

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการเฝ้าติดตามความขาวและอุณหภูมิของเมล็ดข้าว ในกระบวนการขัดขาว

A Wireless Sensor Network for Rice Whiteness and Rice Temperature Monitoring in a Whitening Process

เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล,^{1*} ปริญญ์ ชูปวา,² วิรชา คีมยะราช,³ ไตรทศ คำโสภา,⁴ จักรชัย ชินโคตร,⁵
ศิวินทร์ ศรีโลห้อย⁶

Kiattisin Kanjanawanishkul,^{1*} Prarin Chupawa,² Wiracha Comyarat,³ Traitot Kamsopa,⁴ Jakrachai
Chinnakotr,⁵ Siwanut Sreelohor⁶

บทคัดย่อ

ความขาวของเมล็ดข้าวเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการตัดสินใจในการเพิ่มหรือลดกำลังในกระบวนการขัดขาวในอดีตนั้น ผู้ปฏิบัติงานในโรงสีจะตรวจสอบคุณภาพของการขัดขาวด้วยการสุ่มข้าวทุกๆ 1-2 ชั่วโมง เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์วัดความขาวของข้าวที่สามารถวัดได้อย่างต่อเนื่อง หรือ ใช้ประสบการณ์ของผู้ดูแล ดังนั้น โครงการวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์ คือ การสร้างระบบการวัดความขาวและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวหลังจากผ่านเครื่องขัดขาว 3 เครื่อง โดยแสดงผลผ่านเครือข่ายไร้สาย ส่วนประกอบหลักมี 2 ส่วน คือ เซ็นเซอร์โหนด 3 ชุด และ สถานีฐาน โดยที่ แต่ละเซ็นเซอร์โหนด ประกอบด้วย เซ็นเซอร์วัดสี เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ โมดูลสื่อสารไร้สาย หน้าจอแสดงผลและ หลอดไฟแจ้งเตือน พร้อมกับมีกลไกในการสุ่มข้าวกลไกนี้จะทำการสุ่มข้าวทุกๆ 30 วินาที แล้วจะทำการวัดค่าสีและอุณหภูมิของข้าว ข้อมูลนี้จะแสดงผลบนหน้าจอและส่งผ่านเครือข่ายไร้สายไปยังสถานีฐาน ซึ่งจะมี โมดูลสื่อสารไร้สาย, Raspberry Pi single board computer และหน้าจอแสดงผลเพื่อแสดงผลให้ผู้ปฏิบัติงานได้ทราบถึงค่าดังกล่าวผลการทดลองพบว่า ความคลาดเคลื่อนในการวัดความขาวของข้าวมีค่าเฉลี่ย 1.22% ในขณะที่ความคลาดเคลื่อนในการวัดอุณหภูมิของข้าว มีค่าเฉลี่ย 0.87°C และข้อมูลความขาวและอุณหภูมิของข้าว สามารถแสดงบนหน้าจอของสถานีฐาน ผ่านเครือข่ายไร้สายได้อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ: เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย, ความขาวข้าว, กระบวนการขัดขาวข้าว, โรงสี

Abstract

Whiteness of rice grains is a key factor for making a decision to increase or decrease the power in a rice whitening process. Traditionally, an operator in rice mills monitors milled rice quality manually at sampling interval of 1-2 hours since there are no continuous on-line measurement methods available or in some cases, the whiteness is estimated by an experienced operator. Thus, the aim of the research project is to build a system that can measure the whiteness and the temperature of rice grains after being whitened by three whitening machines and displays the results obtained via a wireless network. There are two main parts, i.e., three sensor nodes and one base station. Each Sensor node consists of a color sensor, a temperature

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ²อาจารย์, ^{3,4}นิสิตปริญญาตรี, ^{5,6}นิสิตปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹Assistant Professor, ²Lecturer, ^{3,4}Undergraduate student, ^{5,6}Graduate students Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, MahaSarakhm, Thailand, 44150

* Corresponding author: Kiattisin Kanjanawanishkul, Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, MahaSarakhm, Thailand, 44150, E-mail : kiattisin.k@msu.ac.th



sensor, a wireless module, a display module, and a warning LED. It also includes a rice sampling mechanism that can take a sample of rice at every 30 seconds. Then, color and temperature of rice grains are measured. After that these data are shown on the display module and sent to the base station via a wireless network. The base station consists of a wireless module, a Raspberry Pi single board computer, and a display module that can illustrate the data to operators. The experimental results showed that the average error of rice whiteness measurement was 1.22%, while the average error of rice temperature measurement was 0.87°C. Both rice whiteness and rice temperature were transferred to the base station via a wireless network and shown on the screen correctly.

Keywords: Wireless sensor networks, rice whiteness, rice whitening process, rice mill

บทนำ

การสีข้าวเป็นกระบวนการที่สำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจาก มีผลต่อคุณภาพของข้าวขาวที่ได้ การสีข้าว นั้นเป็นกระบวนการแปรรูปข้าวเปลือกให้เป็นข้าวสาร ตามกระบวนการเป็นขั้นๆ ต่อเนื่องกัน โดยแต่ละขั้นจะใช้เครื่องจักรกลที่มีหน้าที่ต่างๆทำงานสัมพันธ์กัน เริ่มตั้งแต่การทำความสะอาดข้าวเปลือก (Cleaning) การกะเทาะเปลือก (Shelling) การขัดขาว (Whitening scouring) และการคัดขนาดเมล็ดข้าวสาร (Grading)¹

ข้าวสารที่มีคุณภาพดี ควรสีให้ได้ข้าวสารที่มีปริมาณข้าวเต็มเมล็ดมากที่สุดหรือมีข้าวหักน้อยที่สุด ปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ข้าวหักในระหว่างการสีข้าว คือ การปรับตั้งค่าให้เครื่องขัดขาวทำการขัดขาวมากเกินไป แต่ถ้าหากปรับตั้งค่าให้เครื่องขัดขาวทำการขุดน้อยลง ก็จะทำให้สีของข้าวสารไม่ได้ตามมาตรฐานข้าวของประเทศไทย²

เครื่องขัดขาว (Whitener) คือ กระบวนการทำให้รำหลุดออกจากเมล็ดผลิตผลที่ได้คือรำ (Bran) และข้าวสาร (Milled rice) ซึ่งระดับการขัดสามารถปรับตั้งได้ ถ้าปรับตั้งให้ขัดขาวให้ขาวมาก ก็อาจจะส่งผลให้ข้าวหักมีปริมาณมากขึ้น สิ้นเปลืองพลังงาน และเวลาเกินกว่าจำเป็น ดังนั้น ระดับความขาวของเมล็ดข้าวสาร จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ในปัจจุบันนี้ โรงสีส่วนใหญ่ จะใช้วิธีการสู่ม อาจจะมีทุกๆ ชั่วโมง โดยจะนำเมล็ดข้าวที่ผ่านเครื่องขัดขาว ไปทำการวัดกับเครื่องวัดความขาวข้าว (Whiteness meter หรือ Milling Meter) ซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง หรือ ใช้ประสบการณ์ด้วยการใช้มือสัมผัสกับความร้อนของ

เมล็ดข้าวหลังจากการขัดขาว ซึ่งจะได้อัตราที่ไม่แม่นยำ และที่สำคัญ ก็คือ การสู่มตรวจนี้ ถ้าหากทำซ้ำเกินไป ความขาวของข้าวที่ได้ อาจจะไม่ได้ตามที่ต้องการ ดังนั้น โครงการวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นในส่วนของการสร้างอุปกรณ์วัดความขาวของเมล็ดข้าวหลังจากผ่านเครื่องขัดขาว โดยแสดงผลที่หน้าจอที่ติดตั้งบริเวณเครื่องขัดขาว เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานทราบถึงค่าร้อยละความขาวของเมล็ดข้าวตลอดเวลา ถ้าหากค่าร้อยละความขาวของเมล็ดข้าว อยู่นอกช่วงที่ยอมรับได้ ก็จะมีสัญญาณไฟเตือน เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานเข้ามาทำการตรวจสอบ และปรับตั้งค่าเครื่องขัดขาวได้อย่างทันท่วงที และโครงการวิจัยนี้ ยังได้สร้างอุปกรณ์วัดอุณหภูมิของเมล็ดข้าวหลังจากผ่านการขัดขาวอีกด้วย เนื่องจากเมล็ดข้าวที่ถูกขัดขาวมาก จะมีอุณหภูมิที่สูง ดังนั้น จะเห็นได้ว่า การเฝ้าติดตามคุณลักษณะของเมล็ดข้าว หลังจากผ่านเครื่องขัดขาวมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

ในอดีตที่ผ่านมา มีคณะผู้วิจัยหลายคนได้พยายามพัฒนาเซ็นเซอร์วัดความขาวของเมล็ดข้าว เช่น Kawamura และคณะ³ ได้พัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพของข้าวโดยอัตโนมัติ โดยมี reflectance sensor สำหรับทำการวัดความขาวของเมล็ดข้าว เพื่อใช้ในการแบ่งเกรดของเมล็ดข้าวแต่ไม่ได้ติดตั้งเพื่อตรวจวัดแบบต่อเนื่องโดยตรงกับเครื่องขัดขาว Jangkajit และ Khumboa⁴ ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความขาวของเมล็ดข้าวและอุณหภูมิของเมล็ดข้าว พร้อมทั้งใช้กระบวนการประมวลผลภาพเพื่อตรวจวัดค่าความขาวของเมล็ด

ข่าวอีกด้วยอย่างไรก็ตาม การใช้วิธีกระบวนการประมวลผลภาพนั้นจะทำให้ต้นทุนสูงขึ้น การติดตั้งค่อนข้างยุ่งยาก และ การใช้วิธีการวัดอุณหภูมิ อาจจะไม่สามารถบ่งบอกถึงค่าความขาวของเมล็ดข้าวได้อย่างแม่นยำนัก เนื่องจากการตรวจวัดทางอ้อม Nascimento และ Galli⁵ ได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้วัดความขาวและความโปร่งแสงของเมล็ดข้าว ด้วยการวัดการสะท้อนของแสงและการดูดซับของแสงตามลำดับแต่อย่างไรก็ตาม วิธีที่นำเสนอนี้ เป็นเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเพื่อทดแทนเครื่องมือวัดมาตรฐานที่มีราคาแพงเท่านั้น Yadav และ Jindal⁶ ใช้กระบวนการประมวลผลภาพเพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยของ gray level ที่ได้จากภาพ แต่ด้วยวิธีนี้ จะมีราคาค่อนข้างสูงและติดตั้งยุ่งยาก ต้องใช้อุปกรณ์จำนวนมาก ดังนั้น วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้ คือ เพื่อสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดร้อยละความขาวของเมล็ดข้าว และ ตรวจวัดอุณหภูมิของเมล็ดข้าวหลังจากผ่านกระบวนการขัดขาวแบบต่อเนื่อง ทำให้ทราบค่าตลอดเวลา

อย่างไรก็ตาม การแสดงผลเพียง ณ ตำแหน่งเครื่องขัดขาวจะมีความยุ่งยากต่อการบริหารจัดการของโรงสี เนื่องจากมีฝุ่นและรำข้าวฟุ้งกระจาย อีกทั้งผู้ดูแลยังต้องเสียเวลาในการเข้าไปจดบันทึกค่าที่ได้ทุกๆ ชั่วโมง ดังนั้น จึงเป็นที่มาของวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้อีกประการหนึ่ง ก็คือ การสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network, WSN) เพื่อทำการรับค่าจากเซ็นเซอร์วัดความขาวและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวแล้วส่งค่าผ่านเครือข่ายไร้สายไปยังสถานีฐาน (Base Station) ซึ่งจะทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์แล้ว นำมาแสดงผลทำให้ผู้ดูแล สามารถเฝ้าติดตามค่าของเซ็นเซอร์ทั้งสองได้ตลอดเวลา อีกทั้งยังสามารถบันทึกค่าเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ได้ในภายหลังอีกด้วย

ถึงแม้ว่า ในอดีตที่ผ่านมา WSN ได้ถูกนำมาประยุกต์กับงานด้านต่างๆ มากมาย⁷⁻¹⁰ เช่น ทาง การแพทย์, สิ่งแวดล้อมและเกษตรกรรม, ที่อยู่อาศัย, ทางทหารและการสำรวจ เป็นต้นแต่อย่างไรก็ตาม ปัจจุบัน ยังไม่มี WSN สำหรับโรงสีข้าว ดังนั้น วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้ คือ การวัดค่าความขาวและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวอย่างต่อเนื่องและการแสดงผลผ่าน WSN เพื่อที่จะทำให้ได้เมล็ดข้าวที่มีคุณภาพตามที่ต้องการและลดพลังงานที่ใช้ในการขัดขาวอีกด้วย

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ส่วนประกอบที่สำคัญ จะประกอบด้วย ส่วนแรก คือ Sensor Node ซึ่งถูกติดตั้งในบริเวณเครื่องขัดขาวเพื่อเก็บข้อมูลร้อยละความขาวและอุณหภูมิของเมล็ดข้าว แล้วข้อมูลที่ได้นี้ จะถูกส่งแบบไร้สายไปยังส่วนที่ 2 คือ สถานีฐานเพื่อเก็บข้อมูลที่วัดได้จาก Sensor Node และ แสดงผลทางหน้าจอ ดังแผนภาพรวมใน Figure 1

สำหรับ Sensor Node นั้น จะมี เซ็นเซอร์วัดความขาว ซึ่งในโครงการวิจัยนี้ จะใช้ color sensor (TCS3200) วัดสี RGB ของเมล็ดข้าวโดยตรง ในขณะที่ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิของเมล็ดข้าว จะใช้ Infrared temperature sensor (MLX90614ESF) ข้อมูลจาก เซ็นเซอร์ทั้งสอง จะถูกประมวลผลด้วย Arduino Uno ซึ่งจะได้ค่าร้อยละความขาวและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวแล้วทำการแสดงผลบนหน้าจอนอกจากนี้ ผู้ปฏิบัติงานยังสามารถกำหนดค่าช่วงที่ยอมรับได้ของระดับร้อยละความขาวและอุณหภูมิ รวมถึงระบบเตือน เมื่อค่าร้อยละความขาวหรืออุณหภูมิของเมล็ดข้าวเกินกว่าช่วงที่ยอมรับได้ ในส่วนการสื่อสารเพื่อสร้างเครือข่าย เซ็นเซอร์ไร้สายนั้น จะใช้ โมดูลไร้สาย NRF24L01 เพื่อทำการส่งข้อมูลไปยังสถานีฐานจากที่กล่าวมาข้างต้น ส่วนประกอบทั้งหมดของ ชุด Sensor Node เป็นดัง Figure 2 โดยจะทำการติดตั้งที่เครื่องขัดขาว เครื่องละ 1 ชุด จำนวน 3 เครื่อง

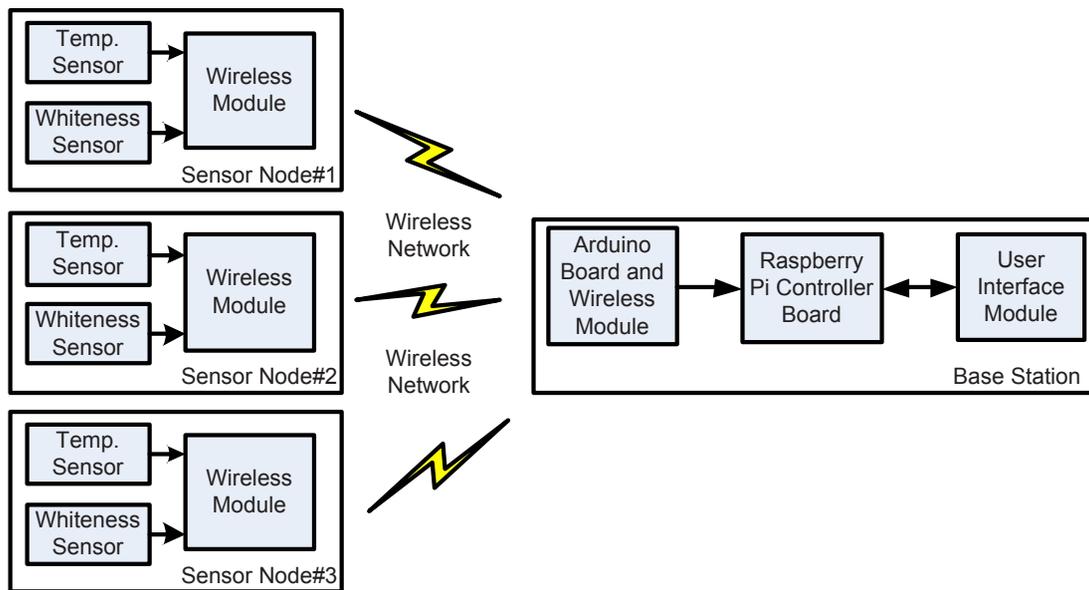


Figure 1 The block diagram of the overall system consisting of three sensor nodes and the base station

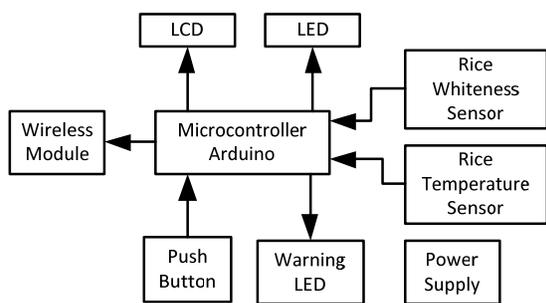


Figure 2 The block diagram of the sensor node

จะทำให้ผู้ใช้ สามารถนำข้อมูลในอดีตมาทำการวิเคราะห์ได้

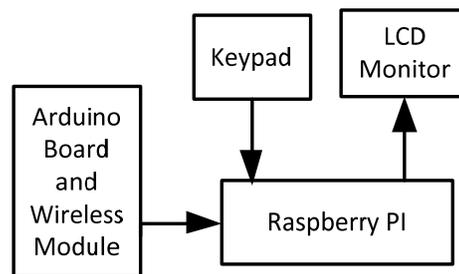


Figure 3 The block diagram of the base station

ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งไปยังสถานีฐานผ่านทางเครือข่ายไร้สาย โดยมี Arduino Uno ทำหน้าที่รับข้อมูลผ่านทางโมดูลไร้สาย NRF24L01 เพื่อทำการรวบรวมข้อมูลจาก sensor node และจัดข้อมูลใหม่แล้วทำการส่งต่อไปยัง Raspberry Pi board ซึ่งเป็นตัวประมวลผลหลักดังแสดงใน Figure 3 หน้าหลักของ Raspberry Pi board คือ การนำข้อมูลที่ได้มาแสดงผลผ่านหน้าจอดังแสดงใน Figure 4 ซึ่งจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถเฝ้าติดตามร้อยละความขาวและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวได้ตลอดเวลา โดยไม่จำเป็นต้องตรวจสอบที่เครื่องขัดขาวโดยตรง และ หน้าที่ยังอีกประการหนึ่ง ก็คือ การบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล ซึ่ง

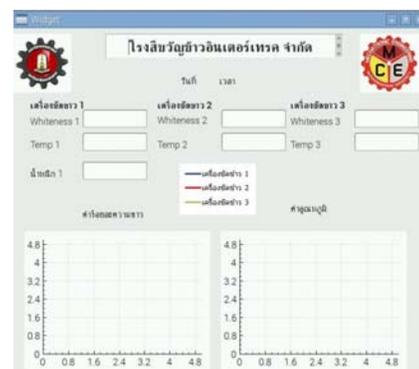
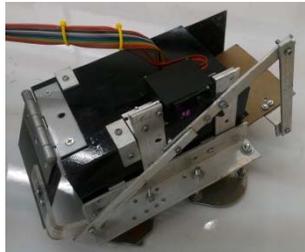


Figure 4 Graphical user interface

ในการติดตั้ง Sensor Node ณ ตำแหน่ง หลังจากกระบวนการขัดขาวข้าวนั้น คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบกลไกการสู่มข้าว ซึ่งจะมีลักษณะดัง Figure 5 ผู้ใช้สามารถกำหนดได้ว่า ต้องการสู่มวัด ทุกๆ กี่นาที่เมล็ดข้าวจะถูกเก็บอยู่ในกล่อง เพื่อทำการวัดค่าความขาวและอุณหภูมิ หลังจากนั้น ก็ปล่อยข้าว กลับออกมา



(a)



(b)

Figure 5 The rice sampling mechanism (a) opening position (b) closing position

ผลการทดลอง

การประเมินประสิทธิภาพของระบบที่สร้างขึ้นในโครงการวิจัยนี้ ประกอบด้วย 3 การทดลอง ได้แก่ การทดสอบความถูกต้องเซ็นเซอร์วัดความขาวของข้าว การทดสอบความถูกต้องของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิของข้าว และการทดสอบระบบโดยรวม ณ โรงสีข้าว

การทดสอบความถูกต้องของเซ็นเซอร์วัดความขาวของข้าว

ในการใช้ color sensor นั้น จะต้องมีการสอบเทียบค่าของสีขาวและสีดำก่อน หลังจากนั้น นำข้าวที่ทราบค่าความขาวด้วยเครื่องวัดความขาวมาตรฐาน (KETT รุ่น C-300-3) จำนวน 10 ค่า มาทดสอบกับ

color sensor ซึ่งจะได้ค่า RGB ของแต่ละตัวอย่างข้าว ดังแสดงใน Table 1

Table 1 The relationship between rice whiteness percentage using Kett C-300-3 and rice color using TCS3200

No	%whiteness using Kett C-300-3	Rice color using TCS3200		
		R	G	B
1	28.4	154	127	95
2	32.0	158	136	105
3	34.8	173	149	116
4	36.7	176	151	118
5	38.2	186	159	124
6	40.6	196	171	135
7	43.5	207	181	144

ความสัมพันธ์ของค่าร้อยละความขาวจากเครื่องวัดมาตรฐานและค่า RGB ที่วัดได้ คณะผู้วิจัยได้นำเสนอ 2 แนวทาง คือ ความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าสี RGB และ ความสัมพันธ์กับค่าความขาวที่ได้จากแบบจำลอง HSV ซึ่งแปลงจากค่าสี RGB ที่ได้จากการทดลอง

ความสัมพันธ์แรก คือ สมการเชิงเส้นดังต่อไปนี้

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \quad (1)$$

โดยที่ Y คือร้อยละความขาวของข้าว

b_0, b_1, b_2, b_3 คือค่าคงที่

x_1, x_2, x_3 คือค่า RGB

จากค่าที่ได้ใน Table 1 เมื่อใช้สมการถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear Regression) จะได้ค่าคงที่ คือ $b_0 = 13.5933, b_1 = -0.5436, b_2 = -1.9008$, และ $b_3 = 1.8171$ ดังนั้น ความสัมพันธ์ที่ได้ คือ

$$Y = 13.5933 + 0.5436(x_1) - 1.9008(x_2) + 1.8171(x_3) \quad (2)$$



ความสัมพันธ์ที่ 2 จะทำการแปลงแบบจำลอง RGB เป็น HSV แล้วใช้สมการต่อไปนี้ สำหรับค่าความขาว

$$W = (1-S)*V \quad (3)$$

โดยที่ W คือค่าความขาว

S คือ ค่าอิมิตัวของสี

V คือ ค่าความสว่าง

จากค่าที่ได้ใน Table 1 เมื่อใช้สมการถดถอยแบบเชิงเส้น(Linear Regression) จะได้

$$Y = 77.4725 - 0.0131(W) \quad (4)$$

ในการทดสอบหาความถูกต้องของสมการ (2) และ (4) คณะผู้วิจัยได้นำข้าวจำนวน 4 ตัวอย่างมาทำการวัดหาค่า RGB และแปลงตามความสัมพันธ์ที่ได้จากข้างต้น พบได้ผลดัง Table 2 ผลการทดลองพบว่าความสัมพันธ์ตามสมการ (2) ให้ความถูกต้องมากกว่าความสัมพันธ์ตามสมการ (4) นั่นคือ มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.22%

Table 2 The accuracy test of the rice whiteness sensor using the color sensor compared to the standard rice whiteness meter (Ket C-300-3)

No	%whiteness using Kett C-300-3	Rice color using TCS3200			using Eq. (2)		using Eq. (4)	
		R	G	B	%whiteness	Error (%)	%whiteness	Error (%)
1	29.5	146	122	92	29.45	0.16	28.94	1.89
2	33.6	156	132	103	32.75	2.5	34.66	3.15
3	37.3	185	160	123	36.66	1.71	37.4	0.26
4	41.9	194	171	138	41.56	0.81	41.91	0.02
Average						1.22		1.32

การทดสอบความถูกต้องของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

ในโครงการวิจัยนี้ ใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดไร้การสัมผัส รุ่น MLX90614ESF ในการทดสอบ จะกำหนดระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์และวัตถุที่ต้องการวัด ซึ่งคือ น้ำ โดยจะวัดเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิเทอโมมิเตอร์ชนิดปรอท ผลการทดสอบเป็นดัง Table 3

จากผลการทดลองพบว่าเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัส มีความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ย 0.87 °C

การทดสอบระบบโดยรวม ณ โรงสีข้าว

เมื่อนำอุปกรณ์ที่ได้พัฒนาขึ้นไปติดตั้ง ณ โรงสี ดังแสดงใน Figure 6 โดยจะทำการวัดข้าวหลังจากผ่านเครื่องขัดขาวทั้ง 3 เครื่อง กลไกการสูบลำข้าว จะทำการสูบลำข้าวทุก ๆ 30 วินาที ค่าร้อยละความขาว

และอุณหภูมิ จะถูกส่งผ่านเครือข่ายไร้สายไปยังสถานีฐาน ดังแสดงใน Figure 7

Table 3 The accuracy test of the temperature sensor

No	Thermometer (°C)	Temperature Sensor (°C)	Error (°C)
1	23.8	24.05	1.01
2	27.1	27.17	0.25
3	28.5	28.45	0.17
4	30	29.77	0.76
5	32.1	31.89	0.65
6	35	34.77	0.65
7	38.7	38.11	1.55
8	45.5	44.61	1.93
Average			0.87

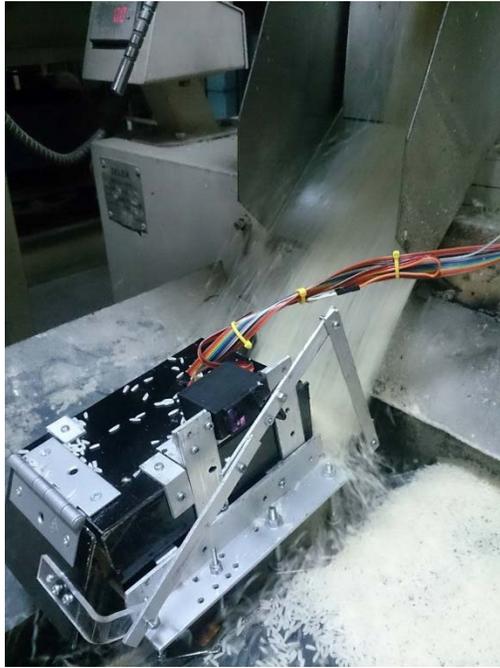


Figure 6 The rice sampling mechanism installed at the outlet of the rice whitening machine

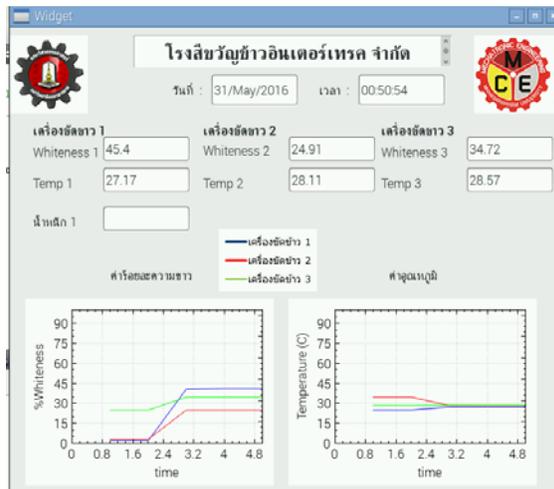


Figure 7 The results shown on screen of the base station after 3 sensor nodes installed at the rice mill

จากการนำไปติดตั้งจริง ณ โรงสีข้าว พบว่า ค่าอุณหภูมิที่ได้จาก Temperature sensor มีความถูกต้องสูง ค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับ Infrared Thermometer ไม่เกิน 1°C ส่วนค่าความขาวของข้าวมีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 10% เนื่องจาก

สภาพแวดล้อมในการใช้งานจริงแตกต่างจากที่ทำการสอบเทียบ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลจาก Sensor Node ทั้งสามชุด สามารถถูกส่งไปยังสถานีฐานได้อย่างถูกต้อง

สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

โครงการวิจัยนี้ ได้ประยุกต์ใช้ WSN สำหรับการเฝ้าติดตามคุณภาพของเมล็ดข้าวหลังจากผ่านเครื่องขัดขาวในโรงสีข้าว เพื่อให้ประสิทธิภาพในการผลิตข้าวสารของโรงสีข้าวสูงขึ้น สิ่งที่ต้องการเฝ้าติดตามในโครงการวิจัยนี้ ได้แก่ ร้อยละความขาวและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวหลังจากผ่านการขัดขาวจากเครื่องขัดขาวแล้ว ค่าที่ได้นี้ จะถูกส่งผ่านเครือข่ายไร้สายไปยังสถานีฐาน เพื่อทำการเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลและนำมาแสดงผลผ่านทางหน้าจอ

ในการทดสอบพบว่า ความความคลาดเคลื่อนของเซ็นเซอร์วัดความขาวเฉลี่ย 1.22% ในขณะที่ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดอุณหภูมิเฉลี่ย 0.87°C เมื่อนำไปติดตั้งจริง ณ โรงสีข้าว พบว่า ข้อมูลจาก Sensor Node ทั้ง 3 ชุด สามารถแสดงผลบนหน้าจอของสถานีฐานได้อย่างถูกต้อง อย่างไรก็ตาม ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น เมื่อนำไปติดตั้งจริง เกิดจากสภาพแวดล้อมภายในโรงสีข้าว ดังนั้น กลไกในการสุ่มข้าวจะถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณโรงสีข้าวอินเตอร์เนท จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และข้าวในการทดสอบและโครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินอุดหนุนการวิจัยอาจารย์ทั่วไปเผยแพร่ผลงานระดับชาติ งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2559 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้



เอกสารอ้างอิง

1. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และ นิธิยา รัตนานพนธ์, การสีข้าว / rice milling, แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3644/การสีข้าว-rice-milling>. 11ตุลาคม 2558
2. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ . 4004-2555 (THAI AGRICULTURAL STANDARD TAS 4004-2012), วันที่ 16 พฤศจิกายนพุทธศักราช 2555
3. Kawamura S, Natsuga M, Takekura K, Itoh K. Development of an automatic rice-quality inspection system. *Computers and Electronics in Agriculture* 2003; 40:115–26.
4. Jangkajit C, Khunboa C. The study of relationship between whiteness and temperature of rice. In: *Proceedings of the 2nd Intl. Conf. on Advances in Computer and Information Technology*; 2013 May 4-5; Kuala Lumpur, Malaysia.
5. Nascimento T, Galli R. An equipment to measure whiteness and transparency of rice. *REVISTA CIÊNCIAS EXATAS – UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ (UNITAU) – BRASIL* 2008; 2(1).
6. Yadav BK, Jindal VK. Monitoring milling quality of rice by image analysis. *Computers and Electronics in Agriculture* 2001; 33: 19 – 33.
7. Zhang S, Zhang H. A review of wireless sensor networks and its applications. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics*; 2012 Aug.; Zhengzhou, China, p. 386 – 9.
8. Yick J, Mukherjee B, Ghosal D. Wireless sensor network survey. *Computer Networks* 2008; 52: 2292–330.
9. Stankovic J, Wood A, He T. Realistic applications for wireless sensor networks. In: *Theoretical Aspects of Distributed Computing in Sensor Networks*, Sotiris Nikolettseas, José D.P. Rolim (Eds.), pp. 835-863.
10. Erdelj M, Mitton N, Natalizio E. Applications of industrial wireless sensor networks. In: *Industrial Wireless Sensor Networks: Applications, Protocols, and Standards*, V. Güngör, G. Hancke. (Eds), CRC Press, 2013, pp. 3 – 27.