

# ต้นแบบระบบการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ในกองข้าวเปลือกแบบไร้สาย

ปรีชา กอเจริญ

เติมพงษ์ ศรีเทศ

เพชร นันทวิวัฒนา

กลุ่มศึกษาและวิจัยเชิงประยุกต์ไมโครคอนโทรลเลอร์ อิเล็กทรอนิกส์ และโทรคมนาคม (SARGMET)

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

email: preecha.ko@spu.ac.th

## บทคัดย่อ

การกองเก็บข้าวเปลือกหากอุณหภูมิภายในกองสูงมีผลทำให้ข้าวเปลือกนั้นเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว ระบบตรวจวัดจะแจ้งเตือนเกษตรกรให้ทำการลดอุณหภูมิและความชื้นในกองข้าวเปลือกได้ทันเวลา ซึ่งจะช่วยลดการเสียหายลงได้ งานวิจัยนี้เป็นการสร้างต้นแบบระบบการวัดและแจ้งเตือนแบบไร้สายสำหรับตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น ที่มีการใช้พลังงานต่ำ สามารถนำไปใช้ในกองข้าวเปลือกเพื่อตรวจเช็คเป็นระยะเวลานานได้

## Abstract

When paddy-rice is stored as a pile, if a temperature inside the pile is increased the quality of the paddy rice will be degraded rapidly. A monitoring system can be used to forewarn an agriculturist to reduce the temperature and humidity inside the paddy-rice pile. With help with this system, the damage can be reduced. This research introduces a prototype of the low-power wireless temperature and humidity monitoring system in paddy-rice pile. The low-power system means that it could be used for long period of time.

## คำสำคัญ

อุปกรณ์ตรวจวัดค่าความชื้น, เครือข่ายการตรวจวัดไร้สาย

## 1. บทนำ

ผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมบริโภคข้าวที่ผ่านกระบวนการสีเป็นข้าวสารที่มีข้าวหักน้อย ปัจจัยที่ทำให้ข้าวหักในระหว่างการสีส่วนหนึ่งได้แก่ความชื้นของข้าวเปลือก [1]

โรงสีข้าวขนาดเล็ก และกลางเป็นจำนวนมาก ไม่มีวิธีการเหมาะสมในการเก็บรักษาคุณภาพข้าวเปลือก รวมทั้งไม่มีเงินทุนในการสร้างสถานที่เก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีคุณภาพสูงได้ จึงใช้วิธีการเก็บข้าวเปลือกโดยการกองเนื่องจากมีความยืดหยุ่น ง่ายต่อการเคลื่อนย้ายตำแหน่ง และลงทุนไม่สูง ดังแสดงในภาพที่ 1

## 2. ที่มาและแรงจูงใจของปัญหา

การกองเก็บข้าวเปลือกหากมีความชื้นสูงจะทำให้อุณหภูมิภายในกองสูงขึ้นด้วย [1] มีผลทำให้ข้าวเปลือกเสื่อมคุณภาพ

อย่างรวดเร็ว และจะทำให้เกิดความสูญเสียในระหว่างการสี ทำให้ข้าวแตกหักและราคาลดลง ดังนั้นเกษตรกรจึงจำเป็นต้องตรวจตรากองข้าวเปลือกเพื่อวัดค่าอุณหภูมิภายในกองข้าวเปลือกเป็นประจำอยู่เสมอ ปัจจุบันเกษตรกรจะใช้เครื่องมีวัดอุณหภูมิที่มีลักษณะเป็นแท่งโลหะมีความยาว 3 – 5 เมตรแทงลงในกองข้าวเพื่อทำการวัดค่าอุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูงขึ้นหมายถึงความชื้นในกองก็จะสูงขึ้นด้วย ซึ่งหากการวัดค่าดังกล่าวไม่ได้ทำอย่างเป็นประจำและต่อเนื่อง เราจะไม่สามารถทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นที่เพิ่มขึ้นได้ทันเวลาที่และอาจทำให้เกิดการเสียหายของข้าวเปลือกในที่สุด วิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยการสร้างระบบตรวจวัดที่สามารถแจ้งเตือนเกษตรกรหรือผู้ดูแลได้เมื่อความชื้น และอุณหภูมิในกองข้าวสูงขึ้น โดยตรวจวัดตลอดยี่สิบสี่ชั่วโมง ทุกวัน จนกว่าจะทำการเคลื่อนย้ายข้าวเปลือก ซึ่งระบบนี้จะต้องมีความง่ายในการใช้งาน ง่ายในการแสดงผลเพื่อให้เกษตรกรสามารถเข้าใจและใช้งานได้สะดวก



ภาพที่ 1: ตัวอย่างการกองข้าวเปลือกในโรงเก็บ

## 3. รายละเอียดการพัฒนา

โครงสร้างของระบบการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกองข้าวเปลือกแบบไร้สายนี้ประกอบด้วยส่วนหลัก สามส่วน คือ 1) ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดที่ติดตั้งอยู่ภายในกองข้าวเปลือก เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและ ความชื้นภายในกอง และ ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดที่ติดตั้งอยู่ภายนอกกองข้าวเปลือกเพื่อวัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศบริเวณรอบๆกอง 2) อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย เพื่อทำหน้าที่ส่งข้อมูลที่ได้จากการวัดของอุปกรณ์ตรวจวัด ส่งไปยังส่วนควบคุมกลาง 3) ส่วนควบคุมกลาง ทำหน้าที่รับข้อมูลที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดทั้งหมด

เพื่อบันทึกและทำการประมวลผล พร้อมทั้งแสดงค่าการวัดออกทางหน้าจอ โดยจะมีการแจ้งเตือนเมื่อประมวลผลแล้วผลที่ได้แสดงว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกองข้าวสูงจนอาจทำให้คุณภาพข้าวเปลือกเสื่อมลง

อุปกรณ์ส่วนควบคุมกลางจะอยู่ในบริเวณออฟฟิศของผู้ดูแลโรงสี หรือโกดังเก็บ อุปกรณ์ส่วนควบคุมกลางจะรับข้อมูลที่ทำกรวัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดผ่านทาง การสื่อสารไร้สาย การแสดงผลอุณหภูมิ และความชื้นจะแสดงเป็นตัวเลขที่สามารถแสดงค่าการวัดได้ทุกกองข้าวที่วางอุปกรณ์วัดเอาไว้ และมีการบันทึกค่าต่างๆไว้ในสื่อดิจิทัลที่สามารถนำเข้ามาคอมพิวเตอร์ได้ นอกจากนี้ยังทำการประมวลผลการวัดที่ได้แสดงออกเป็นแถบไฟเพื่อเตือนผู้รับผิดชอบในการดูแลกองข้าว โดยแถบไฟจะแสดงจำนวนน้อยดวงเมื่อกองข้าวมีอุณหภูมิและความชื้นอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย และเมื่ออุณหภูมิและความชื้นเพิ่มขึ้น แถบไฟจะแสดงมากดวงขึ้นเพื่อเตือนให้ผู้ดูแลต้องเฝ้าระวังใกล้ขีดขึ้น เมื่อกองข้าวมีอุณหภูมิและความชื้นอยู่ในเกณฑ์ที่จะทำให้ข้าวเปลือกเสียหาย แถบไฟแสดงมากดวงยิ่งขึ้นและจะกลายเป็นสีแดงเพื่อเตือนให้ผู้ดูแลต้องทำการลดความชื้นภายในกองข้าว สำหรับการสื่อสารไร้สายนั้นจะสามารถจำแนกข้อมูลระหว่างกันได้ว่าการส่งข้อมูลมาจากอุปกรณ์ตรวจวัดตัวใด มาจากกองข้าวกองไหน เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้มีมากกว่า 1 ตัว และเนื่องจากเป็นระบบที่ต้องสามารถทำการวัดและเฝ้าระวังเป็นระยะเวลานาน บางครั้งอาจนานกว่า 6 เดือน จึงต้องออกแบบให้โครงสร้างภายนอกของอุปกรณ์ตรวจวัดมีความแข็งแรง มีความต้องการการดูแลรักษาต่ำ มีการใช้พลังงานน้อย เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานโดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ขนาดเล็กเพราะเมื่อฝังอุปกรณ์ตรวจวัดลงในกองข้าวแล้วจะนำอุปกรณ์ออกจากกองข้าวไม่สะดวก

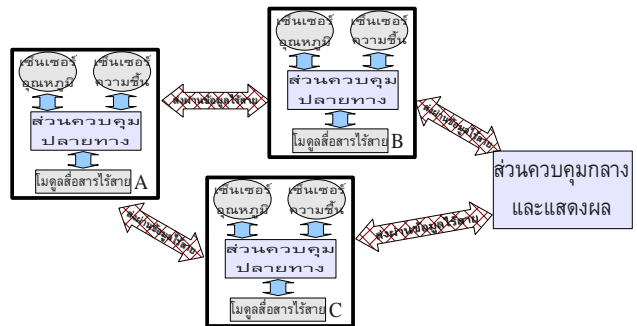
ในการทดลองขั้นแรกจะทำการวัดข้อมูลในกองข้าวเปลือกมากกว่า 1 ตำแหน่ง เพื่อยืนยันผลตามข้อมูลจากงานวิจัยเรื่องผลของอุณหภูมิแวดล้อมต่ออุณหภูมิข้าวเปลือกและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวระหว่างเก็บรักษา [1] จากนั้นอาจจะใช้การวัดผลเพียงจุดเดียวโดยวางไว้กลางกองข้าวเปลือก เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงสุด และยังเป็น การลดต้นทุนการผลิตเพื่อไม่ให้ราคาของอุปกรณ์ของระบบนี้มีราคาสูงเมื่อทำการสร้างเป็นอุปกรณ์จริงออกจำหน่าย

### 3.1 ภาพรวมของระบบ

การสร้างอุปกรณ์ต้นแบบในการวัดอุณหภูมิและความชื้นในกองข้าวเปลือกแบบไร้สาย เริ่มจากการศึกษาและเลือกอุปกรณ์

ประกอบในส่วนต่างๆ ที่มีความเหมาะสม โครงสร้างของระบบแสดงในภาพที่ 2

ระยะห่างระหว่างกองข้าวเปลือกนั้นอาจไม่ไกลกันนัก ในระยะ 5 - 10 เมตร หรือบางครั้งอาจกองห่างกันกับส่วนควบคุมกลางในระยะทางประมาณ 100 เมตร ด้วยเหตุนี้ระบบการสื่อสารไร้สายจำเป็นจะต้องทำการส่งข้อมูลระหว่างโหนดปลายทาง ไปยังส่วนควบคุมกลางให้ได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการส่งข้อมูลต่อกันไป โดยจากภาพที่ 3 ข้อมูลการวัดจากโหนด A จะถูกส่งผ่านทางโหนด B เพื่อเป็นตัวกลางนำข้อมูลส่งต่อไปยังส่วนควบคุมกลาง



ภาพที่ 2: โครงสร้างของระบบตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นในกองข้าวเปลือกแบบไร้สาย

### 3.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ

อุปกรณ์สำคัญที่ต้องใช้ในงานวิจัยคือ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์วัดความชื้น ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมอุปกรณ์เซ็นเซอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมและแสดงผลในส่วนกลาง อุปกรณ์ควบคุมแรงดัน แบตเตอรี่ และโมดูลการสื่อสารไร้สาย สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์ในแต่ละส่วนแสดงดังนี้

#### 3.2.1 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่เลือกใช้คือเซ็นเซอร์ TCN75A ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ที่ทำการวัดอุณหภูมิและให้ค่าผลลัพธ์เป็นสัญญาณดิจิทัลในรูปแบบอนุกรมสองสาย (2-wire serial : I<sup>2</sup>C compatible) จากบริษัทไมโครชิป (Microchip) [2] ช่วงอุณหภูมิที่ทำการวัดได้ตั้งแต่ -40°C ถึง +125°C เมื่อไม่มีการทำงานจะประหยัดพลังงานมีความต้องการกระแสเพียง 2  $\mu$ A เซ็นเซอร์ชนิดนี้ยังสามารถต่อใช้งานได้มากถึง 8 ตัวโดยใช้สายสัญญาณเดียวกัน

#### 3.2.2 เซ็นเซอร์วัดความชื้น

เซ็นเซอร์วัดความชื้นที่เลือกใช้คือ HIH-4000-001 จากบริษัท Honeywell [3] เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟผลที่ได้จากการวัดของเซ็นเซอร์นี้จะเป็นแรงดันที่ค่อนข้างเป็น

เชิงเส้น มีความต้องการกระแสเพียง 200  $\mu$ A เท่านั้น สามารถวัดความชื้นในช่วง 0%RH ถึง 100 %RH

### 3.2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์เซ็นเซอร์ จะต้องมีความสัมพันธ์ที่สำคัญคือ มีการใช้พลังงานและ แรงดันต่ำ สามารถควบคุมอุปกรณ์เซ็นเซอร์ทุกชนิดที่ใช้งานได้ จึงเลือก ไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP430F2274 [4] จากบริษัท Texas Instrument มาใช้ ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการควบคุมและแสดงผลในส่วนกลาง จะต้องมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นมาคือ สามารถควบคุมอุปกรณ์บันทึกข้อมูลและอุปกรณ์การแสดงผลได้ จึงเลือกไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ MSP430F169 [5] จากบริษัท Texas Instrument มาใช้งาน

### 3.2.4 อุปกรณ์ควบคุมแรงดัน (Regulator)

เนื่องจากแหล่งจ่ายพลังงานที่ใช้มาจากแบตเตอรี่ที่อาจมีความหลากหลายค่าระดับแรงดัน และอีกทั้งเมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง ค่าระดับแรงดันจะลดลงจากระดับแรงดันตั้งต้น ระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงนี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพและความถูกต้องของ เซ็นเซอร์การวัดอุณหภูมิ และความชื้น อุปกรณ์ควบคุมแรงดัน จึงมีความจำเป็น และที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ NCP1117 จาก On Semiconductor [6] ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมแรงดันที่ต้องการ ค่าแรงดันแตกต่างที่ต่ำ ระหว่างแรงดันที่ต้องการควบคุมกับแรงดันแหล่งจ่ายจากแบตเตอรี่ (Low-dropout voltage regulator)

### 3.2.5 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่สำหรับใช้ในงานวิจัยนี้มีตัวเลือกอยู่สามชนิดคือ แบตเตอรี่ชนิด นิกเกิล-เมทัล-ไฮดรอกไซด์ ชนิดมีการคายประจุต่ำ (Low self-discharge NiMH battery) [7] แบตเตอรี่ชนิด ลิเทียม (Lithium battery) [8] และแบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์ (Alkaline battery) [9] เนื่องจากแบตเตอรี่ทั้งสามชนิดนี้มี อัตราการคายประจุต่ำกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆทั่วไป และ สำหรับในงานวิจัยนี้โหนดปลายทางมีการใช้พลังงานต่ำแต่ จำเป็นต้องใช้ในระยะเวลานานซึ่งอาจนานกว่า 1 ปี จึงทำให้ แบตเตอรี่ทั้งสามชนิดนี้มีความเหมาะสม สำหรับตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุดหากพิจารณาจากอัตราการเก็บประจุ แบตเตอรี่ ชนิดลิเทียมจะมีความเหมาะสมที่สุด หากพิจารณาถึงด้านราคา แบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์จะมีราคาย่อมเยาที่สุด แต่หากพิจารณาถึงการใช้งานอย่างต่อเนื่องยาวนาน สามารถนำกลับมา ใช้ซ้ำใหม่ได้ด้วยการชาร์จประจุ แบตเตอรี่นิกเกิล-เมทัล-ไฮดรอกไซด์ชนิดมีการคายประจุต่ำ จะเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุด

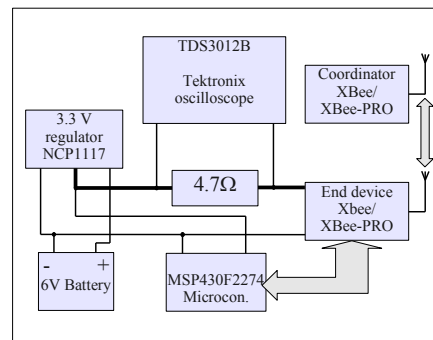
### 3.2.6 โมดูลการสื่อสารไร้สาย XBee/XBee PRO

XBee/XBee-PRO [10] เป็นโมดูลการสื่อสารไร้สายที่ใช้พลังงานต่ำและมีราคาไม่สูงนัก โดยโมดูลนี้สร้างขึ้นตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 สำหรับการใช้งานด้านเครือข่ายการตรวจวัดไร้สาย โมดูลนี้สามารถใช้งานได้ทันทีแต่จะมีการใช้พลังงานที่สูงเกินกว่าที่จะนำไปใช้งานตรวจวัดที่มีการใช้งานต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานได้ เช่นการตรวจวัดที่มีการใช้งานนานกว่า 1 ปี โดยใช้แบตเตอรี่เพียงชุดเดียว ดังนั้นการศึกษาคุณลักษณะ การกินพลังงาน และการปรับพารามิเตอร์ของโมดูลจึงมีความ จำเป็นอย่างยิ่ง อีกกรณีหนึ่งคือระยะทางการส่งสัญญาณ ระหว่างโมดูล สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของโมดูล Xbee และ Xbee-PRO แสดงในเอกสารอ้างอิงของผู้ผลิต [10]

## 4. การทดสอบการใช้งาน

### 4.1 สภาพแวดล้อมในการทดสอบ

ระบบการทดสอบแสดงดังภาพที่ 3 ในการทดสอบโมดูลปลายทางจะส่งข้อมูลเป็นระยะอย่างต่อเนื่องไปยังโมดูลศูนย์กลาง โดยระหว่างที่ไม่มีการส่งข้อมูล โมดูลปลายทางที่ถูกทดสอบนี้จะเข้าสู่โหมดหลับ (Sleep mode) เพื่อประหยัดพลังงาน สำหรับการวัดค่ากระแสของโมดูลปลายทางนี้ จะใช้การต่อตัวต้านทานจาก อุปกรณ์จ่ายและรักษาระดับแรงดัน 3.3 V อนุกรมเข้ากับส่วนไฟเลี้ยงวงจรของโมดูลการสื่อสาร ค่ากระแสที่ได้จะสามารถบอกถึงค่ากระแสในช่วงเวลาต่างๆที่โมดูลมีการเปลี่ยน โหมดการทำงานได้ และยังถูกนำไปใช้ในการคำนวณอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้อีกด้วย



ภาพที่ 3: การต่ออุปกรณ์บนบอร์ดวงจรทดลอง

โดยปกติแล้วโมดูล XBee และ XBee-PRO ได้มีการตั้งค่าในโหมดการหลับเพื่อประหยัดพลังงานไว้ที่ไม่ทำงาน (SM = 0) ซึ่งหมายถึงโมดูลจะไม่มีการเข้าสู่โหมดการหลับเพื่อประหยัดพลังงาน โดยเมื่อไม่มีการใช้งาน โมดูลจะเข้าสู่โหมดว่างและรอรับสัญญาณ (Idle/Receive mode) ในโหมดนี้โมดูล จะมีการกินกระแสประมาณ 50 mA หากต้องการจะลดการกินกระแสของโมดูลนี้ลง จะต้องปรับโหมดการหลับให้ทำงาน เช่น

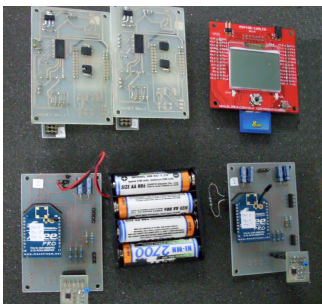
ปรับให้อยู่ในโหมด Cyclic Sleep Remote with Pin Wake-up (SM = 5) เป็นต้น ซึ่งการกินกระแสในโหมดดังกล่าวนี้จะมีค่าน้อย ในระดับประมาณ 10  $\mu$ A

#### 4.2 การใช้พลังงานและระยะเวลาการสื่อสาร

ขั้นตอนในการทดสอบการใช้พลังงานเริ่มต้นจากการต่อวงจรและเชื่อมต่อระบบดังแสดงในภาพที่ 3 โดยเขียนโปรแกรมสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP430F2274 ส่งสัญญาณข้อมูลไปยังโมดูล XBee/XBee-PRO ปลายทางจำนวน 1 ไบต์ ผ่านทางพอร์ต UART เพื่อให้โมดูลปลายทางส่งข้อมูลดังกล่าวผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ไปยังโมดูล XBee/XBee-PRO ศูนย์กลาง โดยการส่งข้อมูลนั้นทำการส่งทุกๆ 2 วินาที ทำการวัดค่าการใช้พลังงานโดยการวัดแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทาน 4.7  $\Omega$  ที่ต่ออนุกรมอยู่กับโมดูล XBee/XBee-PRO ปลายทาง สัญญาณที่วัดและบันทึกได้นี้ จะมีค่าแรงดัน และระยะเวลาในแต่ละช่วงสถานะของการส่งข้อมูลโดยละเอียด ซึ่งทำให้สามารถนำไปคำนวณหาค่ากระแสที่ใช้ในแต่ละช่วงสถานะ และการกินกระแสรวมได้ ในส่วนการทดสอบระยะเวลาทางการสื่อสารระหว่างโมดูลจะมีการทดสอบการส่งสัญญาณในช่องทางเดิน โดยการทดสอบจะมีการกำหนดระยะเวลาสูงจากพื้นของโมดูล และระดับค่าพลังงานในการส่งสัญญาณ

#### 5. ผลการทดสอบและการวิจารณ์ผล

หลังจากศึกษาและเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบที่ประสานในส่วนของอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิ ที่สามารถนำใส่ไว้ภายในกองข้าวเปลือก และสามารถส่งสัญญาณสื่อสารไร้สายไปยังตัวรับสัญญาณเพื่อแสดงผลข้อมูลเบื้องต้นได้ โดยได้ชุดต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นส่งสัญญาณสื่อสารไร้สายได้ถูกสร้างขึ้นโดยการต่ออุปกรณ์บนบอร์ดวงจรทดลอง หลังจากนั้นจึงทำการออกแบบลายวงจรพิมพ์ และทำการสร้างวงจรพิมพ์บนบอร์ด และต่ออุปกรณ์ในต้นแบบรุ่นแรกดังแสดงในภาพที่ 4

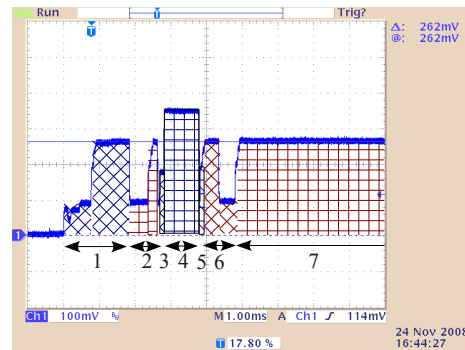


ภาพที่ 4: ต่ออุปกรณ์ลงบนบอร์ดวงจรพิมพ์ในต้นแบบ

### 5.1 การทดสอบอุปกรณ์

#### 5.1.1 การทดสอบคุณลักษณะการใช้กระแส

ในการทดสอบได้ทำการส่งข้อมูลผ่านโมดูล XBee PRO จำนวน 1 ไบต์ทุกๆ 2 วินาที จากนั้นทำการวัดและบันทึกสัญญาณด้วยออสซิลโลสโคป Tektronix รุ่น TDS3012B ปรับค่าสเกลเวลาของ ออสซิลโลสโคปให้อยู่ที่ 1 ms/div สัญญาณที่วัดได้แสดงดังภาพที่ 5 สัญญาณนี้แสดงถึงการกินกระแสในสถานะต่างๆของการส่งสัญญาณคลื่นจากโมดูลปลายทาง (End device) โดยสถานะต่างๆเมื่อโมดูลส่งสัญญาณจะมีทั้งหมด 7 ช่วงสถานะเริ่มจาก 1) เปลี่ยนจากโหมดการหลับเพื่อประหยัดพลังงาน (Sleep mode) มายังโหมดการพร้อมทำงาน (Active mode) 2) การเช็คค่าเริ่มต้นของช่องทางการสื่อสาร 3) ช่วงการเปลี่ยนจากสถานะการรับสัญญาณมาเป็นสถานะการส่งสัญญาณ 4) การส่งสัญญาณคลื่นความถี่ 5) ช่วงการเปลี่ยนจากการส่งมาเป็นการรับสัญญาณ (Tx to Rx) 6) ช่วงการรอรับสัญญาณตอบรับ (acknowledgement) และ 7) ช่วงการพักก่อนจะเข้าสู่โหมดการหลับเพื่อประหยัดพลังงาน โดยตัวเลขประมาณค่าการกินกระแส และระยะเวลาของแต่ละช่วงเวลาได้แสดงในตารางที่ 1 นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบในลักษณะเดียวกันนี้กับโมดูล XBee ด้วย ทำการส่งข้อมูลทุกๆ 2 วินาที โดยมีผลการทดลองแสดงใน [11]



ภาพที่ 5: คุณลักษณะการกินกระแสของ XBee-PRO

ตารางที่ 1: การกินกระแส และระยะเวลาของโมดูล XBee ของแต่ละช่วงเวลาในขณะการส่งสัญญาณ (PL = 0)

Interval	Description	Current (mA)	Duration (ms)
1	Wake-up from Sleep mode	14.47, 56.17	0.77, 1.05
2	Channel init.: Rx mode	19.57, 56.17	0.50, 0.30
3	Switch from Rx to Tx	19.57, 37.87	0.05, 0.10
4	Data Tx: Tx mode	73.62	1.00
5	Switch from Tx to Rx	37.87, 56.17	0.075, 0.075
6	Reception of ack.	56.17, 19.57	0.39, 0.46
7	Idle period before Sleep	56.17, 19.57	27.00, 0.76



ในการส่งข้อมูลผ่านโมดูล XBee/XBee-PRO ทุกๆ 2 วินาทีนั้น จะมีช่วงเวลาที่โมดูลทำงาน และมีความต้องการการใช้พลังงานสูงเพียง 32.5 ms เท่านั้น นอกนั้นจะอยู่ในโหมดหลับเพื่อประหยัดพลังงานถึง 1967.5 ms สำหรับการกินกระแสในช่วงโหมดหลับเพื่อประหยัดพลังงานนั้นไม่สามารถวัดได้จากการใช้ออสซิลโลสโคป เนื่องจากมีระดับสัญญาณน้อยใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (noise) การวัดการกินกระแสในช่วงโหมดหลับนี้จึงใช้มิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าย่านไมโครแอมป์ในการวัด ซึ่งสามารถวัดค่ากระแสได้ 25  $\mu$ A ดังนั้นการกินกระแสรวมของโมดูล XBee-PRO ปลายทางจึงสามารถหาได้ดังนี้

Interval 1:	14.47 mA x 0.77 ms + 56.17 mA x 1.05 ms	= 0.070 mA·ms
Interval 2:	19.57 mA x 0.50 ms + 56.17 mA x 0.30 ms	= 0.027 mA·ms
Interval 3:	19.57 mA x 0.05 ms + 37.87 mA x 0.10 ms	= 0.005 mA·ms
Interval 4:	73.62 mA x 1.00 ms	= 0.074 mA·ms
Interval 5:	37.87 mA x 0.075 ms + 56.17 mA x 0.075 ms	= 0.007 mA·ms
Interval 6:	56.17 mA x 0.39 ms + 19.57 mA x 0.46 ms	= 0.031 mA·ms
Interval 7:	56.17 mA x 27.0 ms + 19.57 mA x 0.76 ms	= 1.531 mA·ms
รวมกระแสในช่วงโมดูลทำงาน		= 1.745 mA·ms
Idle period:	0.025 mA x 1967.5 ms	= 0.0492 mA·ms

ดังนั้นกระแสรวมจึงมีค่าประมาณเท่ากับ 1.7942 mA·ms และเมื่อใช้ลักษณะในการคำนวณเช่นเดียวกันนี้กับโมดูล XBee ค่ากระแสจะประมาณเท่ากับ 1.5802 mA·ms

### 5.1.2 คุณลักษณะการใช้กระแสเมื่อปรับค่าระดับพลังงานส่ง

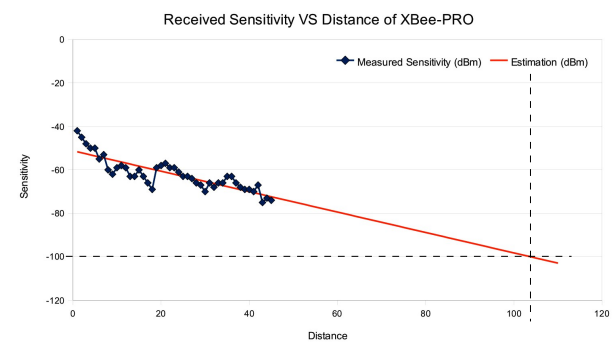
โมดูลการรับส่ง XBee/XBee-PRO สามารถปรับค่ากำลังงานในการส่งคลื่นวิทยุได้ด้วยค่าพารามิเตอร์ PL (Power Level) โดยสามารถปรับได้ทั้งหมด 5 โหมด การกินกระแสของโมดูลเมื่อทำการปรับค่าพารามิเตอร์ PL นั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะในช่วงสถานะเวลาการส่งกำลังผ่านคลื่นวิทยุเท่านั้น นั่นก็คือเฉพาะ Interval 4 ในตารางที่ 1 ซึ่งการกินกระแสในแต่ละโหมดของการส่งกำลังแสดงใน [10]

กระแสในแต่ละโหมดของการส่งกำลังนั้นแม้ว่าจะมีความแตกต่างกันไม่มากนัก แต่สำหรับงานที่อัตราการกินกระแสมีผลต่อระบบแล้ว ค่ากระแสจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึง นอกเหนือจากนี้จำนวนข้อมูลที่ส่งผ่านก็มีผลต่อระยะเวลาในช่วงสถานะ Interval 4 โดยหากมีการส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นทุกๆ 1 ไบต์ โมดูลจะต้องใช้เวลาในการส่งคลื่นวิทยุมากขึ้นไปแต่ละ 50  $\mu$ s

### 5.1.3 การทดสอบระยะทางในการสื่อสารช่วงทางเดิน

การทดสอบระยะทางในการรับสัญญาณของโมดูล XBee-PRO ในช่วงทางเดินภายในอาคาร ให้ระยะความสูงของโมดูลห่างจากพื้น 70 เซนติเมตร ปรับโหมดการส่งกำลังงานที่สูงสุด ทำการวัดการรับสัญญาณโดยการเลื่อนระยะห่างของโหนดเพิ่ม

ขึ้นครั้งละ 1 เมตร จนถึงระยะทาง 45 เมตร บันทึกผลค่าการรับสัญญาณในหน่วย เดซิเบล มิลลิวัตต์ (dBm) และด้วยข้อจำกัดของพื้นที่ทดสอบมีเพียง 50 เมตร จึงไม่สามารถจะทดสอบเพื่อหาระยะทางสูงสุดที่จะทำการรับส่งได้ จึงใช้วิธีการคำนวณอย่างง่ายเพื่อประมาณระยะทางสูงสุด โดยประมาณจากข้อมูลที่บันทึกและคำนวณหาสมการเส้นตรงที่พอดีกับค่าที่บันทึกได้ และใช้สมการเส้นตรงดังกล่าวหาระยะทางสูงสุดที่รับสัญญาณได้มากกว่า -100 dBm ซึ่งเป็นค่าเซ็นซิวิตีที่ได้จากข้อมูลจากผู้ผลิต ทำให้เราสามารถประมาณอย่างง่ายได้ว่าระยะทางสูงสุดของโมดูลสำหรับใช้ในการสื่อสารช่วงทางเดินภายในอาคารคือ ประมาณ 103 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6: ระยะทางการรับสัญญาณของโมดูล XBee-PRO

### 5.1.4 การคำนวณอายุการใช้งานแบตเตอรี่

อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สำหรับโมดูล XBee-PRO นั้นขึ้นอยู่กับอัตราการตื่นขึ้นจากโหมดการหลับ (wake up rate) หากโมดูลมีการตื่นขึ้นบ่อยครั้งจะมีความต้องการการใช้กระแสสูงกว่าการตื่นขึ้นน้อยครั้งในช่วงเวลาเดียวกัน ตัวอย่างการคำนวณอายุการใช้งานแบตเตอรี่สำหรับอัตราการตื่นทุกๆ 2 วินาทีของโมดูล XBee-PRO แสดงด้านล่างนี้

current consumption during active 32.5 ms	= 1.7450 mA·ms
current consumption during sleep 1967.5 ms	= 0.0492 mA·ms
Total current consumption for one cycle of 2 second	= 1.7942 mA·ms
รวมกระแสในช่วงโมดูลทำงานตลอด 1 วัน	= 1.7942 mA·ms x (30/min x 60min/h x 24 h/day) / (1000 ms/s)/(3600 s/h)
	= 21.53 mAh/day

การคำนวณอายุการใช้งานแบตเตอรี่โดยใช้แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-เมทัล-ไฮดรอกไซด์ จำนวน 4 ก้อน ต่ออนุกรม มีขนาดความจุเท่ากับ 2700 mAh เมื่อเทียบกับอัตราการกินกระแส 21.53 mAh/day จะสามารถใช้งานโมดูลนี้ได้ 125.4 วัน หากต้องการใช้โมดูลนี้ให้มีระยะเวลานานขึ้น จะต้องปรับให้มีอัตราการตื่นขึ้นน้อยลง โดยหากตื่น 30 วินาทีต่อครั้งจะมีการกินกระแสตลอด 1 วันเท่ากับ 1.9953 mAh/day สามารถใช้งานโมดูลนี้ได้นาน 1353.1393 วัน หรือมากกว่า 3 ปี 7 เดือน

ในการทดสอบและการคำนวณมีการพิจารณาเฉพาะการกินกระแสเพียงโมดูลการสื่อสาร XBee/XBee-PRO เท่านั้น ในการใช้งานจริงต่อไป จำเป็นต้องคำนึงถึงส่วนประกอบอื่นในวงจรด้วย เช่นไมโครคอนโทรลเลอร์ และเซ็นเซอร์ต่างๆ ทั้งยังต้องพิจารณาถึงการคายประจุตัวเองของแบตเตอรี่อีกด้วย

## 6.สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบที่ประสานในส่วนของอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้น และอุณหภูมิ ที่สามารถนำไปใส่ไว้ในกล่องข้าวเปลือก และสามารถส่งสัญญาณสื่อสารไร้สายไปยังตัวรับเพื่อแสดงผลข้อมูลเบื้องต้นได้ และทำการทดสอบระบบเบื้องต้นโดยทดสอบอุปกรณ์ในแต่ละส่วน สำหรับโมดูลการสื่อสารไร้สาย XBee PRO ทำการทดสอบในสองลักษณะคือ ทดสอบคุณลักษณะการใช้กระแส และทดสอบระยะทางการสื่อสาร ซึ่งผลการดำเนินงานแสดงให้เห็นว่าสามารถดำเนินงานได้ตามแนวทางที่เป็นไปได้ และจะได้ดำเนินการทดสอบจริงในกล่องข้าวเปลือกต่อไป

## 7.แนวทางการพัฒนาต่อ

การพัฒนาสามารถที่จะขยายผลให้สามารถไปควบคุมอุปกรณ์พัฒนาเพื่อเป่าลมไล่ความชื้นได้โดยอัตโนมัติ ทั้งนี้ชุดควบคุมจะต้องทำการประมวลผลเปรียบเทียบความชื้นในกล่องข้าวกับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศด้วยเพื่อจะได้ประสิทธิภาพสูงที่สุดในการรักษาคุณภาพของข้าวเปลือก

ในส่วนของการทำงานระยะทางสูงสุดของโมดูลการสื่อสารสำหรับการส่งสัญญาณในช่องทางเดินในอาคารที่มีการสะท้อนคลื่นทั้งจากเพดานและพื้นนั้น สามารถทำให้คำนวณได้ถูกต้องมากขึ้นโดยใช้โมเดลช่องทางสัญญาณชนิด 3 สัญญาณ (3-rays channel modeling)

## 8.กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา บริษัทเกษตรถาวร จำกัด และมหาวิทยาลัยศรีปทุม

## 9.เอกสารอ้างอิง

- [1] อารีรัตน์ จิตบุญ. ผลของอุณหภูมิแวดล้อมต่ออุณหภูมิข้าวเปลือกและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวระหว่างเก็บรักษา.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2549.
- [2] Microchip, “2-Wire Serial Temperature Sensor TCN75A”, Microchip Technology Inc.,[ออนไลน์]. เข้า

ถึงได้จาก:<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21935c.pdf>, 2006.

- [3] Honeywell, “HIH-4000 Series Humidity Sensor” Honeywell Sensing and Control, 2008, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:<http://sensing.honeywell.com/>
- [4] Texas Instrument, “MSP430x2xx family User's guide,” Texas Instrument, 2008, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://focus.ti.com/lit/ug/slau144e/slau144e.pdf>
- [5] Texas Instrument, “MSP430x15x, MSP430x16x, MSP430x161x Mixed Signal Microcontroller User's guide”, Texas Instrument, 2004, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:<http://www.cs.indiana.edu/classes/c335/msp430f169.pdf>
- [6] On Semiconductor, “1.0 A Low-Dropout Positive Fixed and Adjustable Voltage Regulators ”, On Semiconductor, 2007, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.onsemi.com/pub/Collateral/NCP1117-D.PDF>
- [7] Eneloop, “Product detail and technology Eneloop Low self-discharge NiMH battery”, SANYO Component Europe GmbH, 2008, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.eneloop.info/home/performance-details/self-discharge.html>
- [8] Energizer, “Product datasheet Energizer L91 Ultimate Lithium Battery”, Energizer Holdings, Inc.2007, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://data.energizer.com/>
- [9] Duracell, “Product datasheet Duracell Power Pix Alkaline Battery”, Duracell, The Procter & Gamble Company, 2007, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.duracell.com/oem/Pdf/MX1500.pdf>
- [10] Digi International, “Xbee/XBee-PRO OEM RF Modules Product Manual v1.xCx-802.15.4 Protocol,” Digi International Inc., 2007, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:[http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000982\\_A.pdf](http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000982_A.pdf)
- [11] P.Kocharoen, P.Nantivatana and T.Srited, “The Current Consumption Profile of XBee/XBee PRO Module,” Accepted to present at The 2009 International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology (ICESIT2009), 11-13 February 2009, Pattaya, Thailand.