

การออกแบบระบบควบคุมและการบันทึกข้อมูลระยะไกลเพื่อโรงเรือนสำหรับการเกษตรอัจฉริยะ โดยใช้ APRS โพรโตคอล

Designing Controlling System and Long Range Data-logging Systems for Smart Agriculture using APRS Protocols

นิมิตร หงษ์ยิม^{1*} และ สมศักดิ์ มิตะธา²

¹ สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์

9 หมู่ 1 ถนนนครอินทร์ อำเภอบางกรวย นนทบุรี 11130

² สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

1 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Nimit Hongyim^{1*} and Somsak Mitatha²

¹ Department of Business Computer, Faculty of Business Administration, Rajapruk University

9 M.1 Nakorn-in Road, Bang Khanun Sub-district, Nonthaburi, 11130

² Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1 Chalongkrung Road, Ladkrabang District, Bangkok, 10520

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน : nimith@siamsq.net เบอร์โทรศัพท์ 02-510-0304

บทคัดย่อ

การนำระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการควบคุมสภาพแวดล้อมที่อยู่ภายในโรงปลูกมาควบคุมการทำการเกษตร โดยควบคุมความสัมพัทธ์ของอุณหภูมิต่อความชื้นที่มีความละเอียดถึง $\pm 5\%$ มีการคำนวณมาจากการหาค่าเฉลี่ยของเซ็นเซอร์จำนวน 4 ตัว ซึ่งในการทดลองนี้ที่ติดตั้งไว้ภายในโรงปลูกและมีการบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และควบคุมการเพิ่มผลผลิตของการปลูกพืชตามเงื่อนไขของพืช แต่เนื่องจากข้อจำกัดสำหรับบางพื้นที่ที่ไม่มีอินเทอร์เน็ตซึ่งงานวิจัยนี้ได้แก้ปัญหาโดยการนำการส่งข้อมูลเพื่อผ่านคลื่นวิทยุโดยใช้เลือกใช้การส่งข้อมูล APRS (Automatic Position Report System) โพรโตคอล ซึ่งสามารถนำข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นไปบันทึกผลเข้าสู่ฐานรับเพื่อส่งเข้าฐานข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตในอีกพื้นที่ที่อยู่ห่างไปได้มากกว่า 1-2 กิโลเมตร เป็นผลการทดลอง

คำสำคัญ การเกษตรอัจฉริยะ ระบบการวัดอุณหภูมิและความชื้น โพรโตคอลระบบสื่อสารระยะไกล APRS

Abstract

Microcontroller system used for the internal environment control of farming which is to control the temperature humidity ratio with a resolution of $\pm 5\%$, by calculating the average of measurement from four sensors. In this experiment, the system was installed in a small Greenhouse to record information Data-log into Database for analysis and control to improve the productivity of crops in each condition. However, due to limitations in certain areas, i.e. no Internet access, this research has solved the problem by sending temperature and humidity information to the receiving station over RF (Radio Frequency) waves using the transmission APRS (Automatic Position Report System) protocol. This protocol enables access the database via the Internet in another location that is not more than 1-2 km away.

Keywords: smart faming, measuring system temperature and humidity, remote communication protocol APRS.

1. บทนำ

การทดลองวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ได้กับการเกษตรที่มีความต้องการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่แน่นอนและเที่ยงตรงโดยการทดลองนี้ได้เลือกการปลูกเห็ดซึ่งเป็นการปลูกที่มีข้อกำหนดของสภาพแวดล้อมที่ละเอียดอ่อนและมีความจำเป็นที่ต้องควบคุมระดับของอุณหภูมิและความชื้นโดยปัญหาสำคัญในการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงปลูกการควบคุมระบบสิ่งแวดล้อมภายในเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากต่อการปลูกเห็ดที่อาจจะนำความเสียหายได้ถ้าไม่มีดูแลอย่างใกล้ชิด การระบายอากาศแบบตั้งเวลา [1] การออกแบบการขจัดเชื้อราสูญเสียความชื้นเพราะว่าความชื้นที่ลดลงอาจเกิดได้จากความร้อนหรือความเย็นโดยขึ้นอยู่กับพื้นที่ในการออกแบบสร้างมาในการปลูกเห็ดและทำให้เห็ดแห้งเสียหายได้ ดังนั้นมีความจำเป็นต้องนำระบบเกษตรอัจฉริยะที่มีคุณภาพ มาตรฐานและระบบอัตโนมัติมาใช้ โดยที่ผ่านมาการออกแบบในอดีตมีการสร้างระบบปลูกเห็ดโดยคอมพิวเตอร์ควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงปลูกโดยวัดจากเซ็นเซอร์ การใช้งานของระบบการควบคุมสภาพแวดล้อมซึ่งคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการเพาะปลูกส่วนใหญ่พัฒนาเพื่อการใช้ในโรงปลูกเช่นเดียวกับงานวิจัยที่ผ่านมา [2-4] ซึ่งมีอยู่ในเชิงพาณิชย์ที่แพร่หลายแต่มีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือการพัฒนาโดยใช้ต้นทุนต่ำและส่วนประกอบสามารถหาได้อย่างง่ายดายซึ่งการนำการพัฒนาโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความแน่นอนและมีราคาต่ำรวมไปถึงความสามารถในการจัดบันทึกและติดตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมภายในโรงเห็ดที่ห่างไกลจากระบบบริการเครือข่ายอินเทอร์เน็ตมาด้วยระบบออนไลน์โดยใช้ APRS protocol มาใช้ในการส่งข้อมูลจากพื้นที่ห่างไกลไปยังสถานีรับข้อมูลซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการให้บริการระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่สามารถบันทึกลงในฐานข้อมูลหลักเพื่อการเฝ้าดูผ่าน Web Interface ที่ได้พัฒนาไว้แล้วในการทำ Data Query ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่ต้องมีการพัฒนาโปรแกรมเพิ่มเติมแต่อย่างใด

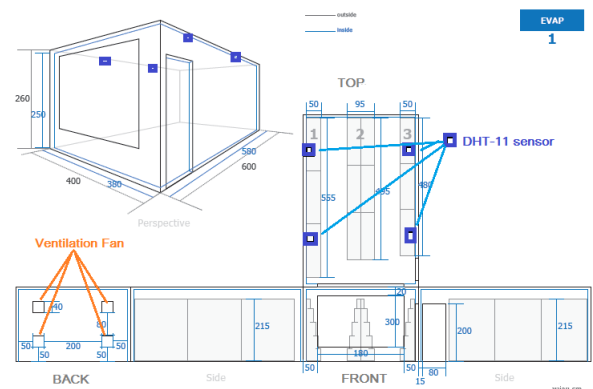
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและวิธีการดำเนินงานวิจัย

ในส่วนของการนำเอาระบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นต้องศึกษาพื้นฐานที่มีองค์ประกอบ

หลายๆ อย่างที่ต้องนำมาประกอบกันเพื่อเป็นโจทย์ในงานวิจัยและทดลองเพื่อให้ได้ผลที่เราได้ตั้งสมมติฐานเอาไว้ตามเงื่อนไขของพืชที่นำเอาระบบมาพัฒนาในการปลูกแบบอัจฉริยะนี้ โดยจะถูกแบ่งออกตามหลักการโดยรวมที่จะอธิบายในรายละเอียดเช่น การทำความเข้าใจโรงปลูกและการถ่ายเทไหลเวียนอากาศมีผลต่อการออกแบบโรงปลูกเห็ดศึกษาอุปกรณ์ที่ช่วยในการเพิ่มความชื้นและอุณหภูมิเพื่อการรักษาระดับให้คงที่ตามเงื่อนไขของการปลูกที่พืชต้องการในที่นี่จะใช้เงื่อนไขการปลูกเห็ดนางฟ้า การออกแบบระบบไมโครคอนโทรลเลอร์และเงื่อนไขการเขียนโปรแกรม การอธิบายเกี่ยวกับโปรโตคอลการส่งข้อมูลเพื่อนำข้อมูลบันทึกเข้า APRS Database Server

2.1 ลักษณะโรงเรือนและการถ่ายเทอุณหภูมิและความชื้น

โรงเรือนที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นมีขนาดที่ถูกรัง อยู่ก่อนแล้ว การทดลองจะทดลองที่ขนาดของโรงเรือนมีขนาดอยู่ที่ สูง 2.6 เมตร x กว้าง 4 เมตร x ยาว 6 เมตร ตามแบบแปลนแสดงดังรูปที่ 1

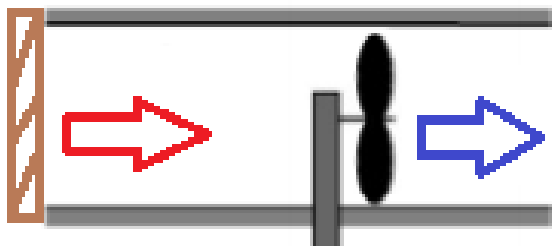


รูปที่ 1 แบบแปลนของโรงปลูกและตำแหน่งเซ็นเซอร์

โดยโรงปลูกที่ใช้ในการวิจัยทดลองนี้ตั้งอยู่ที่ ฟาร์มเห็ดสหวัฒน์ ซอยเลียบวารี 49 เขตหนองจอก กรุงเทพฯ สนับสนุนให้ใช้เพื่อการทดลองนี้ตั้งแต่สร้างจนการวิจัยเสร็จสิ้น

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยไม่ได้เป็นผู้ออกแบบโรงเรือนตามรูปที่ 1 แต่ได้แนะนำให้นำต้นนี้มาทำการทดลองเพื่อใช้ระบบที่ผู้วิจัยออกแบบและการใช้ระบบการบันทึกข้อมูลที่จะใช้ APRS โปรโตคอลโดยหลักการหลักนั้นมีการทดลองที่ท้าทายในการกฎการถ่ายเทของอากาศที่จะไหลเข้ามาโดยใช้การนำระบบ

ทำความเข้าใจเข้ามาใช้ กล่าวไว้ในการถ่ายเทมวลสารโดยนำเอากฎเทอร์โมไดนามิก [5] มาเพื่อพิจารณาในการติดตั้งเซ็นเซอร์ในโรงเรือนแบบปิดเพื่อจะได้ทราบการไหลเวียนของอากาศร้อนและอากาศเย็น โดยสามารถคำนวณได้จากสมการเพื่อพิสูจน์ว่าน่าจะเป็นไปได้ของการไหลเวียน



รูปที่ 2 การไหลคงที่และสภาวะคงที่ต่อช่วงเวลา

โดยพัดลมระบายอากาศของโรงเรือนที่จะใช้ปลูกที่มีลักษณะมีอัตราการไหลของปริมาตร 30 ลิตร / วินาทีและทำงานต่อเนื่อง ถ้าความหนาแน่นของอากาศภายในอยู่ที่ 1.20 กก. / ลบ.ม. ให้พิจารณาปริมาณอากาศที่ระบายออกภายในหนึ่งวัน สามารถคำนวณจากสมการ [5]

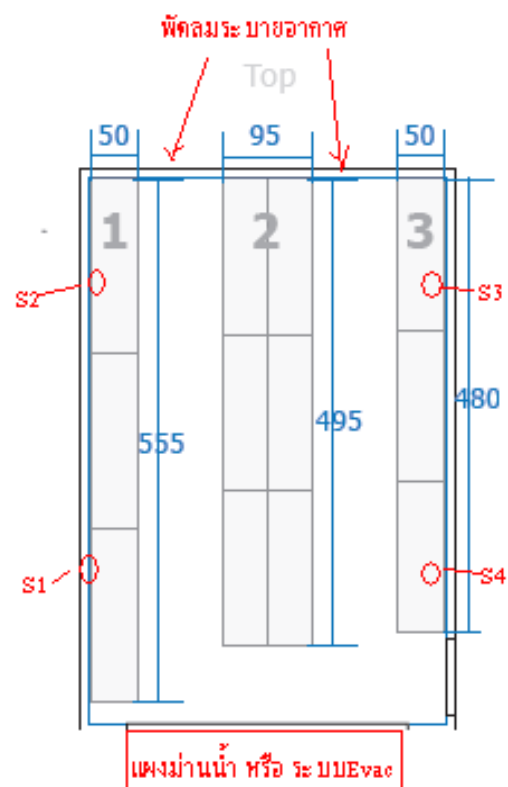
โดย การไหลของลมจากพัดลมทำงานคงที่ตลอดความหนาแน่นของอากาศที่ไหลออก กำหนดให้ 1.20 kg/m^3 วิเคราะห์มวลอากาศที่ไหลออก คือ

$$m^{\text{air}} = pV^{\text{air}} = (1.20 \text{ kg/m}^3) (0.030 \text{ m}^3/\text{s}) = 0.036 \text{ kg/s} \quad (1)$$

ดังนั้น มวลอากาศที่ไหลออกในเวลา 24 ชั่วโมงจะได้

$$m^{\text{air}} = pV^{\text{air}} = (1.20 \text{ kg/m}^3) (24.030 \text{ m}^3/\text{s}) = 3,110 \text{ kg} \quad (2)$$

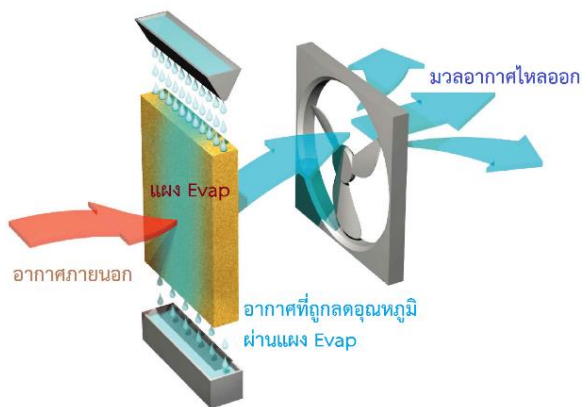
ผลการคำนวณที่ได้จะมีมวลอากาศที่สามารถไหลผ่านพัดลมดูดอากาศได้มากกว่า 3 ตัน ต่อ พัดลมเพียงหนึ่งตัวต่อเวลา 24 ชั่วโมง โดยการเติมอากาศและการถ่ายเทความร้อนและระบายอากาศ อ้างถึงหลักการข้างต้นมาอธิบายในการจำลองการไหลเวียนของอากาศที่ต้องการควบคุมในโรงปลูกที่ได้ทำการออกแบบไว้มาแสดงการออกแบบเพื่อติดตั้งพัดลม ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การติดตั้งพัดลมและแบบการวางในโรงเรือน

2.2. อุปกรณ์ช่วยในการสร้างความชื้น

การควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วงที่ต้องการทำได้โดยสร้างความชื้นจากระบบ EVAP (evaporative air cooling system) [6] โดยเรียกระบบนี้ว่า EVAP ซึ่งหมายถึงระบบทำความเย็นที่ใช้พลังงานธรรมชาติ และการระเหยของน้ำช่วยในการทำความเย็น หลักการทำงานของระบบ EVAP คือการปล่อยกระแสลมไหลผ่านตัวกลางที่มีน้ำไหลผ่าน (cooling pad) และการที่อากาศซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าไหลผ่านน้ำจะทำให้ให้น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำโดยหลักการหมายความว่าความชื้นการดึงหรือแยกอุณหภูมิความร้อนของอากาศออกตามหลักการในรูปที่ 4 ทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลงและอากาศที่วิ่งผ่านแผ่นน้ำนั้นจะมีอุณหภูมิที่เย็นมากขึ้น โดยแผงความเย็น (cooling pad) ที่ทำจากกระดาษอัดเคลือบน้ำยาชนิดพิเศษซึ่งกระดาษอัดชนิดน้ำที่ได้นั้นนำมาเรียงเป็นแท่งให้ความหนาประมาณ 6 นิ้ว สูง 183 ซม ต้องวางเรียงให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุดในด้านหน้าดังรูปที่ 3 เพื่อให้มีโอกาสสัมผัสน้ำและอากาศที่ไหลผ่านมากที่สุดเพื่อเป็นการช่วยให้ให้น้ำระเหยได้มากนั่นเองและมีพัดลมระบายดูดเอาอากาศร้อนออกข้างนอกทางด้านหลังของโรงปลูกแสดงตำแหน่งของพัดลมตามรูปที่ 3



รูปที่ 4 พื้นฐานระบบ EVAP

การติดตั้งของระบบ Evap นั้น ทำการติดตั้งระบบที่ออกแบบเสร็จเรียบร้อยในพื้นที่ที่ตั้งโรงปลูกเห็ด ขนาดความกว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร และสูง 2.50 เมตร โดยมีพัดลมดูดอากาศติดตั้งในด้านหลัง 4 ตัว เพื่อควบคุมความชื้นโดยใช้ระบบแผง EVAP หน้า 4 นิ้ว ด้านหน้าเพื่อสร้างความชื้นให้ระบบแสดงดังรูปที่ 5



(ก) ด้านในที่แสดงติดตั้งระบบ EVAP

(ข) ด้านหลังที่มีการติดตั้งพัดลม และ ชุดควบคุม

รูปที่ 5 โรงปลูกที่ใช้ในการทดลองงานวิจัยนี้

2.3. นำเงื่อนไขความต้องการของพีชนำไปออกแบบระบบ

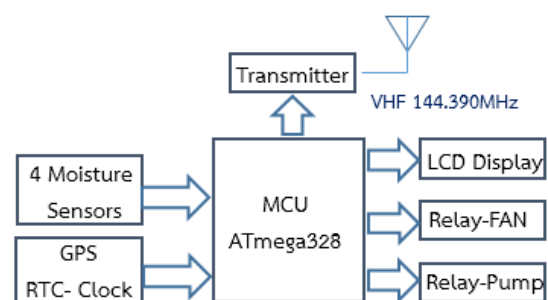
การเขียนโปรแกรมให้สามารถควบคุมโรงปลูกเห็ดนั้นอาศัยหลักการและช่วงวงจรชีวิตอ้างอิงถึง งานวิจัยของ Tscierpe (1973) [7] ได้ทำการวิจัยและอธิบายข้อกำหนดการควบคุมในสองช่วงของวงจรชีวิตการปลูกเห็ด ในดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงปลูกตามช่วงเวลา (ความชื้นหน่วย: %)

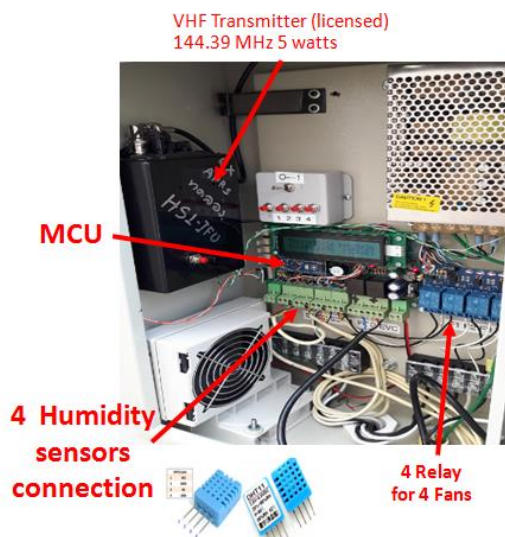
1. ช่วงบ่มให้เชื้อเดิน (Mycelium)	ความชื้น ในช่วง 95 -100%
2. ช่วงออกดอก (Production)	ความชื้น ในช่วง 80-95%

2.4. ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ และ Block Diagram

โดยจากการทดลองหลักวัตถุดิบนั้นมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของความชื้น โดยจากตารางนี้การทดลองเน้นการควบคุมเพียงแต่ควบคุมความชื้นเท่านั้นโดยการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการควบคุมความชื้น โดยการเปิดปิดพัดลมระบายอากาศนั้นจะเป็นการเพิ่มหรือลดความชื้นที่ได้มาจากระบบ EVAP ถ้าความชื้นใกล้กับเงื่อนไขจะไม่มีเปิดพัดลมหรือเปิดเพียงพัดลมตัวเดียวสลับกันไปเพื่อระบายให้มีการไหลของอากาศแบบเข้า โดยงานวิจัยนี้มีการเลือกใช้ออกแบบระบบควบคุมความชื้นและพัดลมโดยเลือกใช้ IC Chip ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีราคาถูกและหาง่ายของ ATMEL ATMEGA 328 8 bit RISC [8] ประกอบไปด้วย 13 GPIO 5 A/D 10 bit มีความสะดวกในการใช้งาน ทำให้เขียนโปรแกรมได้ง่าย การออกแบบอุปกรณ์เชื่อมต่อที่มีอินพุตเป็นอุปกรณ์วัดความชื้นและเอาต์พุตเป็นพัดลม 4 ตัว ควบคุมการเปิดปิดผ่านการทำงานของรีเลย์ และการส่งข้อมูลที่อ่านได้จากค่าเฉลี่ยของเซ็นเซอร์ส่งผ่านทางพอร์ตอนุกรมไปยังชุดส่ง ข้อมูลทางวิทยุใช้โปรโตคอล APRS การเขียนโปรแกรมให้เก็บค่าเซ็นเซอร์ DHT11[9] ที่เป็นเซ็นเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิจำนวน 4 ตัวโดยวัดค่าอุณหภูมิ และความชื้น 4 ตัวคำนวณหาค่าเฉลี่ยเพื่อทำการควบคุมพัดลมในการเพิ่มหรือลดความชื้นภายในตามเงื่อนไขข้างต้นแสดงได้ใน Block Diagram รูปที่ 6[10-11]

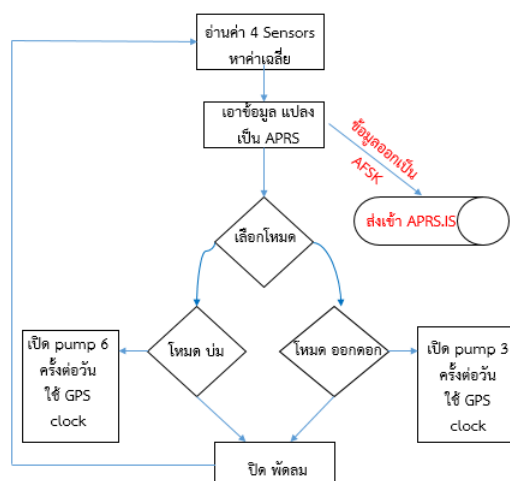


รูปที่ 6 System Block Diagram



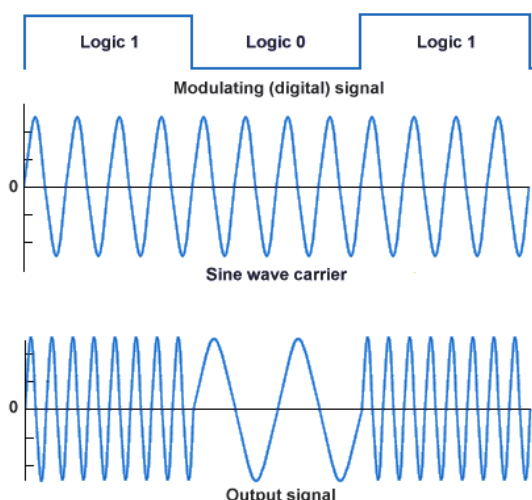
รูปที่ 7 Block Diagram และ ระบบควบคุม

ในการทดลองนั้นจำเป็นที่จะต้องทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นภายในโรงเรือนตลอดทั้งวัน เพื่อนำค่าที่ได้มาปรับเปลี่ยนในการเขียนโปรแกรมควบคุมพัดลมที่ดูดความชื้นให้อากาศถ่ายเทดีขึ้น และเพื่อรักษาระดับความชื้นด้านหลังของโรงปลูกให้ได้ค่าที่ต้องการ โดยมีการควบคุมพัดลมให้สลับกันทำงาน เพื่อกระจายความชื้นให้มีความสัมพันธ์กันในพื้นที่ทำการทดลอง แสดง Flowchart ตามเงื่อนไข ที่ได้มาจากการทดลองที่ทำก่อนหน้านี้ ออกมาได้แสดงตาม Flowchart ในรูปที่ 8

รูปที่ 8 Flowchart การเขียนโปรแกรมควบคุมและส่งข้อมูล
2.5. โปรโตคอล APRS

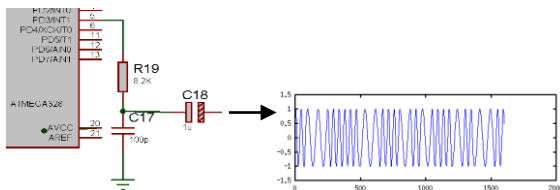
การส่งข้อมูลออกมาเพื่อเข้าระบบอินเทอร์เน็ตนั้นใช้ Packet Radio protocol หรือที่นิยมเรียกอีกชื่อว่า APRS (automatic position report system) หรือ Packet

Radio [10-12] โดยการส่งรูปแบบข้อมูลจากโรงปลูกเห็ดออกไปผ่านคลื่นวิทยุย่าน VHF 144.390* MHz (*จำเป็นต้องมีใบอนุญาตการใช้ความถี่จาก กสทช.) ในลักษณะของข้อมูลถูกจัดให้มีรูปแบบของข้อมูลหรือ Data Frame ที่ใช้กับสถานีตรวจอากาศ (weather station) ส่งเข้าไปยังสถานีรับที่การเชื่อมต่อกับเครือข่ายระบบอินเทอร์เน็ตหรือที่เรียกว่า Internet Gateway นั้นอยู่ห่างออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร โดยที่พื้นที่โรงปลูกเห็ดนั้นไม่มีเครือข่ายบริการของระบบอินเทอร์เน็ตจึงจำเป็นต้องใช้ระบบการส่งสัญญาณระยะไกลเป็นทางเลือก เพื่อส่งข้อมูลที่ได้ไปยังระบบการรับสัญญาณในสถานที่เชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต การอธิบายหลักการการส่งข้อมูลที่นำมาใช้มีหลักการดังนี้ คือ มีความเร็วในการส่งที่ 1200 BPS (Baud per second) ใช้มาตรฐานการส่งแบบ AFSK (audio phase shift keying) หรือความถี่เสียงแบบ Shift Keying, ใช้ NRZI (ไม่กลับไปเป็นศูนย์ inverted) โดยการเข้ารหัสของ Logic 0 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และการถูกเข้ารหัสเป็นการเปลี่ยนแปลงเป็น Logic 1 จะถูกเข้ารหัสเป็นการเปลี่ยนแปลงในโทนถ้ากำลังส่งสองโทน 1200 Hz รูปแบบของคลื่นที่ จุดสูงสุดเมื่อเปลี่ยน 2200 Hz, รูปแบบของคลื่นยังคงอยู่ที่จุดสูงสุดของ ไม่สามารถเริ่มกลับมาที่ศูนย์หรือจุดอื่น ๆ นี้จะเป็นไปไม่ได้ที่จะสร้าง AFSK ใช้เสียงแบบ Dual Tone 1200 Hz Mark และ 2200 Hz Space อธิบายง่ายๆ ตามรูปที่ 9



รูปที่ 9 อธิบายรูปคลื่นที่ถูกสร้างจากข้อมูลมาเป็น Data Packet (frequency shift keying)

ในการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความสามารถนั้นไม่มี ความซับซ้อนทางการออกแบบด้านHardware แต่ทาง การเขียนโปรแกรมจะมีความซับซ้อนมากไม่สามารถอธิบายได้ เพียงพอในบทความนี้ แต่จะสามารถอธิบายในหลักการ โดยสังเขป ได้ในรูปที่ 10



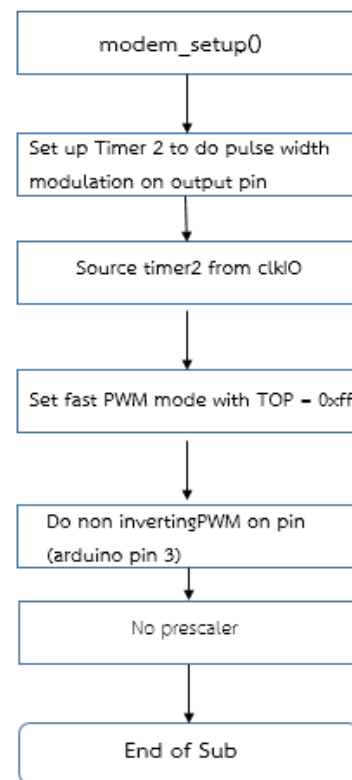
รูปที่ 10 สัญญาณที่ส่งออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์

โดยเสียงที่ได้ออกมาจาก C18 ซึ่งเป็นวงจร low-pass filter ($R=8k\Omega$ $C=0.1\mu$) plus DC coupling * ($C_c=1\mu$). จะ ช่วยลดระดับของเสียงให้อยู่ที่ 500mV peak-peak ซึ่งถูก กำหนดโดยเครื่องส่งวิทยุแบบโมดูล

การเขียนโปรแกรมนั้นเขียนบน Bootloader ของ Arduino โดยที่ การสร้าง Audio โดยใช้ Arduino และการ สร้างรูปคลื่น PWM: นั้น Arduino หรือ ATmega328 chip ไม่ได้ให้มาพร้อมกับ DAC (digital-to-analog converter) ดังนั้นสองตัวเลือกในการสร้างสัญญาณอนาล็อกเป็นบันไดโดย ใช้ตัวต้านทาน หรือ โดยการสร้าง PWM ออกแบบนั้นน่าจะ ดีกว่าออกแบบโดยใช้บันไดตัวต้านทานแบบ 4 บิต แต่การใช้ PWMจะมีเสถียรกว่า แต่การสร้าง PWM นั้นจะมีความ ซับซ้อนมากขึ้นในด้านการเขียนโปรแกรม แต่ต้องใช้ ส่วนประกอบภายนอกน้อยและมีขาออกเพียงหนึ่งขาเท่านั้น เพื่อไปป้อนให้ชุดส่งวิทยุเป็น AFSK (audio frequency shift keying)

Arduino Library มีตัวจับเวลา (timer) 3 ตัวที่สามารถ ทำ PWM ได้ บางฟังก์ชันการจับเวลา (timer) ซึ่งอยู่ใน Library ของ Arduino (delay และ millis) ใช้ Timer 0 ดังนั้นพวก Timer 1 และ 2 มีความสามารถเหมือนกัน แต่ Timer 1 สามารถนับได้ถึง 16 บิตและ Timer 2 จะเพิ่มขึ้น เพียง 8 บิต มีการเขียนขึ้นในการสร้าง PWM กับ Arduino และ ตัวจับเวลาสองตัวโดยใช้ Timer 1 เพื่อป้อนตัวอย่าง (ตาม sampling rate) และ Timer 2 ทำ PWM จริง (ตาม Sampling Rate สูงสุดที่เป็นไปได้คือ $16\text{ MHz} / 256 = 62,500\text{ Hz}$ sampling rate) แต่ด้วยการทำให้การทำ

สัญญาณ Interrupt ในเวลาอันสั้นจึงเป็นไปได้ที่จะทำเพียง แค่ตัวจับเวลาเดียวและลดความซับซ้อนของโค้ดลงเล็กน้อย ทั้งหมดจะใช้เวลาคือบอก AVR เรียกเข้าขา INT เมื่อตัวจับ เวลา PWM overflow และป้อนตัวอย่างจากขั้นตอน Interrupt Routine ISR จะเรียกว่าทุกๆรอบนาฬิกา 256 รอบ แต่นั่นเป็นเวลานานพอสำหรับการ ใช้ Look up Table ที่ใช้ ตาราง SINE เพื่อสร้างคลื่น PWM โดยมี Flow ที่ อธิบายการทำงานของ Routine Modem() ในรูปที่ 11



รูปที่ 11 Flow ของการสร้างสัญญาณ AFSK

ข้อมูลดิบที่จะถูกส่งออกไปจากระบบนั้นจะต้องถูก กำหนดตามรูปแบบที่มีการกำหนดแบบตายตัวตามมาตรฐาน ของแบบข้อมูลที่ใช้สำหรับสถานีตรวจอากาศเพื่อให้สามารถ ตรวจ สอบ หรือ Validation โดย Database Server (APRS.IS) ก่อนที่จะนำเข้าทุกครั้งและรูปแบบนี้เป็นรูปแบบ มาตรฐานที่ใช้ในระบบตรวจอากาศในระบบ APRS นี้ โดย หลักการนี้นำไปเป็น Data Frame ที่ APRS โปรโตคอล ต้องการให้มีรูปแบบที่ตายตัวสำหรับรูปแบบของการใช้เหมือน สถานีตรวจอากาศ แต่ ยังมีในส่วนของ Weather Data ที่ สามารถใส่ลงไปได้ “n” คือใส่ได้มีจำนวนถึง 30 ตัวอักษร ดัง รูปที่ 12 [12]

Complete Weather Report Format — with Lat/Long position, no Timestamp						
1 or ID	Lat	Sym Table ID	Long	Symbol Code	Wind Directn/ Speed	Weather Data
1	8	1	9	1	7	n

Examples

!4903.50N/07201.75W 220/004q005t077r000p000P000h50b09900

=1350.37N/10049.64E,000/000g000t072r000p000h22b00000@FARM-D
 =1350.37N/10049.64E,000/000g000t072r000p000h22b00000@FARM-D
 =1350.37N/10049.64E,000/000g000t072r000p000h22b00000@FARM-D
 =1350.37N/10049.64E,000/000g000t072r000p000h22b00000@FARM-D
 =1350.37N/10049.64E,000/000g000t073r000p000h22b00000@FARM-D

GPS-data TEMP Humid Extend data

รูปที่ 12 แบบมาตรฐานการส่งข้อมูลและตัวอย่างข้อมูลดิบ

โดยที่โปรโตคอล APRS นั้นมี มาตรฐานในการรับส่งข้อมูลหลายรูปแบบโดยแต่ละรูปแบบมีการกำหนดแบบตายตัวที่นำมาใช้งานในแบบต่างๆกันเพื่อให้การเข้ารหัสและการถอดรหัสที่ออกมาเป็น AFSK นั้นสามารถทำได้ แต่ระบบนี้จะมีข้อดีและข้อเสีย โดยข้อดีของระบบคือสามารถติดตั้งได้ง่ายไม่ต้องทำอะไรหรือกำหนดอะไรเลย เพราะว่าการรับส่งข้อมูลมีการกำหนดไว้หมดแล้วในรูปแบบ HDLC (High Level Data Link Control) ที่มีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยการ Checksum (CRC) และมี Header (0x7E) และ สามารถส่งผ่านสัญญาณ Carrier ด้วยความถี่อะไรก็ได้ เพื่อสร้างระยะทางได้ตามความต้องการในแต่ละงานนั้น ส่วนข้อเสียนั้นมีมากมาย เช่น การออกแบบทำได้มีความซับซ้อนในการเขียนโปรแกรมการเข้ารหัสและถอดรหัสทำได้ยากซับซ้อนเพราะว่าต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความสามารถแปลงสัญญาณหรือที่เรียกว่า Radio Modem ซึ่งเป็นระบบเก่า แต่เนื่องด้วยเทคโนโลยีไมโครคอมพิวเตอร์เริ่มมีความเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงสามารถทำให้การออกแบบ Radio Modem เริ่มง่ายขึ้น และ ข้อเสียอีกข้อที่มีผลต่อการส่งสัญญาณวิทยุในพื้นที่ที่มีการรบกวนสูงอาจจะทำให้การรับส่งข้อมูลไม่สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร แต่สาเหตุที่เลือกเอามาทดลองกับการวิจัยนี้ เพราะการทำการเกษตรส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่ห่างไกลจากเทคโนโลยีการรบกวนจึงเกิดขึ้นน้อยมาก ดังนั้น APRS จึงมีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งในการนำ Protocol มาใช้ในการทดลองนี้

การส่งข้อมูลที่ได้จะส่งออกไปยังสถานีรับที่มีอินเทอร์เน็ตหรือที่เรียกว่า I-GATE (Internet Gateway) ซึ่งจะมีสองหน้าที่: จะผ่าน Data Packet ทั้งหมดได้ขึ้น RF เพื่อส่งเข้า

APRS-IS และจะผ่าน Data Packet ข้อความทั้งหมด เพื่อส่งผ่านสำหรับสถานีท้องถิ่นเพื่อ RF (ถ้าแบบสองทิศทาง iGATE) โดรนอุปกรณ์ I-Gate นั้นเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบเป็นเครื่อง Personal computer ที่ติดตั้งโปรแกรม I-Gate หรืออุปกรณ์ที่เป็น Embedded Computer แสดงให้เห็นในรูปที่ 14 (กล่องที่อยู่บนเครื่องวิทยุ) ใช้ Linux OS. และมีการตั้งค่าการทำงานให้ทำหน้าที่เป็น I-Gate และส่งข้อมูลที่กำหนดไปยังเครือข่ายที่ต่อกับ APRS Database Server ตามที่ตั้งโดยใช้ Web base setup แสดงในรูปที่ 13

APRS-IS settings

Username:

Password:

APRS-IS servers:

Server 1	asia.aprs2.net	: 14580
Server 2	aunz.aprs2.net	: 14580
Server 3	euro.aprs2.net	: 14580

รูปที่ 13 การตั้งค่า APRS.IS ในอุปกรณ์ I-GATE

แสดงการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องรับส่งวิทยุเพื่อรับสัญญาณ APRS ที่มาจากสัญญาณวิทยุย่านความถี่ VHF 144.390 MHz ที่ได้รับอนุญาตจาก กสทช. เพื่อการทดลองในกิจกรรมวิทยุสมัครเล่นให้ใช้ความถี่นี้เพื่อรับส่งข้อมูลนี้ โดยในการรับส่งข้อมูลโดยมีการเชื่อมต่อเพื่อตั้งเป็นสถานี I-GATE ดังในรูปที่ 14 เป็นอุปกรณ์ i-Gate และ เครื่องอุปกรณ์รับส่งวิทยุตั้งค่าความถี่แบบสังเคราะห์ที่ 144.390 MHz

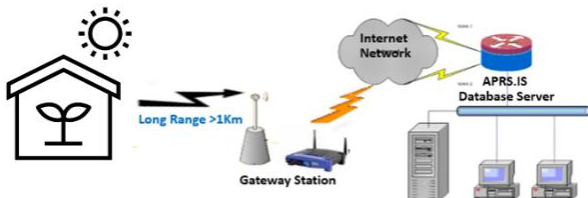


รูปที่ 14 อุปกรณ์ I-GATE

อธิบายถึง Database Server นั้นในระบบ APRS มีการวางเครือข่าย Database Server หรือ APRS.IS (APRS Internet Service) บนอินเทอร์เน็ตตั้งอยู่ทั่วโลกแบบขนานกันทั่วโลกและมีการตั้งสถานีรับแบบเดียวกับที่ใช้ในการทดลองนี้ มีจำนวนมากเพื่อใช้ในการเก็บค่าสภาพอากาศเพื่อ

ใช้ในการพยากรณ์อากาศแบบ Real-time เกิดขึ้นทั่วโลก ดังนั้นการรับข้อมูลที่เป็นข้อมูลเกี่ยวกับสภาพอากาศจะเป็นรูปแบบเดียวกับการรับข้อมูลที่ส่งมาจากสถานีตรวจอากาศอยู่ โดยการใช้ข้อมูลเหล่านั้นมีรายละเอียดมากกว่าเท่านั้นเอง ตามที่อ้างมาเพื่อการนำมาใช้ในการวิจัยและทดลองนี้ เรา นำเอาการวัดอุณหภูมิและความชื้นเพียงส่วนเดียวมาเพื่อส่ง และเก็บบน Database server และนี่เป็นข้อดีของระบบที่ทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเข้าถึงหรือเช่าใช้ Database Server เพราะว่าเราใช้การบันทึกข้อมูลเหมือนการส่งรายงาน สภาพอากาศในพื้นที่นั้น ซึ่งขนาดของข้อมูลมีขนาดสั้นทำให้มีการส่งข้อมูลที่รวดเร็ว

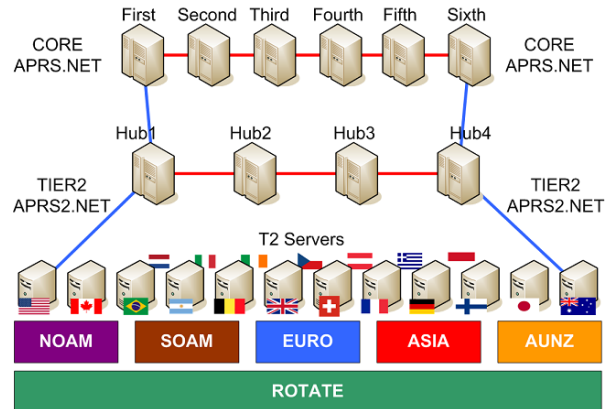
ระบบการส่งข้อมูลไร้สายในแบบอื่นที่มีอยู่ในเทคโนโลยี ปัจจุบันเช่น ระบบไร้สายย่านความถี่ 2.4GHz หรือ X-Bee ย่าน 433MHz หรือ 915MHz น่าจะมีความสามารถที่ดีกว่า แต่โดยเหตุผลใหญ่ที่สามารถอธิบายง่าย ๆ คือข้อจำกัดของ ระยะการติดต่อระยะทางไกลที่สุดที่สามารถใช้ในการส่งและ รับข้อมูลเพื่อเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตคือข้อจำกัด หลักของระบบเหล่านั้นและถึงแม้จะมีการใช้ Mesh network ในการส่งต่อข้อมูลอาจจะดูไม่เหมาะสมนักเพราะว่า Sensor Node มีจำนวนไม่มากพอหรือไม่อาจจะดูเหมาะสมนักหากมีการจัดให้มี Node จำนวนมากมายในขณะนี้ก็มีเพียง Node เดียวเท่านั้น ในขณะที่เดียวกับการส่งข้อมูลแบบที่นำมาใช้ในการ ทดลองวิจัยนี้ สามารถทำได้เลยและไม่ต้องมีการวาง ระบบให้ยุ่งยากอธิบายได้เพียงง่ายในรูปที่ 15 นี้จะส่งข้อมูล จาก Sensor Node ที่ได้จากการวัดในแต่ละโรงปลูกส่งเข้า ตรงที่สถานีรับและผ่านเข้าระบบเครือข่ายที่เชื่อมต่อไปตามที่ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็น I-GATE โปรแกรมให้เข้าไปยังตำแหน่ง ของ Database Server ตัวอย่างเช่น asia.aprs2.net:14580



รูปที่ 15 ระบบเครือข่ายที่ใช้ในการส่งข้อมูลระยะไกล

อธิบายเพิ่มในส่วน ของ APRS Database Internet Service (APRS.IS) ที่มีการเชื่อมต่อทั่วโลกในแบบขนานกัน และมีการแชร์ข้อมูลกันตลอดเวลาเนื่องจากข้อมูลส่วนใหญ่ที่ ส่งไปเก็บใน APRS Database Server เหล่านี้เป็นข้อมูลที่มี

การกำหนดรูปแบบ(Data Frame) ที่แน่นอนเช่น ข้อมูล ตำแหน่งการเดินทาง ตำแหน่งและสภาพอากาศของสถานี ตรวจอากาศทั่วโลกมาเก็บไว้อย่างน้อยมีการเก็บรักษานาน กว่า 5 ปีบน APRS Database Server เหล่านี้ แสดงผังการ เชื่อมต่อดังรูป 16 [12]



รูปที่ 16 APRS Database cross connected backbone[13]

โดย APRS Database Server (APRS.IS) ที่แสดงในรูป จะเชื่อมต่อกันบนเครือข่ายโดยใช้ Port number 14580 ซึ่งเป็น port number หนึ่งที่กำหนดให้ใช้ในการชี้ตำแหน่งไปยัง Server เหล่านั้นในแต่ละทวีปเพื่อรองรับการบริการข้อมูลใน ประเทศทั่วโลก ในส่วนของ APRS Database Server ที่มีอยู่ ไกลที่สุดตั้งอยู่ที่ประเทศญี่ปุ่น Tokyo.aprs2.net

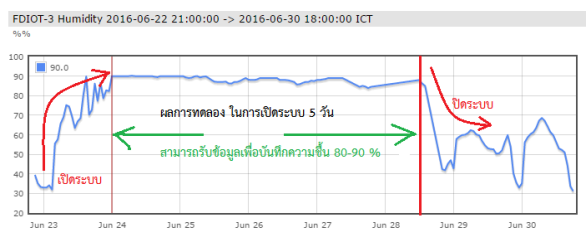
3. ผลการวิจัยและอภิปราย

การติดตั้งระบบการควบคุมความชื้นนั้นต่อกับเซ็นเซอร์ 4 จุดภายในโรงปลูกกระจายไปทั้งสี่มุม โดยติดตั้ง ระบบกล่อง ควบคุมที่ด้านหน้าของโรงเรือนปลูกแสดงดังรูปที่ 17 ซึ่งจะมี ชุดการวัดและควบคุมความชื้นจากค่าเฉลี่ยที่วัดได้ และส่ง ข้อมูลต่อไปให้อีกชุดที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลผ่านระบบสัญญาณ วิทยุไปยังสถานีรับที่อยู่ไกลออกไป 2 กิโลเมตร เพื่อป้อน ข้อมูลเข้า Database Server (APRS.IS) แสดงผลออกมาใน รูปกราฟ เพื่อใช้วิเคราะห์ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมให้ ได้ตามที่ตั้งไว้ในตารางที่ 1 แสดงตำแหน่งได้ในรูปที่ 17



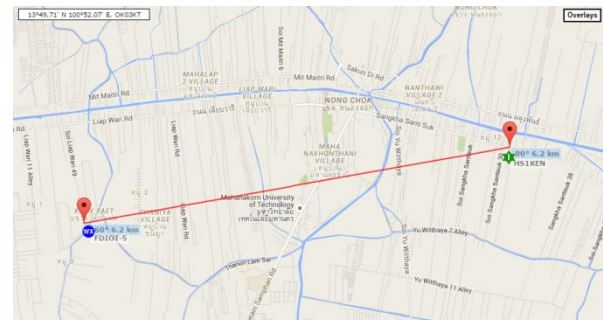
รูปที่ 17 ค่าที่อ่านได้จาก Sensor 4 ตัวและค่าเฉลี่ย

ผลการทดลองส่วนค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์จำนวน 4 ตัว สามารถควบคุมให้ได้ค่าตามที่กำหนดสมมติฐานตามเงื่อนไขตารางที่ 1 คือ ช่วงออกดอก (production) ต้องรักษาความชื้นไว้ที่ 95-100% ซึ่งกราฟที่ Plot ได้มาจากข้อมูลในระบบ APRS หรือ Packet Radio โดยชุดส่งข้อมูลผ่าน RF ทางความถี่ย่าน VHF 144.390MHz มีการส่งข้อมูลจากโรงปลูกเห็ดไปยังสถานีรับที่อยู่ในระยะที่ไกลถึง 2 กิโลเมตร ซึ่งได้ค่าตามที่กำหนดไว้ใกล้เคียงกับ 90 % (ค่าผิดพลาด $\pm 5\%$) ตามต้องการโดยนำค่าที่ได้ซึ่งดึงข้อมูลมาจาก Database Server ผ่าน Web Interface ทาง <http://aprs.fi/FDIOT-3> [13] ซึ่งผลการทดลองการควบคุมความชื้นสามารถแสดงในกราฟ โดยนำเอาข้อมูลจาก APRS.IS server แสดงผลการทดลองได้ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 ผลของการวัดค่าความชื้นบันทึกบน Database Server

อีกส่วนของการทดลองตามสมมติฐานที่ตั้งไว้คือ ระยะทางในการส่งต้องมีมากกว่า 2 กิโลเมตร โดยข้อมูลที่ได้จากการวัดซึ่งจะส่งจากโรงปลูกซึ่งสถานที่ตั้งไม่มีระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อไปยังสถานีรับที่ห่างออกไปเพื่อนำข้อมูลการวัดไปบันทึกบน Database (APRS.IS) และเก็บไว้ประเมินผลนั้นสามารถพิสูจน์ได้จากระบบที่ตั้งข้อมูลออกจาก Database Server ได้ผ่าน Web Base โดยใช้ tool ที่มีอยู่แล้วจากผู้พัฒนาระบบนี้ ในการเข้าถึงในระบบของฐานข้อมูลแล้วนำมาหาตำแหน่งจากพิกัดที่ได้ป้อนเอาไว้ในการโปรแกรม และส่งค่าตามรูปแบบมาตรฐานที่ถูกกำหนดโดย APRS Protocol Data Frame ซึ่งสามารถส่งเข้าไปทำ Validation ที่ Database Server ได้ ดังที่แสดงให้ทราบถึงผลการรับส่งและการวัดระยะทางผ่าน Google Map ได้ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 ผลของการวัดระยะทางการส่งและรับข้อมูล

อธิบายผลที่ได้จากจุดที่ตั้งในรูปเป็นสถานีโรงปลูกส่งไปยังสถานีรับสัญญาณที่มีความสูงของสายอากาศที่ 25 เมตร และตั้งอยู่ห่างออกไปถึง 6 กิโลเมตรจากโรงเรือนตามแผนที่ในรูปที่ 19 โดยสามารถนำผลการวัดและข้อมูลที่ได้จากโรงปลูกบันทึกลงใน Database Internet Service (APRS.IS)

โดยหลังจากการทดลองที่ได้ทำตามเงื่อนไขเสร็จสิ้นได้มีการเริ่มทำการนำเอาก้อนเห็ดจำนวน 5,000 ก้อนเพื่อเริ่มการทำการปลูกตามเงื่อนไขที่ได้วางไว้ แสดงให้เห็นดังรูปที่ 20 ในช่วงแรก ของการปลูกประมาณ 3 เดือน คือ การ บ่ม เพื่อสร้างเส้นใย หรือ รากของเห็ด



รูปที่ 20 เริ่มการปลูกจริง

หลังการบ่ม 3 เดือนเมื่อเส้นใยเริ่มเดินเห็ดจะมีการเปิดจุกของก้อนเห็ดโดยเห็ดจะเริ่มเติบโตและโตพอที่จะเริ่มมีการตัดเพื่อนำไปขายได้ โดยลักษณะของเห็ดที่เริ่มออกจากก้อนเห็ดมีในลักษณะแบบดังรูปที่ 21 ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของ Production Mode ซึ่งจะกำหนดไว้ใน ตารางที่ 1 ที่อธิบายไว้ข้างต้น โดยจะมีการเปลี่ยนโปรแกรมมาเป็น Production Mode ก็จะมีการเพิ่มความชื้นโดยการพ่นหมอกให้มีความถี่มากขึ้น แสดงให้เห็นตาม Flow Chart ในรูปที่ 8 ที่ได้มีการกำหนดโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 21 เริ่มเข้าสู่ช่วงออกดอก Mode Production

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ที่มีการใช้งานจริงโดยการเอาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ และ ระบบการส่งข้อมูลโดยใช้ APRS โปรโตคอลเพื่อส่งและรับข้อมูลสั้นๆ ที่อาศัยคลื่นวิทยุ โดยมาปรับใช้กับการเกษตรในเรื่องของการควบคุมสภาพแวดล้อมซึ่งในการทดลองนี้เพราะว่าหลักการออกแบบโรงเรือนที่ไม่สามารถจะมีการทำการบันทึกได้ตลอดเวลา การนำระบบการส่งข้อมูลอัตโนมัติด้วย APRS โปรโตคอลที่มีใช้ในสถานีตรวจอากาศทั่วไปอยู่แล้วในปัจจุบัน นำมาดัดแปลงกับการทำการเกษตรในโรงเรือนโดยนำตัวอย่างการปลูกเห็ดที่เป็นระบบซึ่งผสมผสานในการเก็บบันทึกข้อมูลซึ่งต้องการรายละเอียดซึ่งไม่สามารถทำได้ในแรงงานคนในการจดบันทึก ทำให้ได้ทราบถึงสภาพแวดล้อมภายในของโรงปลูกเห็ดได้ตลอดเวลาและด้วยเหตุผลนี้ทำให้ทราบถึงการเพิ่มผลผลิตให้มีมาตรฐาน มีประสิทธิภาพ โดยผลการทดลองสามารถนำไปใช้งานได้จริง ในพื้นที่ที่ห่างไกลที่ไม่มีบริการเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งการนำระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีราคาถูกมาประยุกต์ใช้งาน โดยระบบนี้สามารถนำไปดัดแปลงพัฒนาต่อยอดในระบบ Greenhouse หรือระบบการเกษตรแบบอื่นที่ต้องการควบคุมสภาพการทำเกษตรแบบปิดและต้องการเก็บข้อมูลระยะไกล และสามารถนำไปพัฒนาเพื่อเชิงพาณิชย์ต่อไป เพิ่มเติมในอีกส่วนนอกเหนือจากการนำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการทำงานตามโปรแกรม ก็ยังมีอีกส่วนที่ได้นำมาแสดงและทดลองเพื่อพัฒนาการส่งข้อมูลแบบที่มีความสามารถในการส่งข้อมูลในระยะไกลโดยระยะทางขึ้นอยู่กับความสูงและกำลังส่งของวิทยุสื่อสารและมียุทธศาสตร์ที่ต่ำมาก ซึ่งจริงๆ แล้วการวิจัยไม่ได้กำหนดแค่เพียงการ

ส่งข้อมูลสภาพอากาศภายในโรงปลูกแต่หากเป็นการแสดงให้เห็นถึงความสามารถการส่งข้อมูลโปรโตคอลนี้ไปต่อยอดได้อีกมากมายในโครงการพัฒนาต่อไปเช่น ระบบเตือนภัย หรือ แม้กระทั่งการสื่อสารระยะไกลในระบบอวกาศและการสื่อสารดาวเทียมซึ่งได้มีงานวิจัยอื่นได้นำไปใช้ในปัจุบันและอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ฟาร์มเห็ดสหวัฒน์ เขตหนองจอก กรุงเทพฯ ที่ได้เอื้อเฟื้อพื้นที่โรงเรือนปลูกเห็ดนางฟ้าภูฐานมาใช้ในการทดลอง โดยสนับสนุนบุคลากรช่วยในการติดตั้งระบบ สถานที่เพื่อทำการทดลองทั้งหมดซึ่งทำให้การทดลองได้มีการใช้งานได้ผลจริงและทำให้มีการต่อยอดทางธุรกิจและพัฒนาเป็นสินค้าให้กับฟาร์มเห็ดด้วยต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Vedder, P.J.C., Modern Mushroom Growing. Stanley Thomes, Cheltenham;1978, p. 420.
- [2] Willits, D.H., Karnoski, T.K. and McClure, W.F. A microprocessor-based control system for greenhouse research-Part I hardware. Trans. ASAE, 23;1980, p.692, 698.
- [3] Tantau, H.-J., The ITG digital greenhouse climate control system for energy saving, Gartenbauwissenschaft;1984, p.140-143
- [4] Saffell, R.A. and Marshall, B., Computer control of air temperature in a glasshouse. J. Agric.Eng. ;1983, 28: p.469-477.
- [5] Cengel, Yunus A., and Michael A. Boles. An engineering approach. ENERGY1;2002. p51.
- [6] Giabaklou, Zahra, and John A. Ballinger. A passive evaporative cooling system by natural ventilation. Building and Environment 31.6; 1996: p.503-507.
- [7] Tschierpe, J.J., Environmental factors and mushroom growing, Part II. Mushroom J. ;1973, 2: p.77-94.

- [8] Atmel 8-BIT Microcontroller with /8/16/32 Kbytes in system programmable flash. Available from: <http://www.atmel.com/devices/atmega328p.aspx> [Accessed 5th Feb 2017].
- [9] DHT11-Humidity & Temperature Sensor Datasheet. Available from: <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf> [Accessed 5th Feb 2017].
- [10] Chaiyasoonthorn S, Hongyim N, Mitatha, S. Building Automatic Packet Report System to report position and radiation data for autonomous robot in the disaster area. Proceeding of Control, Automation and Systems (ICCAS), 2015 15th International Conference on. IEEE;2015. p. 85-88.
- [11] Hongyim N, Mitatha, Chaiyasoonthorn S, Microcontroller Based for Smart mushroom cropping proceeding of 8th ECTI-CARD, Huahin, Thailand;2016. p.599-602.
- [12] APRS Database Web-Server. Tierr 2 Cross connected backbone detail. Available from: <http://aprs2.net/t2network.phpl> [Accessed 5th Feb 2017].
- [13] APRS.fi APRS Database Web-Server. Available from:http://aprs.fi/page/about_technical Accessed 5th Feb 2017].