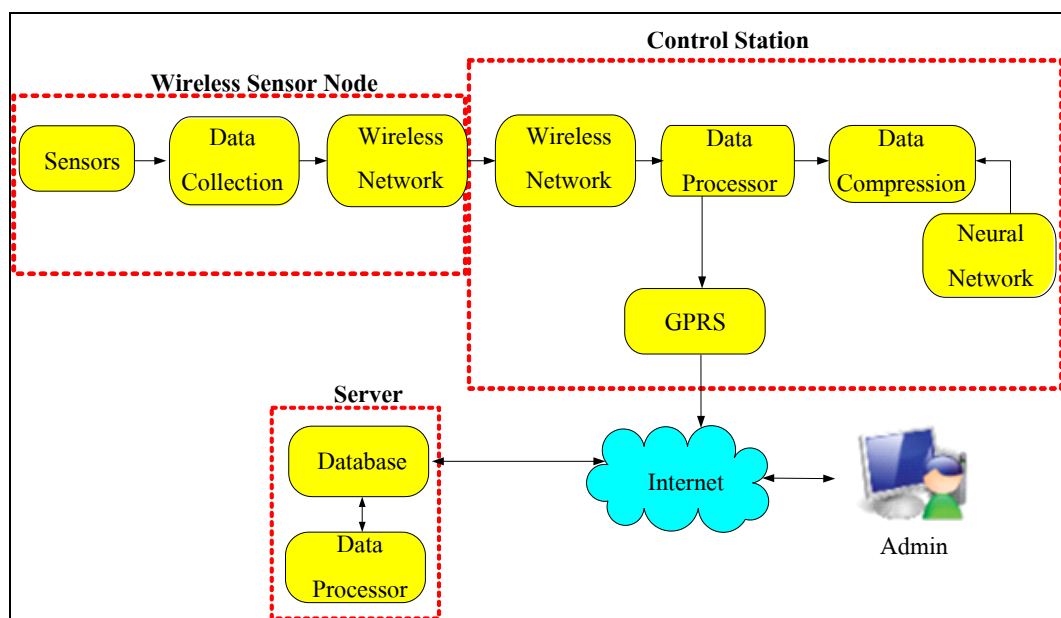


บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 บทนำ

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



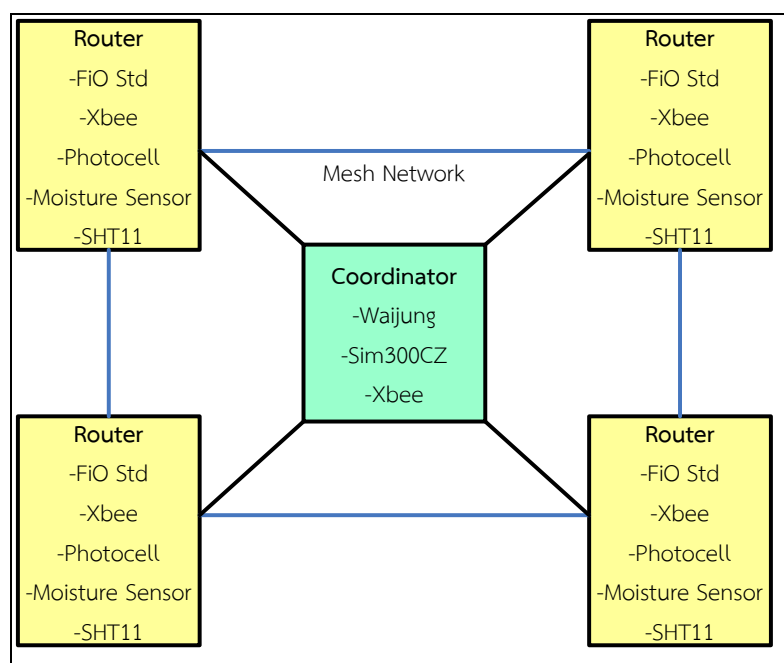
รูปที่ 3.1 การทำงานของระบบโดยรวม

3.2 การออกแบบทางฮาร์ดแวร์

3.2.1 การสร้างเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย

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

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



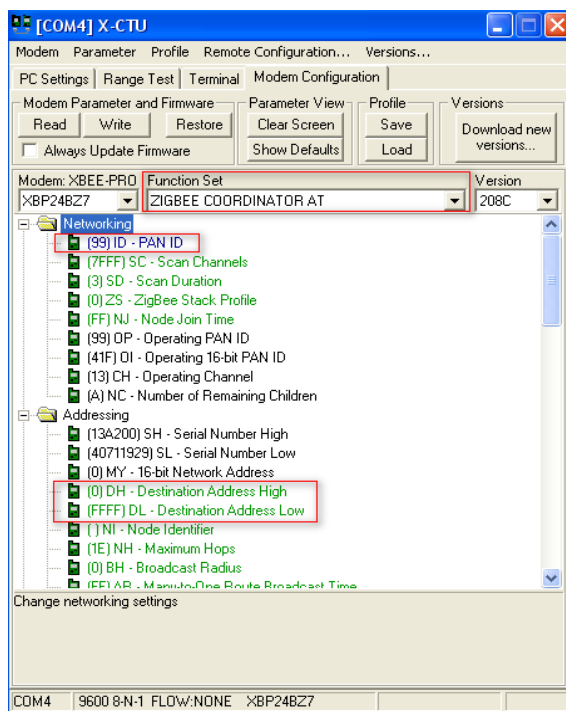
รูปที่ 3.2 โครงสร้างการเชื่อมโยงอุปกรณ์เราท์เตอร์แบบเมช

3.2.1.1 การกำหนดค่าพื้นฐานในการทำงานของ Xbee

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

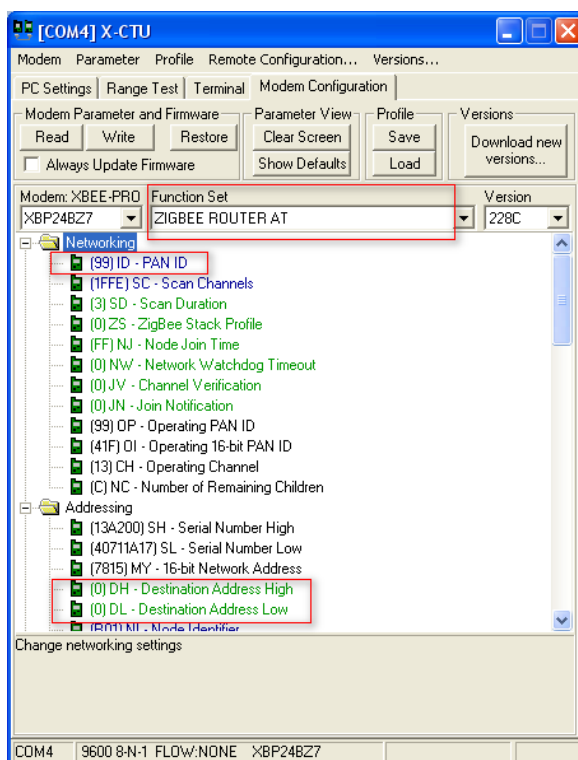
เซนเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.4 ซึ่งการกำหนดรูปแบบการทำงานดังกล่าวสามารถตั้งค่าด้วยโปรแกรม X-CTU ดังนี้

- การตั้งค่า Xbee ให้ทำงานเป็น โหนดโคออดิเนเตอร์ แสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การตั้งค่า Xbee ให้เป็นโหนดโคออดิเนเตอร์ด้วยโปรแกรม X-CTU

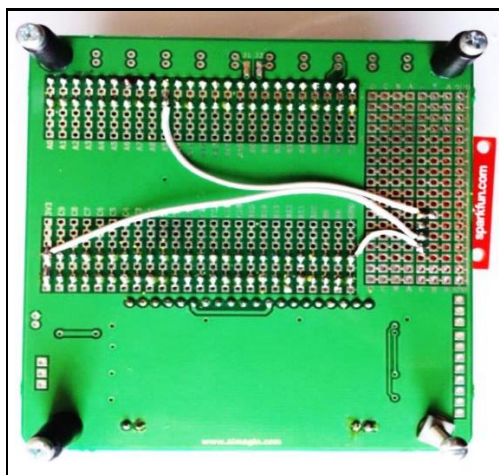
- การตั้งค่าให้ Xbee ทำงานเป็นโหนดเรพอร์ทเตอร์ แสดงในรูปที่ 3.4



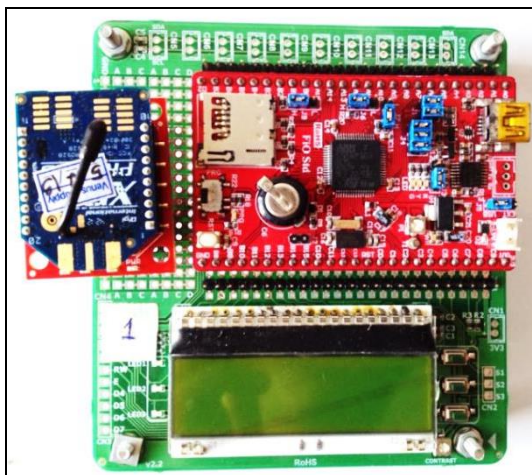
รูปที่ 3.4 การตั้งค่า Xbee ให้เป็นเราท์เตอร์ด้วยโปรแกรม X-CTU

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

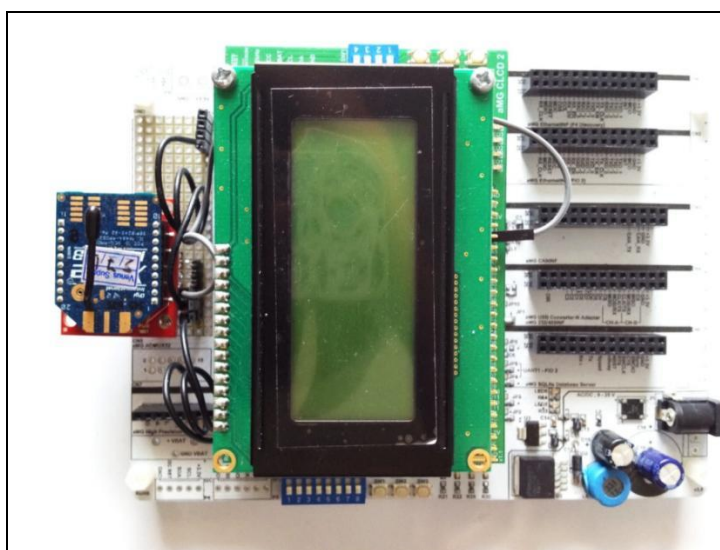


ด้านหลัง



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

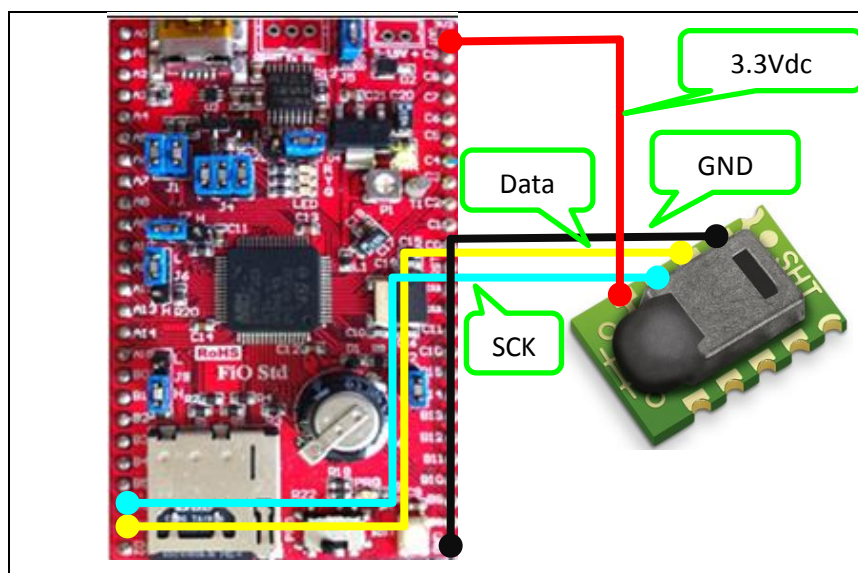
ความ ละเอียด	ค่าคงที่				
	$t1$	$t2$	$c1$	$c2$	$c3$
12 บิต	0.01	0.00008	-4	0.0405	-2.8×10^{-6}
8 บิต	0.01	0.00128	-4	0.648	-7.2×10^{-4}

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 บิตที่สำคัญสูงสุดของข้อมูลจะถูกส่งออกมาก่อน กรณีอ่านค่าแบบ 8 บิต ไบต์แรกจะไม่ถูกใช้งาน

ตารางที่ 3.3 ค่าเวลาที่โมดูล SHT11 ต้องใช้ในการประมวลผลข้อมูล

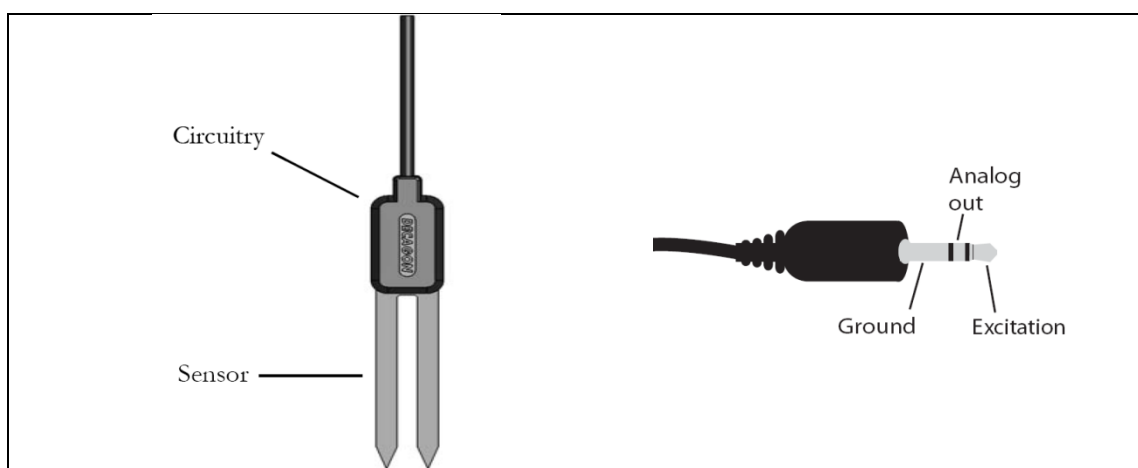
ความละเอียดของข้อมูลที่ประมวลผล	เวลาที่โมดูล SHT11 ใช้ประมวลผล
14 บิต	210 มิลลิวินาที
12 บิต	55 มิลลิวินาที
8 บิต	11 มิลลิวินาที



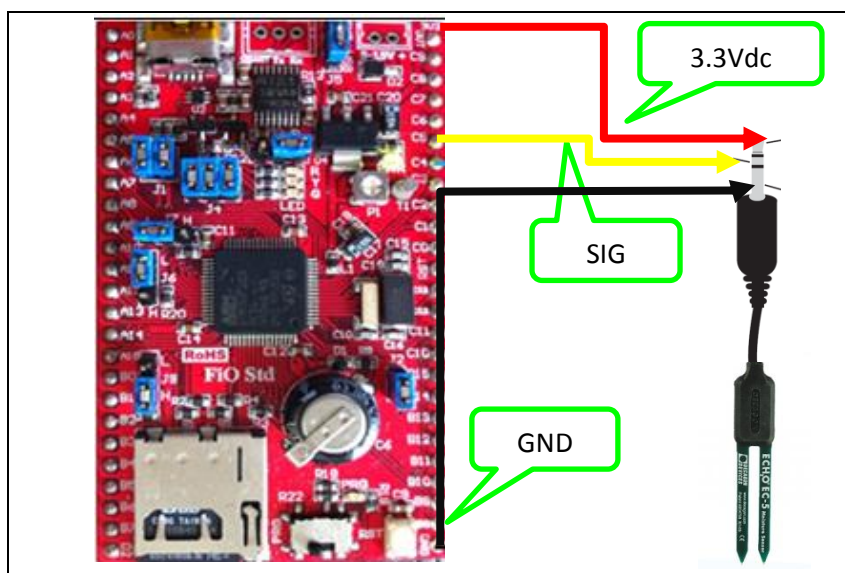
รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อเซนเซอร์ SHT11 กับบอร์ด FiO Std

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

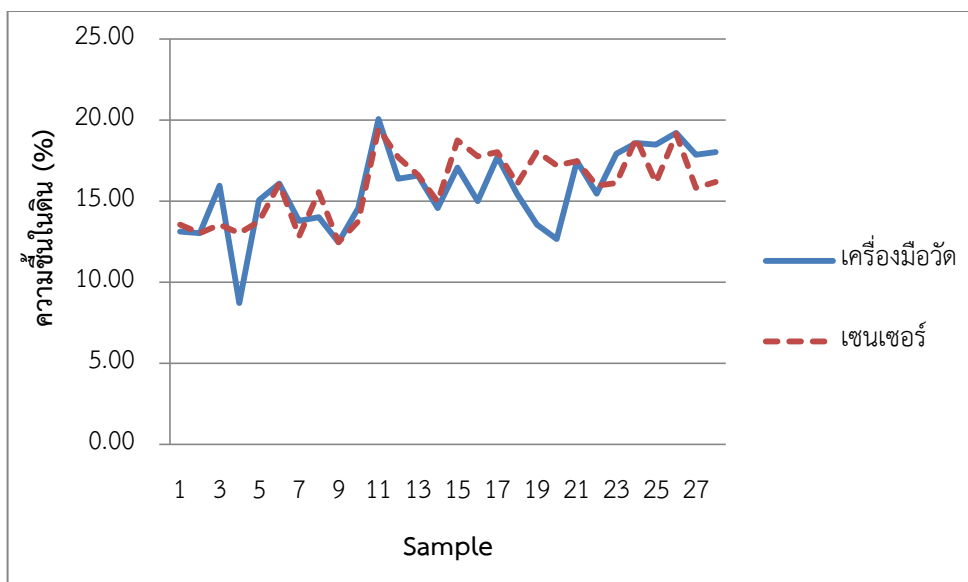
$$\theta_m = \frac{m_w}{m_s} \quad (3.4)$$

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

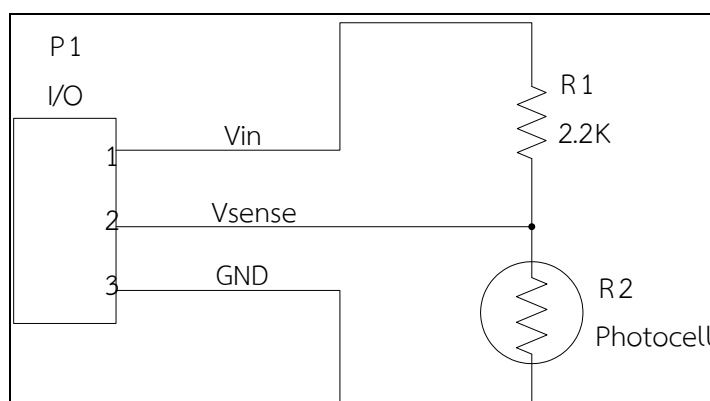
จุด ทดสอบที่	ความชื้นโดย มวล (%)	เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน		
		แรงดัน (Volt)	ความชื้นในดิน (%)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
1	13.13	0.42	13.56	3.28
2	13.02	0.39	13.02	0.03
3	15.95	0.42	13.56	14.98
4	8.73	0.39	13.02	49.09
5	15.07	0.43	13.74	8.83
6	16.07	0.56	16.08	0.07
7	13.77	0.38	12.84	6.75
8	14.02	0.53	15.54	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) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยค่าความต้านทานขึ้นอยู่กับแสงที่ตกกระทบบนตัวโฟโตเซลล์ถ้ามีแสงมากระทบบจะทำให้ค่าความต้านทานต่ำ (หรือได้ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำ) แต่ถ้าไม่มีแสงมาตกกระทบบจะทำให้ค่าความต้านทานสูง (ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูง) สัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดเป็นสัญญาณแอนะล็อก โดยผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ใช้การเข้ารหัสข้อมูลขนาด 12 บิต จะได้ข้อมูลความเข้มแสงที่เป็นค่าของแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 3.11 วงจรเซนเซอร์วัดความเข้มแสง

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

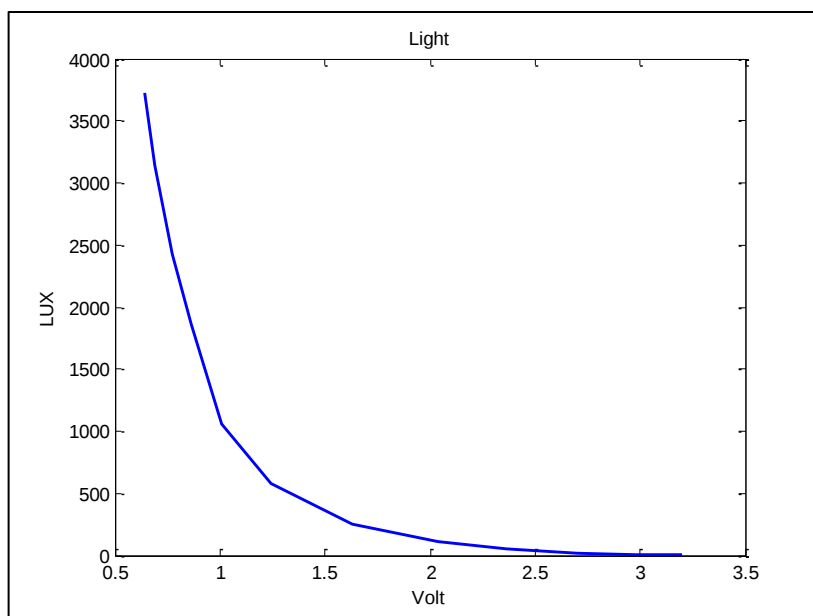
สมการที่ใช้ในการปรับเทียบค่าให้ถูกต้องกับเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐาน (Illuminance, LUX) ยี่ห้อ Digital Lux Meter รุ่น LX1010BS

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

ผลการแปลงค่าความเข้มแสงให้มีหน่วยเป็นลักซ์ภายหลังการปรับเทียบกับเครื่องมือวัดความเข้มแสงมาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ค่าความเข้มแสง หน่วยเป็นลักซ์ (LUX)

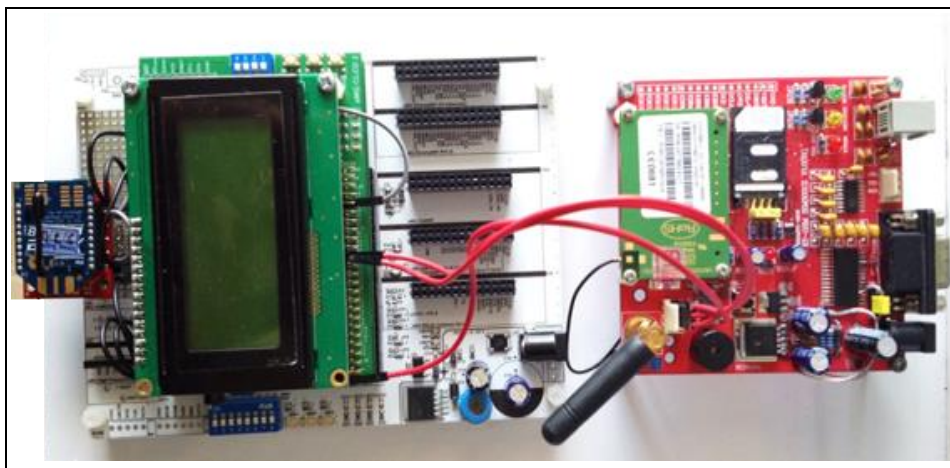
ค่าแรงดัน (V)	ความต้านทาน (Ω)	ความเข้มแสงหน่วยลักซ์ (LUX)
3.200	66.270	1.000
3.200	63.540	1.000
3.180	53.350	1.333
3.120	35.070	2.549
2.980	18.380	6.583
2.700	9.000	20.222
2.360	5.050	52.415
2.040	3.240	107.256
1.630	1.960	247.976
1.240	1.210	581.806
1.010	0.880	1055.898
0.860	0.710	1861.539
0.770	0.610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



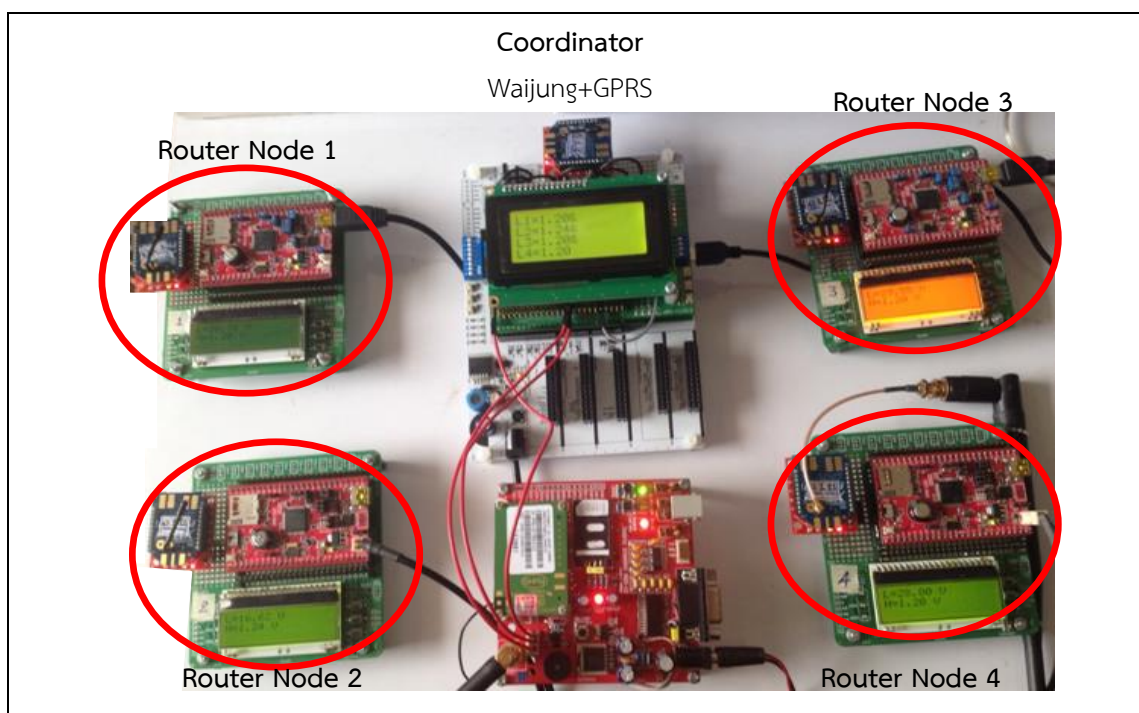
รูปที่ 3.14 การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าและค่าความเข้มแสงในหน่วยของลักซ์ (LUX)

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

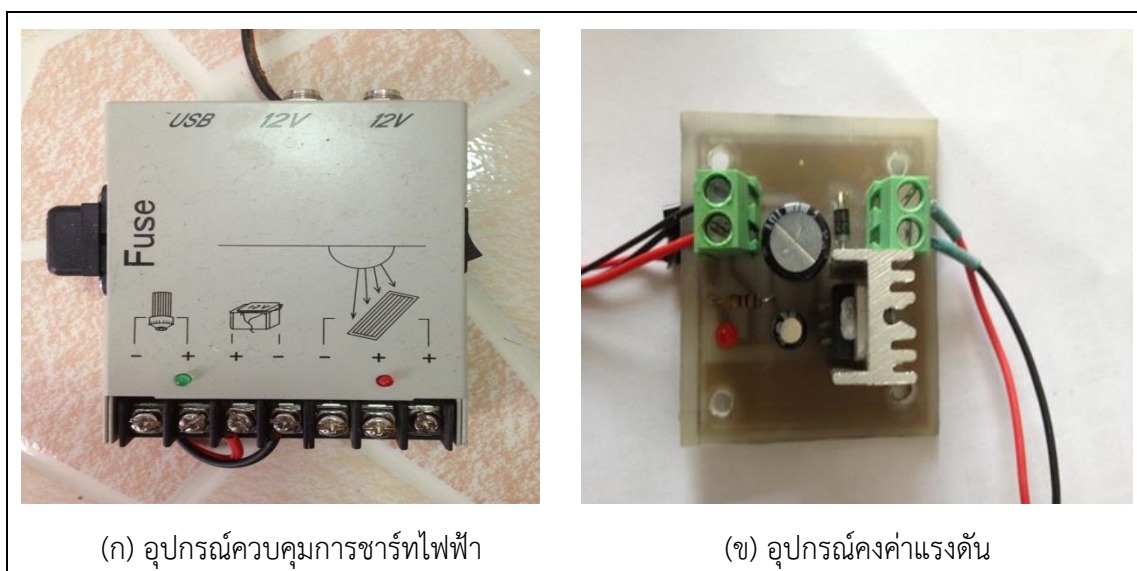


รูปที่ 3.17 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

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



รูปที่ 3.18 อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จไฟฟ้าและอุปกรณ์คงค่าแรงดัน

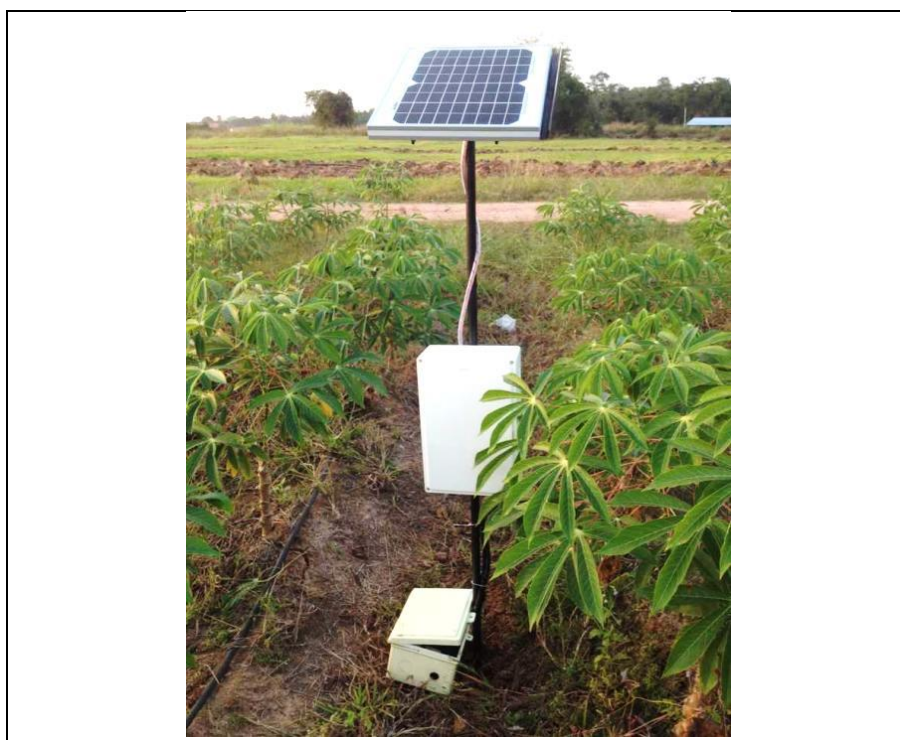
นอกจากนี้ผู้วิจัยยังทำการออกแบบอุปกรณ์สำหรับการคงค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulator) เพื่อใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 12V ให้เป็น 5V เพื่อนำไปใช้เป็นไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด FiO Std บอร์ด Waijung และบอร์ดสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

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

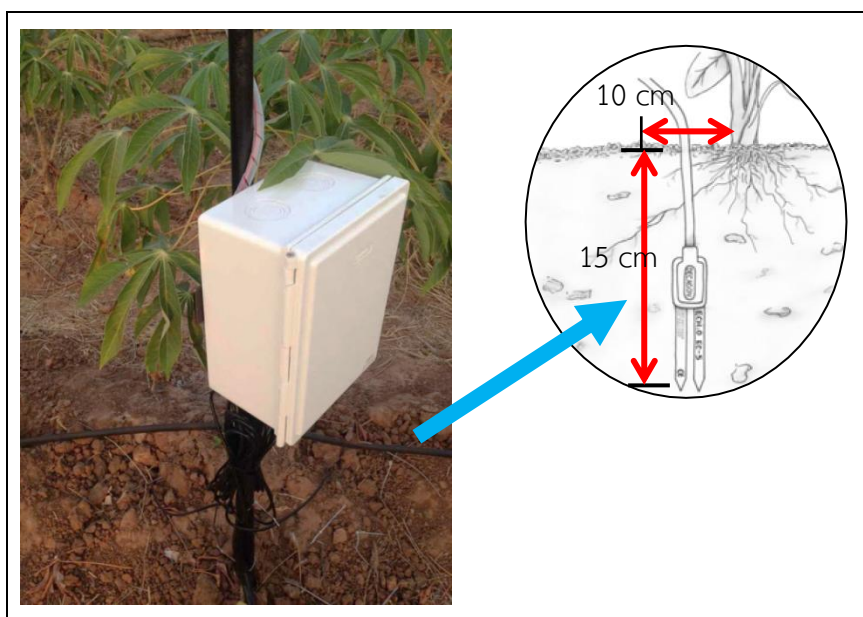
การติดตั้งเซนเซอร์วัดความเข้มแสง มีตำแหน่งที่ใช้ในการติดตั้งบริเวณข้างกล่องใส่บอร์ดทดลองเช่นเดียวกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ลักษณะของกล่องเป็นกล่องใสที่แสงส่องผ่านได้ แสดงการติดตั้งเซนเซอร์วัดความเข้มแสงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 การติดตั้งเซนเซอร์วัดความเข้มแสง

3) เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

การติดตั้งเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน มีตำแหน่งที่ใช้ในการติดตั้งบริเวณรอบข้างต้นมันสำปะหลัง ระยะห่างจากลำต้น 10 เซนติเมตร ที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทดสอบบริเวณที่มีการรดน้ำต้นมันสำปะหลังและบริเวณที่ไม่มีการรดน้ำ แสดงการติดตั้งเซนเซอร์วัดความชื้นในดินดังรูปที่ 3.23



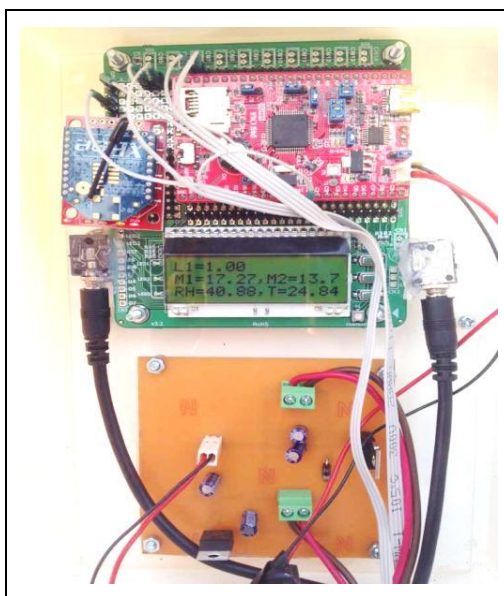
รูปที่ 3.23 การติดตั้งเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

3.3.2 การแสดงผลข้อมูลสภาพแวดล้อม

การแสดงผลข้อมูลสภาพแวดล้อมที่วัดได้ในพื้นที่เกษตรกรรมสามารถแบ่งการแสดงผลออกเป็น 2 ส่วนคือ การแสดงผลของแต่ละโนด ซึ่งเป็นการแสดงผลบริเวณที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ เซนเซอร์และการแสดงผลบนอินเทอร์เน็ต

1) การแสดงผลของแต่ละโนด

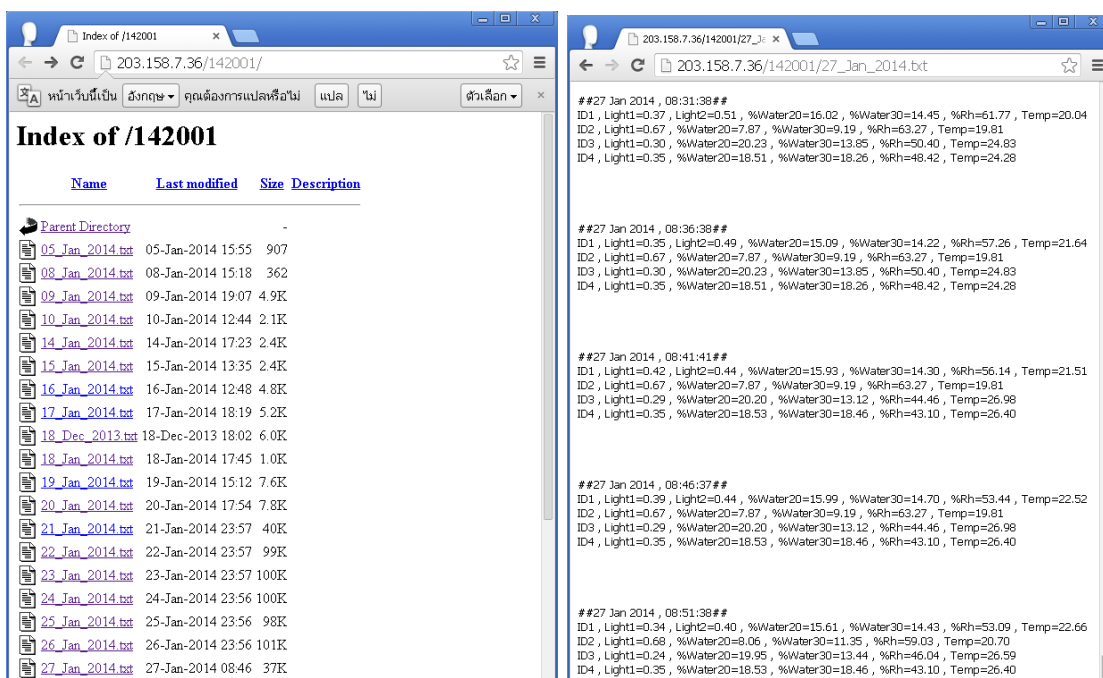
มีการแสดงผลข้อมูลสภาพแวดล้อมที่หน้าจอ LCD ของแต่ละโนด ซึ่งเราสามารถอ่านค่าสภาพแวดล้อมได้โดยตรง แสดงดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 การแสดงผลหน้าจอ LCD ของแต่ละโนด

2) การแสดงผลทางอินเทอร์เน็ต

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

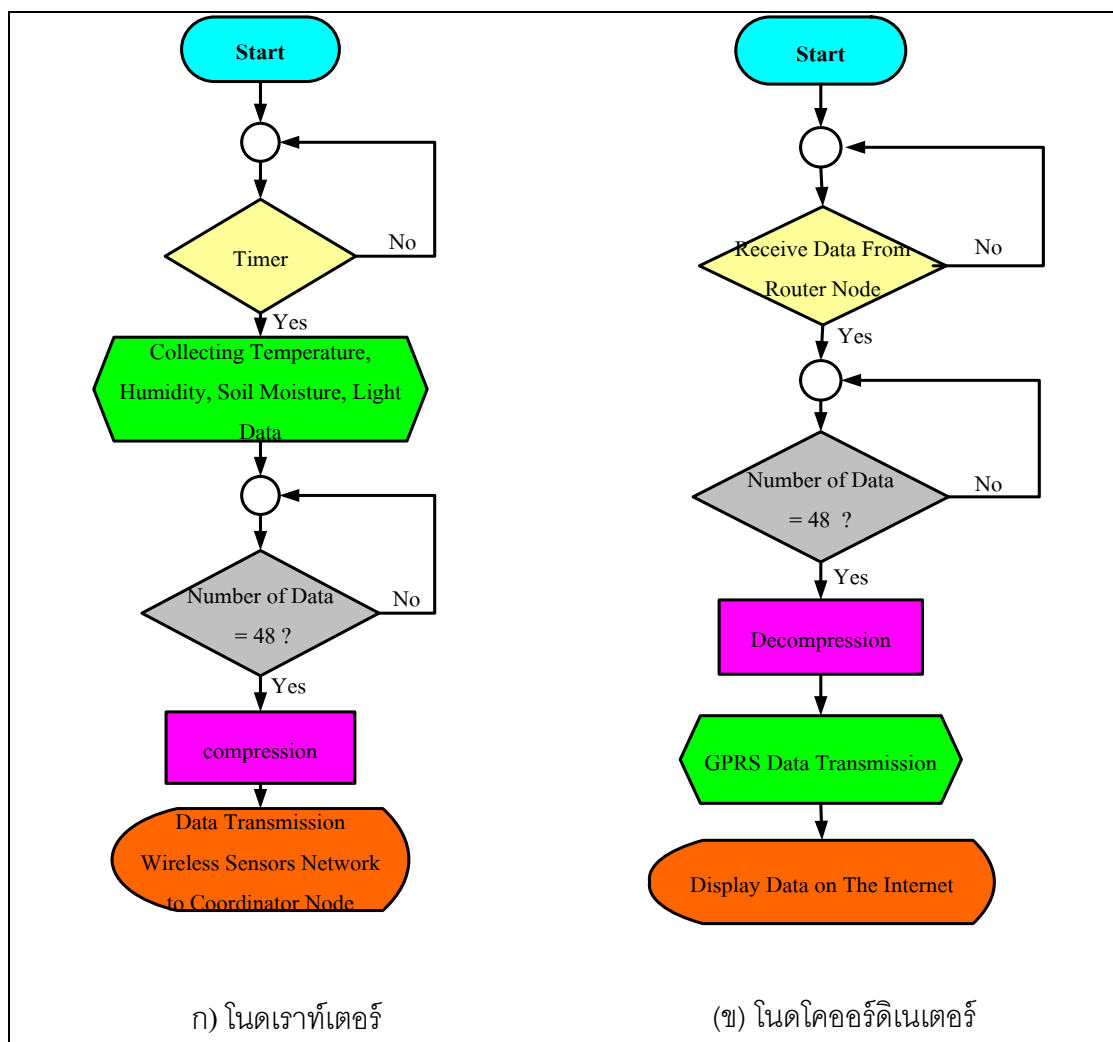


รูปที่ 3.25 การแสดงผลทางอินเทอร์เน็ต

3.4 การออกแบบทางซอฟต์แวร์

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการบีบอัดข้อมูลสภาพแวดล้อมในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมของฝั่งรับข้อมูล ซึ่งจะถูกระบุว่า โหนดโคออดิเนเตอร์ และฝั่งส่งข้อมูลซึ่งทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซนเซอร์ จะถูกระบุว่า โหนดเร้าเตอร์ ดังรูปที่ 3.26 สามารถแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกได้เป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

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



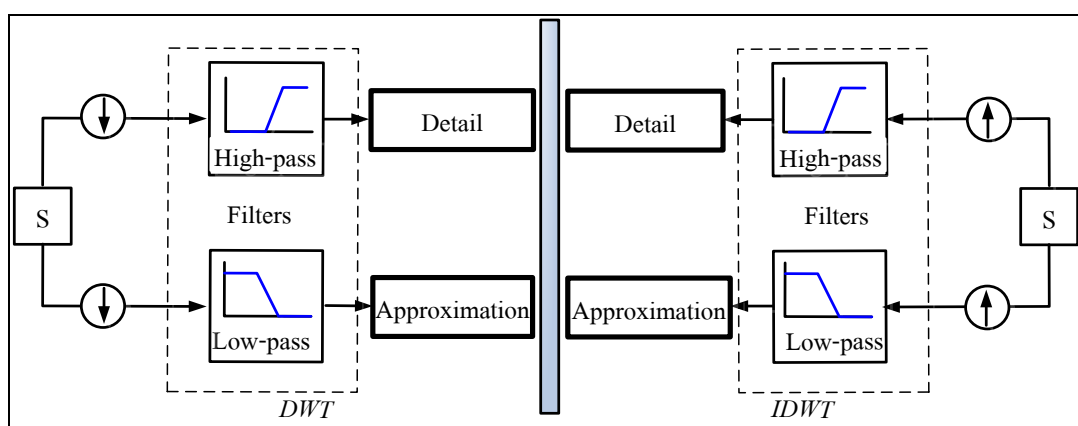
รูปที่ 3.26 การทำงานของโปรแกรมควบคุมโนดโคออร์ดิเนเตอร์และโนดเร้าเตอร์

3.4.1 การเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อม

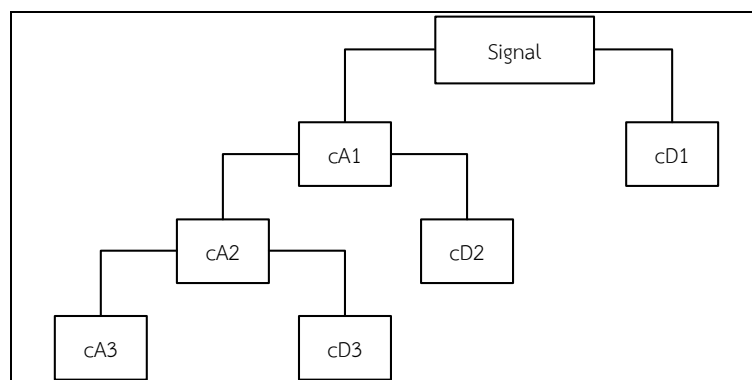
การเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมเพื่อใช้ในการบีบอัดข้อมูลนั้น ได้ทำการเก็บข้อมูลของ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นในดิน และความเข้มแสง บริเวณแปลงปลูกมันสำปะหลังที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมเหล่านี้ เป็นชุดทดลอง ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32TM ARM 32-bits CortexTM M3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

3.4.2 การบีบอัดข้อมูลโดยการแปลงเวฟเลต

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

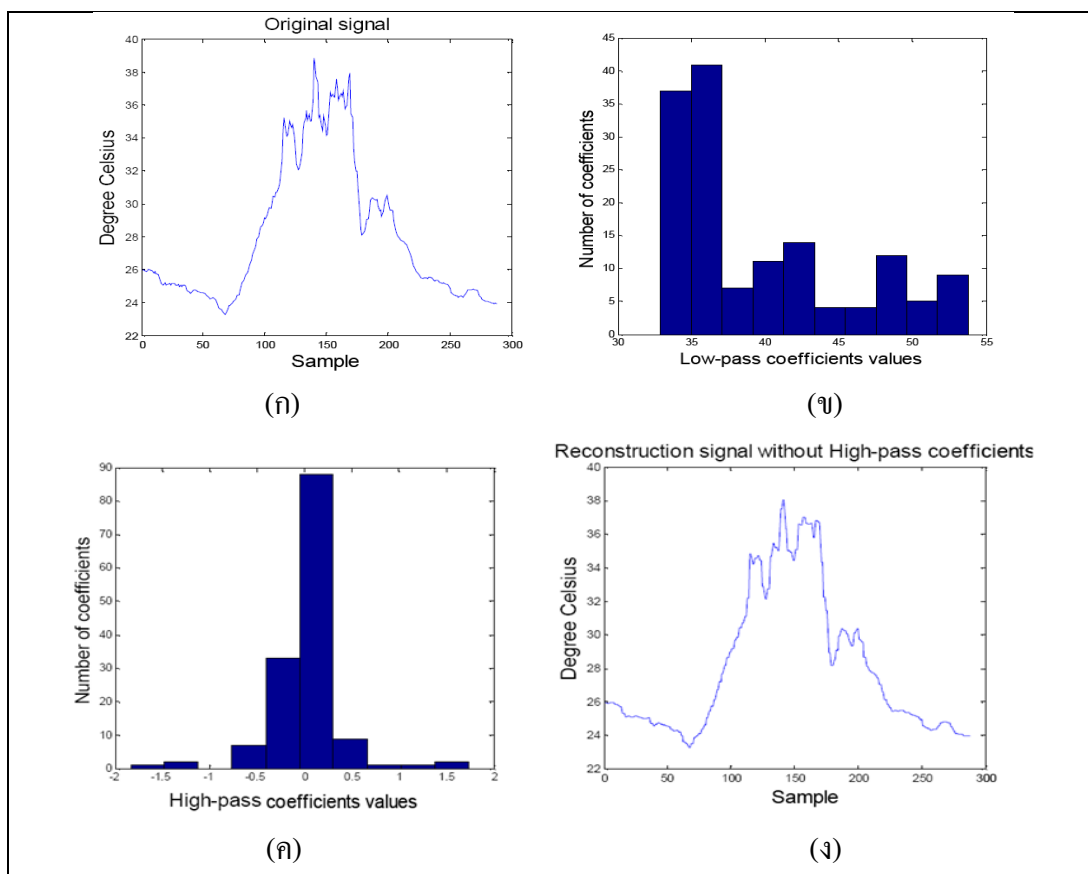


รูปที่ 3.27 การแยกองค์ประกอบและการรวมกลับองค์ประกอบในการแปลงเวฟเลต 1 ระดับ



รูปที่ 3.28 องค์ประกอบของการแปลงเวฟเลตหลายระดับ

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]

งานวิจัยนี้ได้เลือกพิจารณาเวฟเลตเพื่อนำมาใช้งาน 4 ชนิด ได้แก่ Haar Daubechies Symlet และ Coiflets เนื่องจากเป็นเวฟเลตที่มีคุณลักษณะเหมือนกันคือ เป็นเวฟเลตแบบตั้งฉาก (Orthogonal Wavelet) ซึ่งจะทำให้สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติได้ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ในการบีบอัดสัญญาณโดยการแปลงเวฟเลตของการประมวลผลสัญญาณส่วนใหญ่เป็นสัญญาณความถี่ต่ำ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การประมาณเป็นค่าที่ได้จากการผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter) ในกระบวนการบีบอัดข้อมูลโดยการแปลงเวฟเลต ดังแสดงในรูปที่ 3.29 (ข)

โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการหาคุณภาพเวฟเลตทั้ง 4 ชนิด ที่กล่าวมา เพื่อหาชนิดของการแปลงเวฟเลตที่เหมาะสม ซึ่งแต่ละชนิดของการแปลงเวฟเลต สามารถแบ่งออกเป็นชนิดย่อย เช่น Daubechies แบ่งออกเป็น Daubechies2 (Db2) Daubechies4 (Db4) Daubechies6 (Db6) Daubechies8 (Db8) และ Daubechies10 (Db10) การแปลงเวฟเลตชนิด Symlet แบ่งออกเป็น Symlet1 ถึง Symlet5 และการแปลงเวฟเลตชนิด Coiflets แบ่งออกเป็น Coiflets1 ถึง Coiflets5 ซึ่งแต่ละชนิดของการแปลงเวฟเลตจะทำการแปลงเวฟเลต 1 ถึง 3 ระดับ ในการบีบอัดข้อมูลสภาพแวดล้อมโดยใช้เทคนิคการแปลงเวฟเลตแบบ SHPS [7] ซึ่งทำการแปลงเวฟเลตและตัดสัญญาณ

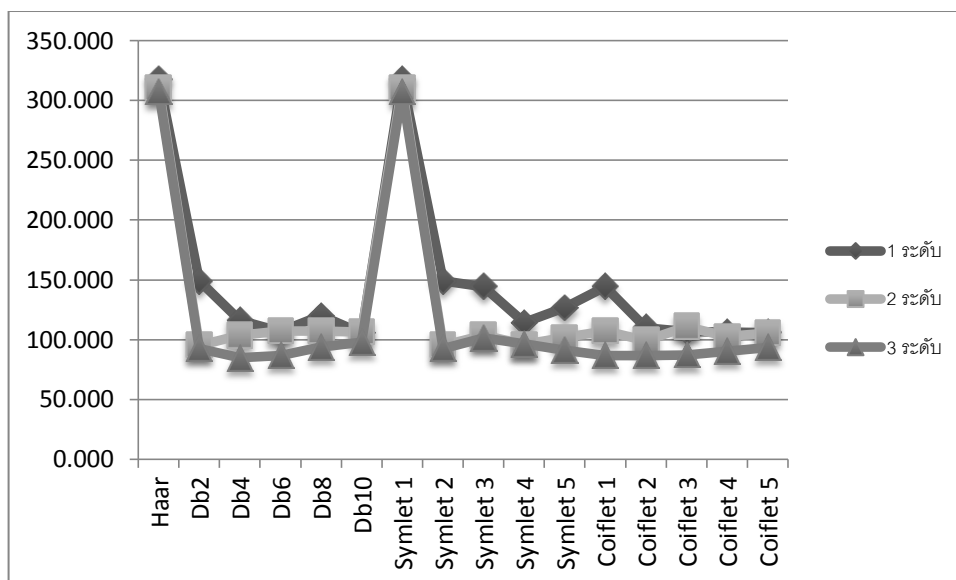
ด้านความถี่สูงทั้ง จะส่งเพียงข้อมูลด้านความถี่ต่ำเท่านั้น ในส่วนของการสร้างกลับข้อมูลจะทำการสร้างสัญญาณ 0 เข้ามาแทนที่สัญญาณด้านความถี่สูงที่ถูกตัดทิ้งไป โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการของ Mohsen Nasri [7] เนื่องจากวิธีการตัดองค์ประกอบด้านความถี่สูงของการแปลงเวฟเล็ต SHPS ที่นำเสนอ เป็นวิธีการที่ง่ายต่อการดำเนินการ 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

ชนิดของเวฟเลต	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 ในระดับการแปลงเวฟเลตที่ 1 2 และ 3 ของการบีบอัดข้อมูลด้วยการแปลงเวฟเลตชนิด Haar และ Symlet1 มีค่า SNR มากที่สุดคือ 317.554 310.375 และ 307.129 ตามลำดับ



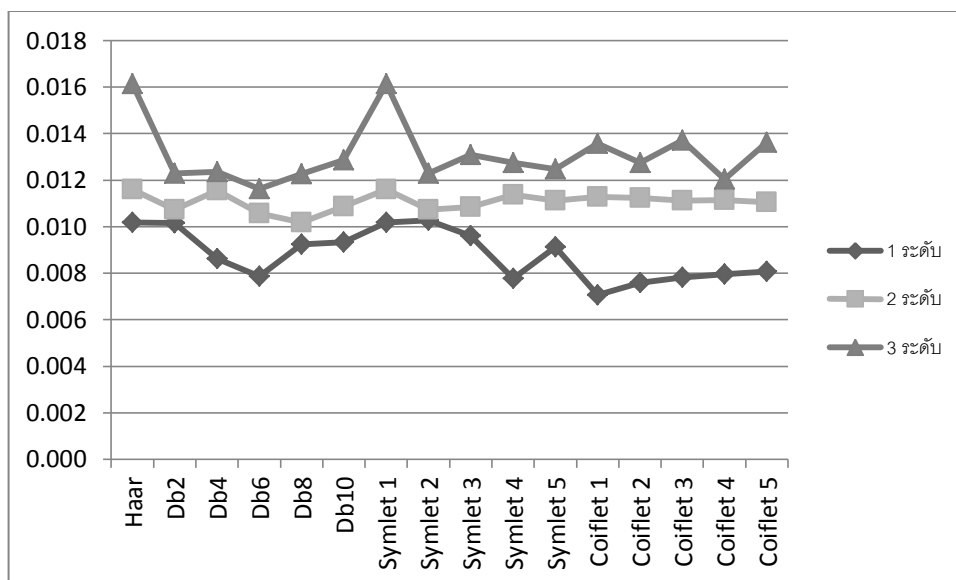
รูปที่ 3.30 ค่าเฉลี่ย SNR ของข้อมูลที่ผ่านการบีบอัด จำนวน 10 ชุดข้อมูล

จากรูปที่ 3.30 จะเห็นว่า ชนิดของการแปลงเวฟเล็ตที่ให้ค่า SNR ที่มากที่สุดคือ การแปลงเวฟเล็ตแบบ Haar และ Symlet1 และเมื่อระดับของการแปลงเวฟเล็ตมากขึ้นทำให้ค่า SNR มีค่าลดลงหรือคุณภาพของข้อมูลลดลงนั่นเอง

ตารางที่ 3.8 ค่าเฉลี่ย $RMSE$ ของข้อมูลที่ผ่านการบีบอัด จำนวน 10 ชุดข้อมูล

ชนิดของเวฟเลต	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 ของการบีบอัดข้อมูลด้วยเวฟเลตชนิด Coiflet 1 มีค่า $RMSE$ น้อยที่สุด คือ 0.007 ในระดับที่ 2 ของการบีบอัดข้อมูลด้วยเวฟเลตชนิด Db8 มีค่า $RMSE$ น้อยที่สุด คือ 0.010 และในระดับที่ 3 ของการบีบอัดข้อมูลด้วยเวฟเลตชนิด Db2 Db4 Db6 Db8 Symlet 2 Symlet 5 และ Coiflet 4 มีค่า $RMSE$ น้อยที่สุดคือ 0.012



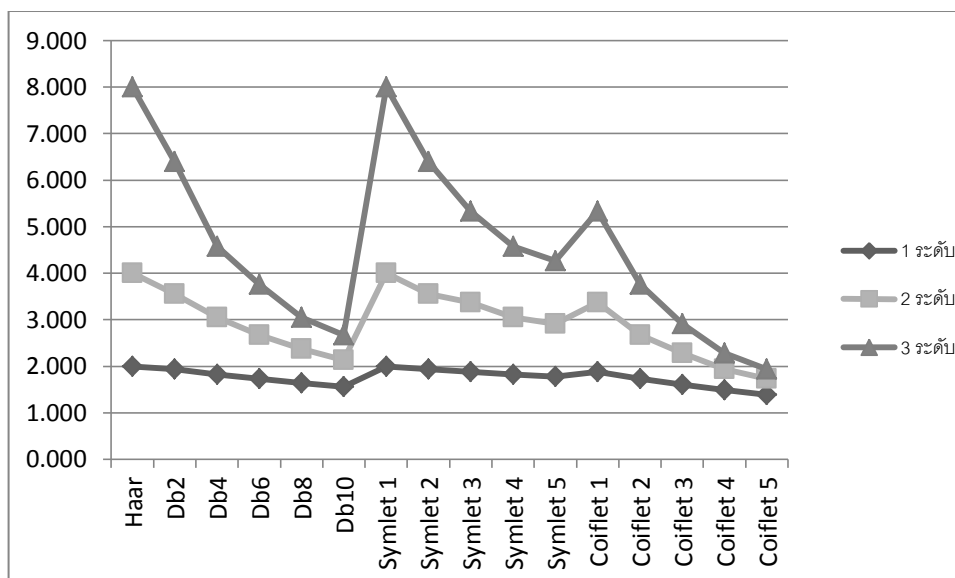
รูปที่ 3.31 ค่าเฉลี่ย $RMSE$ ของข้อมูลที่ผ่านการบีบอัด จำนวน 10 ชุดข้อมูล

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

ตารางที่ 3.9 ค่าเฉลี่ยอัตราการบีบอัดของข้อมูลผ่านการบีบอัด จำนวน 10 ข้อมูล

ชนิดของเวฟเลต	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 ในการแปลงเวฟเลตทั้ง 3 ระดับ การบีบอัดข้อมูลด้วยเวฟเลตชนิด 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 เมื่อเพิ่มระดับการแปลงเวฟเล็ตในการบีบอัดข้อมูลจะสามารถลดขนาดของข้อมูลได้มากขึ้นด้วย และเวฟเล็ตที่สามารถลดขนาดได้มากที่สุดคือเวฟเล็ตชนิด Haar และ Symlet 1 นั่นเอง

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอการออกแบบทางฮาร์ดแวร์ การออกแบบทางซอฟต์แวร์ และการติดตั้งเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในแปลงทดลองปลูกมันสำปะหลังในบริเวณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และหัวข้อสุดท้ายได้นำเสนอการบีบอัดข้อมูลโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต จากการทดสอบคุณภาพของการบีบอัดข้อมูลพบว่า การบีบอัดข้อมูลด้วยเวฟเล็ตชนิด Haar และ Symlet 1 สามารถให้ค่า *SNR* มากที่สุด และมีค่าอัตราการบีบอัดที่มากที่สุด แต่ยังคงมีค่า *RMSE* ที่สูงกว่าการบีบอัดข้อมูลด้วยเวฟเล็ตชนิดอื่น ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้เวฟเล็ตชนิด Haar ในการบีบอัดข้อมูล เนื่องการประมวลผลในบอร์ด *FiO Std* เป็นการประมวลผลที่มีทรัพยากรที่จำกัด ซึ่งจากการศึกษาเวฟเล็ตชนิด Haar เป็นเวฟเล็ตที่ใช้งานง่าย ใช้ระยะเวลาในการประมวลผลสั้นมีหน่วยความจำในการคำนวณอย่างมีประสิทธิภาพและมีคุณสมบัติตั้งฉากด้วย นอกจากนั้นบอร์ด *FiO Std* ยังรองรับการทำงานของเวฟเล็ตซึ่งง่ายต่อการนำไปใช้งานอีกด้วย