ข้อมูลที่ส่งมีขนาดลดลงส่งผลให้มีการใช้พลังงานลดลงตามไปด้วย โดยสามารถลดการใช้พลังงานได้ถึง 62.5 เปอร์เซ็นต์

## 5.2 แนวทางการวิจัยต่อไปในอนาคต

- 1) ควรศึกษาวิธีการบีบอัดข้อมูลแบบอื่นเทียบกับการบีบอัดข้อมูลโดยการแปลงเวฟเล็ต เพื่อพิจารณาว่าวิธีการใดที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในงานด้านการบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย
- 2) การออกแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่มีจำนวนโนตรับเซนเซอร์ให้เพิ่มมากขึ้น เพื่อให้มีความแม่นยำในการตรวจวัดและได้ใช้ประโยชน์ในการบีบอัดข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 3) การศึกษาสภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่ออายุการใช้งานของพืชเพิ่มเติม เช่น การตรวจวัดค่ากรด-เบส ของดิน การตรวจวัดปริมาณน้ำฝน เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อช่วยในการปรับปรุงพื้นที่การเกษตรและเพิ่มผลผลิตให้แก่เกษตรกร
- 4) เพื่อให้เกษตรกรสามารถนำเทคโนโลยีด้านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายไปใช้ประโยชน์ได้จริง ควรทำการพัฒนาและทดสอบทั้งในด้านของความทนทาน ความแม่นยำในการตรวจวัด และได้มาตรฐานอุตสาหกรรม เพื่อให้สามารถทำการผลิตเป็นจำนวนมาก (Mass product) ซึ่งจะช่วยให้ต้นทุนการผลิตเครื่องข่ายเซนเซอร์ไร้สายเพื่อการใช้งานในภาคเกษตรกรรมลดลง

## บรรณานุกรม

- [1] N. Watthanawisuth, N. Tongrod, T. Kerdcharoen and A.Tuantranont, "Real-Time Monitoring of GPS-Tracking Tractor Based on ZigBee Multi-Hop Mesh Network," In Proc. the Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology, Vol. 1, pp. 580-583, 2010.
- [2] Adnan Khasman, and Kamil Dimililer. "Image Compression using Neural Networks and Haar Wavelet," WSEAS transaction on signal processing, pp. 330 – 339, 2008.
- [3] A. Kulakov and D. Davcev, "Intelligent Data Acquisition and Processing Using Wavelet Neural Networks," In Proc. IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, Vol. 1, pp. 491-494, 2005.
- [4] J. W. Barron, A. I. Moustapha, and R. R. Selmic, "Real-Time Implementation of Fault Detection in Wireless Sensor Networks Using Neural Networks," In Proc. the Fifth International Conference on Information Technology: New Generations, Vol. 1, pp. 378-383, 2008.
- [5] A. Goh, S. Craciun, S. Rao, D. Cheney, K. Gugel, J. C. Sanchez, J. C. Principe, "Wireless transmission of neuronal recordings using a portable real-time discrimination/compression algorithm," In Proc. the 30th Annual International Conference on Engineering in Medicine and Biology Society, pp:4439 – 4442, 2008.
- [6] J. Wang, X. Lin, and K. Wu, "ECG data compression research based on wavelet neural network," In Proc. the 2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE), Vol. 1, pp. 361 – 363, 2010.
- [7] Mohsen Nasri, Abdelhamid Helali, Halim Sghaier, and Hassen Maaref, "Energy-efficient wavelet image compression in Wireless Sensor Network," In Proc. the Communication in Wireless Environments and Ubiquitous Systems: New Challenges (ICWUS), pp. 1 – 7, 2010.

- [8] Wendi Rabiner Heinzelman, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnam. "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," Proceedings of the 33<sup>rd</sup> Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 1 – 9, 2000.
- [9] Weerayuth Khunrattanasiri and Jakkree Srinonchat. "Comparison Efficiency of Speech Compression using Wavelet Technique," Joint International Conference on Information&Communication Technology Electrical Engineering (JICTEE), pp. 242-246, 2010.
- [10] อรณัฏฐ์ จิตต์ภักตร์. "Digital Image Processing," พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัท สงวนวงกิจพรินท์ แอนด์ มีเดีย, หน้า 200-222, 2552
- [11] อาทิตย์ ศรีแก้ว. "ปัญญาเชิงคำนวณ," พิมพ์ครั้งที่ 1 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 512 น, 2552.
- [12] P. Kumsawat, N. Pimpru, K. Attakitmongcol, and A. Srikaew, "Wavelet-Based Data Compression Technique for Wireless Sensor Networks," World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science, pp. 689 – 696, 2013.
- [13] Beatrice Arvinti, Corina Naformita, Isar Alexandru, and Marius Costache, "ECG Signal Compression Using Wavelets Preliminary Results," 10<sup>th</sup> International Symposium on Signals, Circuits and Systems, pp. 1-4, 2009.
- [14] Thaeasyelec, Zigbee and Xbee BASIC (on-line). Available:  
<http://www.thaeasyelec.com/electronics-in-chapter/what-is-zigbee.html>
- [15] Aimagin, (on-line). Available:  
<https://www.aimagin.com/>
- [16] ETT, (on-line). Available:  
<http://www.ett.co.th/product/intf/ET-GSM-SIM300CZ-V1.0.html>
- [17] SHT11, (on-line). Available:  
<http://www.sensirion.com/>
- [18] EC-5, (on-line). Available:  
<http://www.decagon.com/>

## ภาคผนวก

การเผยแพร่ผลงานวิจัย :

- P. Kumsawat, N. Primpru, K. Attakitmongcol and A. Srikaew, “Wavelet-Based Data Compression Technique for Wireless Sensor Networks,” In. Proc.: International Conference on Electronics and Communication Engineering (ICECE 2013), pp. 276-283, Lucerne, Switzerland, May 7-8, 2013

