

ผลกระทบของสภาวะแวดล้อมต่อความไม่แน่นอนของการวัด และการปรับปรุงความแม่นยำของเครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือก แบบมือปิด

พิทักษ์ ศรีมงคล¹, จีรานุช บุคดีจิ้น¹, จรรยา สิงห์คำ^{2*}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช นนทบุรี

²สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช นนทบุรี

*Corresponding author email: 2629600426@stou.ac.th

ได้รับบทความ: 2 กันยายน 2567

ได้รับบทความแก้ไข: 23 ตุลาคม 2567

ยอมรับตีพิมพ์: 29 ตุลาคม 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวัดของเครื่องมือวัดความชื้นข้าวเปลือกแบบมือปิด โดยวิธีการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นแบบพหุนาม (Linear Interpolation) โดยการสำรวจไปยังผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและทำการบันทึกผลของความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) และอุณหภูมิ (Temperature) ของสภาวะแวดล้อมแล้วจึงนำผลการสำรวจมาทำการสร้างแผนภูมิพาริตเพื่อวิเคราะห์แนวโน้มของปัญหา จากนั้นจึงทำการออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial Design เพื่อกำหนดระดับของปัจจัยในการสอบเทียบ ได้แก่ สภาวะห้องปฏิบัติการสอบเทียบความชื้น 50%RH , สภาวะควบคุมความชื้น 30%RH, 85%RH และสภาวะสนามที่เวลา 11.00 น. , 15.00 น. วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) ที่ใช้มี 2 ชนิดคือ 14.18%mc และ 17.95%mc นำมาใช้เป็นมาตรฐานในการสอบเทียบเครื่องมือวัดความชื้นข้าวเปลือกชนิดมือปิด จากนั้นนำผลการวัดทั้ง 3 สภาวะ วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป 18 ผลการศึกษาพบว่า ค่าความไม่แน่นอนที่ได้จากการวัดของเครื่องมือวัดความชื้นข้าวเปลือกแบบมือปิดในสภาวะสนามที่เวลา 11.00 น. , 15.00 น. โดยใช้วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) ที่ระดับความชื้น 14.18%mc และ 17.95%mc แสดงผลที่แตกต่างกัน ผลก่อน

การปรับปรุงมีค่าเท่ากับ $-0.25\%mc$ และ $-0.93\%mc$ ตามลำดับ และหลังการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ $0.0727\%mc$ และ $1.3617\%mc$ ตามลำดับ

คำสำคัญ: ความไม่แน่นอนในการวัด/ เครื่องมือวัดความชื้นแบบบิตมือ/
แบบจำลองการวัด

Impact of Environmental Conditions on Measurement Uncertainty and Accuracy Improvement of a Paddy Hand-Help Moisture Meters

Pitak Srimongkol^{1*}, Jeeranuch Buddeejeen¹, Janya Singkham³

¹School of Science and Technology,
Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi

²School of Agriculture and Cooperatives,
Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi

*Corresponding author email: 2629600426@stou.ac.th

Received: 2 September 2024

Revised: 23 October 2024

Accepted: 29 October 2024

Abstract

This research aims to improve the measurement error from a hand-held rice moisture meter using polynomial linear interpolation. The study involved surveying stakeholders and recording the relative humidity and temperature of the environment, followed by creating a Pareto chart to analyze trends in the issues identified. Next, a Full Factorial Design experiment was designed to determine the levels of factors for calibration, including laboratory conditions at 50% RH, controlled humidity at 30% RH and 85% RH, and field conditions at 11:00 AM and 3:00 PM. Certified Reference Materials (CRM) with two moisture contents, 14.18% mc and 17.95% mc, were used as standards for calibrating the hand-held rice moisture meter. The measurement results from all three conditions were analyzed using Minitab 18. The study found that the uncertainty values obtained from the hand-held rice moisture meter in field

conditions at 11:00 AM and 3:00 PM, using CRMs at moisture levels of 14.18% mc and 17.95% mc, showed differing results. Before the improvements, the values were -0.25% mc and -0.93% mc, respectively, while after the improvements, the values were 0.0727% mc and 1.3617% mc, respectively.

Keywords: Measurement Uncertainty/ Hand-twist Moisture Meter/
Measurement Model

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตข้าวเปลือก (Paddy) เป็นอาหารภายในประเทศเป็นหลัก ปริมาณข้าวที่มีการซื้อขายระหว่างประเทศจึงเป็นผลผลิตส่วนเกินจากการบริโภคในแต่ละประเทศ ตลาดนำเข้าข้าวส่วนใหญ่อยู่ในภูมิภาคแอฟริกา ตะวันออกกลางและเอเชีย ยุโรปและอเมริกา ตามลำดับ รายงานความผันผวนราคาข้าวภายในประเทศที่ได้แสดงออกทางหนังสือและจากการสำรวจ คือ ความชื้นข้าวเปลือกจะส่งผลโดยตรงต่อราคาข้าว ค่าความชื้นที่อ่านได้นั้นมาจากเครื่องมือวัดซึ่งโดยทั่วไปเครื่องมือจะมีความคลาดเคลื่อน (error) ตลอดการใช้งานถึงแม้ว่าจะมีการสอบเทียบแล้วก็ตาม ซึ่งช่วงความชื้นข้าวเปลือกที่โรงสีต้องการรับซื้อนั้นจะอยู่ที่ 15%mc ซึ่งถือว่าดีที่สุด (อ้างอิงจากคำให้สัมภาษณ์ ผศ.ดร. จรรยา สิงห์คำ สาขาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช) หากว่ามีความชื้นสูงเกินไปก็จะถูกหักราคา ((ซึ่งความชื้น Moisture Content คือปริมาณน้ำหนักของน้ำที่ประกอบอยู่ในสิ่งของหรือ วัสดุต่างๆ ซึ่งโดยปกติจะอ่านค่าเป็น % ของน้ำหนักทั้งหมด (%wt) หรือ % ของปริมาตรทั้งหมด (%Vol) ปริมาณความชื้น (Moisture content) เป็นตัวแปรที่สำคัญในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การเกษตร การก่อสร้าง การผลิต และการแปรรูปอาหาร ซึ่งความชื้นจะส่งผลต่อคุณภาพ ความคงตัว เป็นต้น)) ทั้งนี้ยังรวมไปถึงขั้นตอนการผลิตของโรงสีที่ต้องอาศัยความชื้นของข้าวเป็นตัวกำหนดปัจจัยต่างๆ ในการผลิต เช่น การอบลดความชื้นข้าวเปลือกของโรงสี การซื้อขายข้าวเปลือก ในขั้นตอนการวัดความชื้นของโรงสีสถานะแวดล้อมมีความใกล้เคียงกับสถานะสนาม ทำให้ผู้ทำการวิจัยมีความสนใจในการแก้ปัญหาค่าความคลาดเคลื่อน และเมื่อทำการคิดสัดส่วนราคาข้าวเต็มเมล็ดต่อปลายข้าว 100 กิโลกรัม ในวันที่ 19 ธันวาคม 2565 ข้าวเต็มเมล็ดจะขายได้ราคา 2,660 บาท ต่อ 100 กิโลกรัม ปลายข้าวหักขายได้ 1,400 บาท ต่อ 100 กิโลกรัม (ที่มา: กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์ 2565) แสดงให้เห็นว่าปลายข้าวนั้นมีราคาแตกต่างจากข้าวเต็มเมล็ดถึง 1,260 บาทต่อ 100 กิโลกรัม ส่วนหนึ่งมาจากการวัดที่ไม่แม่นยำ หากว่าควบคุมการวัดให้มีความแม่นยำก็จะช่วยเพิ่มปริมาณข้าวเต็มเมล็ดให้มากขึ้นได้

ดังนั้น ผู้ทำการวิจัยจึงได้มุ่งเน้นวัตถุประสงค์ 2 ประการคือ 1.ทำการสอบเทียบ (Calibration) และทำการประมาณค่าความไม่แน่นอนจากการวัด (Uncertainty of Measurement) เครื่องมือวัดความชื้นข้าวเปลือกชนิดมือบิดในสถานะที่แตกต่างกันสาม

สภาวะ โดยวันชัย ชินชูศักดิ์ [1] ได้ทำการศึกษาการสอบเทียบเครื่องมือวัดทางด้านมิติ และ นำผลการวัดที่ได้จากสภาวะทั้งสามมาทำการวิเคราะห์หาผลกระทบโดยโปรแกรมมินิแทป 18 (Minitab18) และ 2.ทำการปรับปรุงค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ในสภาวะสนามโดยใช้การประมาณค่าความในช่วงเชิงเส้นแบบพหุนาม (Linear Interpolation) โดย Sadiq Sius LAWAL และคณะ [2] ก็ได้ทำการพัฒนาเครื่องมือที่จะใช้ในการวัดค่าความชื้นของเมล็ดข้าว ข้าวโพด มีตำแหน่งถ้วยอิเล็กทรอนิกส์โทรดทองแดงสี่ตำแหน่งที่ใช้ในการวัดและถ้วยอิเล็กทรอนิกส์โทรดทองแดงจำลองถูกวางไว้เพื่อสร้างวงจรสะพาน Wheatstone แบบเต็ม, แบบครึ่ง และแบบ 25% ถ้วยวัดข้าวทองแดงตามลำดับ ซึ่งในการใช้งานจริงนั้นสภาวะแวดล้อมมีผลต่อค่าการวัด ซึ่งยังไม่มีงานวิจัยทางด้านนี้ ผู้ทำการวิจัยจริงได้ใช้ช่องว่างของงานวิจัย (Gap of reserach) มีความสนใจในประเด็นนี้และสร้างแบบจำลองในการวัดความชื้น (Measurement Model) สภาวะสนาม จึงนำมาสู่งานวิจัยนี้

วัสดุและวิธีการ

1. วัสดุ

- 1.1. แบบสอบถามเชิงลึก แบบเฉพาะเจาะจง
- 1.2. เครื่องมือวัดความชื้นข้าวเปลือกชนิดมือบิด (Moisture Meter)
- 1.3. วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) 14.18%mc และ 17.95%mc (เพื่อให้ครอบคลุมช่วงการซื้อขายที่ความชื้น 14-15%mc)
- 1.4. ตู้สร้างความชื้นและอุณหภูมิ(Temperature) (Chamber)
- 1.5. เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในอากาศ (Digital Thermo-Hygrometer)

2. วิธีการศึกษา

2.1. ขั้นตอนการสำรวจ

2.1.1. การสำรวจไปยังกลุ่มประชากรในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ชาวนา 14 ราย ในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยที่มีพื้นที่การเพาะปลูก 10 ไร่ ถึง 100 ไร่ โดยเจาะจงตามพื้นที่การผลิตและโรงสี 11 แห่ง ในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย ที่มีกำลังการผลิต 200 ตันต่อวัน ถึง 5,000 ตันต่อวัน ผู้วิจัยยืนยันข้อมูลที่เกิดขึ้นในช่วงเดือน เมษายน 2563 ถึง มิถุนายน 2563 โดยใช้แบบสอบถามเชิงลึกแบบเฉพาะเจาะจง สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้าน

ข้าวและการสอบถามผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบการใช้เครื่องมือในการอบข้าวเพื่อลดความชื้นข้าวเปลือก เพื่อนำผลจากแบบสอบถามมาสร้างเป็นแผนภูมิพาเรโต ในการสุ่มจากการกำลังการผลิตในช่วงกำลังการผลิต 200 – 5,000 ตันต่อวัน กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยได้มาจากการสุ่มตัวอย่างแบบไม่ใช้ความน่าจะเป็น (Non – Probability Sampling) เป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่างที่ไม่คำนึงถึงโอกาสที่ตัวอย่างจะได้รับการรับเลือก ดังนั้นการเลือกตัวอย่างวิธีนี้จึงทำให้ได้ข้อมูลที่ไม่เป็นตัวแทนของประชากรกลุ่มเป้าหมายที่ต้องการศึกษา ไม่สามารถประมาณความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการใช้ตัวอย่างได้ โดยที่ มาตยาวิ นวมทอง [3] ก็ได้ทำการศึกษาผลของปัจจัยภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สน 5 ชนิด โดยการสำรวจด้วยเช่นกัน

2.1.2. การสำรวจและเก็บข้อมูลทางด้านความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) และอุณหภูมิ (Temperature) ในอากาศ ในพื้นที่ อ.บางเสาธง จ.สมุทรปราการ ใน 3 ช่วง เวลา ฤดู คือ ฤดูร้อน ช่วงเดือนเมษายน ฤดูฝน ช่วงเดือนกรกฎาคม และฤดูหนาว ช่วงเดือนมกราคม โดยใช้ใบบันทึกและนำผลจากใบบันทึกมาหาค่าความถี่สะสมเพื่อใช้ในการกำหนดเวลาที่เหมาะสมในการออกแบบการทดลองในสภาวะสนามและค่าเฉลี่ย (Average)

2.2. ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment หรือ DOE) ในขั้นตอนนี้แบ่งการทดสอบดังนี้

2.2.1. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ Full Factorial Design แบบ 2 ระดับ 2 ปัจจัยและ 3 ปัจจัย เพื่อวัดระดับปัจจัยที่มีผลต่อผลการวัด ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.2.2. การทดสอบตัวแปรอิสระด้วยสถิติ (F-Test) One Way ANOVA มีผลต่อตัวแปรตาม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.3. ขั้นตอนการสอบเทียบ (Calibration) ทำการสอบเทียบตามวิธีการที่ห้องปฏิบัติการพัฒนาขึ้นเอง จากนั้นให้ใช้สถิติ t-Distribution ในการหาค่า k ที่เหมาะสมและทำการประมาณค่าความไม่แน่นอนตามวิธีการในเอกสาร M3003

2.4. ขั้นตอนการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นแบบพหุนาม โดยทำการหาค่าต่ำสุดและสูงสุดในสภาวะสนาม แล้วนำค่าที่ได้มาทำการหาค่า Tolerances (error + uncertainty) ประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นแบบพหุนาม ซึ่งค่าที่ได้นี้ได้ผ่านการใช้สถิติ t-Distribution มาด้วยแล้วจึงสามารถที่จะทำการประมาณค่าในช่วงและนำผลการประมาณมาใช้งานได้ทันที

ผลการศึกษา

ผลการสำรวจ

1. ผลการสำรวจไปยังกลุ่มตัวอย่างชาวนา 14 รายและโรงสี 11 รายโดยใช้แบบสอบถามเชิงลึกแบบเฉพาะเจาะจง

ตารางที่ 1 สรุปผลการสำรวจชาวนา

สรุปผลการสำรวจชาวนา	
โรงงานรับซื้อข้าวเปลือกมีการคิดราคาอย่างไร	1.ความขึ้นของข้าวเปลือก คิดเป็น 48.1 เปอร์เซ็นต์
อะไรเป็นสาเหตุหลักในการที่ทำให้ราคาสินค้าเกษตรเช่นข้าวตกต่ำ	1.ปริมาณข้าวในตลาด คิดเป็น 33.3 เปอร์เซ็นต์ 2.ความขึ้นของข้าวเปลือก คิดเป็น 30.6 เปอร์เซ็นต์
ความขึ้นเป็นปัจจัยสำคัญหรือไม่อย่างไรในการประเมินการซื้อขาย	1.ความขึ้นเป็นปัจจัยสำคัญ คิดเป็น 88.9 เปอร์เซ็นต์
เครื่องมือวัดความขึ้นที่ใช้งานในปัจจุบันส่งผลต่อราคาในการซื้อขายหรือไม่อย่างไร	1.เครื่องมือวัดมีผลต่อราคา คิดเป็น 52.0 เปอร์เซ็นต์ 2.เครื่องมือไม่ได้มาตรฐาน คิดเป็น 32.0 เปอร์เซ็นต์
หากการขนส่งข้าวมาขายในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน เช่น เช้า กลางวัน หรือ ฤดูฝน ฤดูร้อน จะส่งผลต่อราคาการซื้อขายข้าวหรือไม่อย่างไร	1.มีผล คิดเป็น 92.9 เปอร์เซ็นต์
โรงสีที่รับซื้อข้าวเปลือกมีการชดเชยในด้านราคาที่เกี่ยวข้องกับความขึ้นของข้าวหรือไม่อย่างไร	1.ไม่มี คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2 สรุปผลการสำรวจโรงสี

สรุปผลการสำรวจโรงสี	
โรงสีของท่านมีการใช้เครื่องมือวัดความชื้นข้าวชนิดมือบิตหรือไม่	1.มี คิดเป็น 87.5 เปอร์เซนต์
โรงงานของท่านใช้เครื่องมือวัดความชื้นข้าวเปลือกชนิดมือบิตในกระบวนการใดบ้าง	1.กระบวนการผลิต คิดเป็น 50.0 เปอร์เซนต์ 2.กระบวนการซื้อขาย คิดเป็น 25.0 เปอร์เซนต์
โรงงานของท่านมีการใช้งานเครื่องมือวัดความชื้นข้าวชนิดมือบิตทั้งหมดจำนวนกี่เครื่อง	1.มีใช้งาน 1 – 2 เครื่อง คิดเป็น 45.5 เปอร์เซนต์
ท่านคาดว่าจะใช้เครื่องมือวัดความชื้นข้าวชนิดมือบิตไปอีกนานแค่ไหน	1.มากกว่า 5 ปี คิดเป็น 63.6 เปอร์เซนต์
ท่านคิดว่าเครื่องมือวัดความชื้นข้าวชนิดมือบิต ให้ผลการวัดเที่ยงตรงและแม่นยำมากน้อยแค่ไหน	1.พอใช้งานได้ คิดเป็น 45.5 เปอร์เซนต์ 1.ความเที่ยงตรงแม่นยำมาก คิดเป็น 27.3 เปอร์เซนต์

2. ผลการสำรวจความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) และอุณหภูมิ (Temperature) ภาคสนาม 3 ฤดู เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบการทดลอง โดยทำการเก็บข้อมูลในเขตพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ ขั้นตอนในการเก็บข้อมูลผู้ทำการวิจัยกำหนดให้การทดลองนี้เก็บค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ ใน 1 ฤดู ให้เก็บค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิห่างกันโดยความถี่ข้อมูลละ 1 ชั่วโมง เพื่อที่จะนำความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิต่ำเฉลี่ย มาใช้ในการออกแบบการทดลอง

ตารางที่ 3 ผลการเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity)และอุณหภูมิ(Temperature)ในภาคสนาม

ช่วงเวลา (นาฬิกา)	ความถี่ ที่พบใน การซื้อ ขาย	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ค่าเฉลี่ย อุณหภูมิ	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)			ค่าเฉลี่ย ความชื้น
		ฤดู หนาว	ฤดู ร้อน	ฤดู ฝน		ฤดู หนาว	ฤดู ร้อน	ฤดู ฝน	
08.00	2	25.8	26.4	30.9	27.7	50	46	76	57.3
09.00	5	26.0	27.2	31.8	28.3	49	53	71	57.7
10.00	7	26.7	28.2	33.5	29.5	49	49	63	53.7
11.00	7	29.7	35.6	36.6	34.0	45	56	57	52.7
12.00	5	37.6	40.6	37.1	38.4	37	60	51	49.3
13.00	10	41.1	41.3	39.8	40.7	32	52	45	43.0
14.00	9	39.7	41.5	42.4	41.2	35	60	38	44.3
15.00	10	39.2	42.8	42.5	41.5	35	58	37	43.3
16.00	9	32.1	40.5	41.5	38.0	42	51	37	43.3
17.00	8	27.0	38.9	40.2	35.4	50	49	35	44.7
Average		32.5	36.3	37.6	35.5	42.4	53.4	51.0	48.9
Max		41.1	42.8	42.5	42.8	50.0	60.0	76.0	76.0
Min		25.8	26.4	30.9	25.8	32.0	46.0	35.0	32.0

จากตารางที่ 3 ผลการเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์(Humidity)และอุณหภูมิ (Temperature) ในอากาศของสภาวะสนาม 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน (10 เมษายน 2564) ฤดูฝน (31 กรกฎาคม 2564) ฤดูหนาว (09 มกราคม 2564) ค่าเฉลี่ยที่ได้นำมาใช้ในการออกแบบการทดลอง เพื่อที่จะศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อผลการวัดและผลการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นแบบพหุนาม

ตารางที่ 4 เวลาที่นำมาออกแบบการทดลอง เป็นผลที่ได้จากการเก็บความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) และอุณหภูมิ (Temperature) ในสภาวะสนามทั้ง 3 ช่วงฤดู

ช่วงเวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิ (Temperature) (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) (%RH)
11.00 น.	34.0	52.7
15.00 น.	41.5	43.3

จากตารางที่ 4 มาทำการกำหนดช่วงเวลาในการออกแบบการทดลอง ได้ทำการวิเคราะห์การทำงานช่วงเวลาการทำงานของโรงสีนั้นเป็นเวลาหลัง 08.00 น. จากการที่ได้สอบถามชาวนาเวลาซื้อขายมีผลต่อราคาซื้อขาย คือเวลา 11.00 น. และ 15.00 น. ผู้วิจัยจึงได้กำหนดเวลาในการสอบเทียบภาคสนามเป็น 11.00 น. และ 15.00 น. และได้ตัดเวลา 08.00 น. ออกเนื่องจากเวลานี้ยังไม่มีการทำงานของโรงสี และการนำข้าวเปลือกมาขายของชาวนา

ผลการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment หรือ DOE)

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ Full Factorial Design จะแบ่งออกเป็น 3 สภาวะคือ

1. สภาวะห้องปฏิบัติการสอบเทียบความชื้น 50%RH ขั้นตอนการออกแบบการทดลองในสภาวะนี้ถูกกำหนดขึ้นจากความสามารถในการควบคุมบรรยากาศของห้องปฏิบัติการและสภาวะที่วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) กำหนดให้ใช้ในการทดสอบหรือสอบเทียบ เพื่อต้องการที่จะทดสอบว่าความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) และอุณหภูมิ (Temperature) ภายในห้องปฏิบัติการจะส่งผลกระทบต่ออย่างไรกับผลการวัดที่อ่านจากเครื่องมือวัดความชื้นข้าวเปลือกชนิดมือปิดและวัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM))

2. สภาวะควบคุมความชื้น 30%RH, 85%RH ขั้นตอนการออกแบบการทดลองในสภาวะนี้ถูกกำหนดขึ้นจากความสามารถในการสร้างความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) ภายในตู้ (Chamber) สร้างความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) และอุณหภูมิ (Temperature) ของห้องปฏิบัติการ เพื่อต้องการที่จะทดสอบว่าความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) และอุณหภูมิ

(Temperature)ที่ต่ำที่สุดและสูงที่สุดที่ผู้สร้างความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity)และอุณหภูมิ (Temperature) สามารถสร้างได้นั้น จะส่งผลกระทบอย่างไรกับผลการวัดที่อ่านจากเครื่องมือวัดความชื้นข้าวเปลือกชนิดมือปิดและวัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM))

3. สภาวะสนาม เวลา 11.00 น.และ15.00 น. ขั้นตอนการออกแบบการทดลองในสภาวะนี้ ผู้ทำการวิจัยได้นำผลจากการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิ(Temperature)และความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) ในแต่ละช่วงฤดู ตามตารางที่ 2 โดยคำนึงถึงความถี่และสภาพการทำงานจริงที่โรงสีรับซื้อข้าวและชาวนานำข้าวมาขาย เพื่อต้องการที่จะทดสอบว่าเวลา 11.00น.และ 15.00น. ความชื้นสัมพัทธ์(Humidity)และอุณหภูมิ(Temperature)ส่งผลกระทบต่อผลการวัด ของเครื่องมือวัดความชื้นข้าวเปลือกชนิดมือปิดและวัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM))

งานวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ Full Factorial Design ผู้ทำการวิจัยทำการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ว่าตัวแปรต้นปัจจัยใดที่มีผลกระทบต่อผลการวัด ซึ่งก็มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ โสภิตา ท่วมมี [4] ซึ่งใช้การออกแบบการทดลองนี้ในการแก้ปัญหาของเมล็ดพืชไม่ห่อหุ้มผลผลิตที่เกิดขึ้นที่ผิวผลิตภัณฑ์ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านข้อกำหนดโดยการออกแบบการทดลองและทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบซึ่งได้ทำการแก้ไขปัญหานี้กับเครื่องจักรและวิธีการทำงาน

ตารางที่ 6 การกำหนดตัวแปรในการออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial Design

ตัวแปรต้น	A : อุณหภูมิ(Temperature)ของสภาวะ (°C) B : วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) C : ความชื้นของสภาวะ(%RH) D : ช่วงเวลาการวัด (Time)
ตัวแปรตาม	E : ผลการวัดความชื้นข้าวเปลือก (%mc)
ตัวแปรควบคุม	F : เครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือกแบบมือปิด

ตารางที่ 7 ผลจากการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองในสภาวะห้องปฏิบัติการสอบเทียบความชื้น50%RH

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	233.419	77.806	1706.46	0.000
Linear	2	232.878	116.439	2553.75	0.000
A:อุณหภูมิ(Temperature)	1	1.204	1.204	26.41	0.000
B:วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM))	1	231.673	231.673	5081.09	0.000
2 Way Interactions	1	0.542	0.542	11.88	0.001
อุณหภูมิ(Temperature)*วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM))	1	0.542	0.542	11.88	0.001
Error	56	2.553	0.046		
Total	59	235.972			

จากตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นทราบว่าอุณหภูมิ(Temperature)ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบความชื้นและวัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) ส่งผลกระทบต่อเครื่องมือวัดความชื้นข้าวเปลือกชนิดมือบิด ($p < 0.05$)

ตารางที่ 8 ผลจากการวิเคราะห์จากการออกแบบการทดลองในสภาวะควบคุมความชื้น 30%RH,85%RH

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	412.164	58.881	2738.63	0.000
Linear	3	402.436	134.145	6239.32	0.000
A: อุณหภูมิ(Temperature)	1	0.385	0.385	17.92	0.000

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
B: วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM))	1	309.123	309.123	14377.81	0.000
C: ความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) (Humidity)	1	92.928	92.928	4322.23	0.000
2 - Way Interactions	3	7.647	2.549	118.56	0.001
อุณหภูมิ(Temperature)* วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM))	1	0.243	0.243	11.30	0.001
อุณหภูมิ(Temperature)* ความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity)	1	2.028	2.028	94.33	0.000
วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM))*ความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity)	1	5.376	5.376	250.06	0.000
3 - Way Interactions	1	2.080	2.080	96.76	0.000
อุณหภูมิ(Temperature)* วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM))*ความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity)	1	2.080	2.080	96.76	0.000
Error	112	2.408	0.022		
Total	119	414.572			

จากตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ (Temperature) และความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) ในสภาวะควบคุมความชื้น 30%RH, 85%RH, วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) จะส่งผลกระทบต่อเครื่องมือวัดความชื้นข้าวเปลือกชนิดมือบิด รวมไปถึง 2-Way Interactions, 3-Way Interactions ก็ส่งผลกระทบต่อผลการวัดด้วย ($p < 0.05$)

ตารางที่ 9 ผลจากการวิเคราะห์จากการออกแบบการทดลองสภาวะสนาม

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	290.598	96.866	2883.61	0.000
Linear	2	287.526	143.763	4279.69	0.000
B: วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM))	1	286.443	286.443	8527.13	0.000
D: เวลา	1	1.083	1.083	32.24	0.000
2 Way Interactions	1	3.072	3.072	91.45	0.001
วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM))* เวลา	1	3.072	3.072	91.45	0.001
Error	116	3.897	0.034		
Total	119	294.495			

จากตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าวัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) และเวลาในสภาวะสนามส่งผลกระทบต่อเครื่องมือวัดความชื้นข้าวเปลือกชนิดมือบิด รวมไปถึง 2-Way Interactions ก็ส่งผลกระทบต่อผลการวัดด้วย ($p < 0.05$)

ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดความชื้นชนิดมือบิด

ผลการสอบเทียบสภาวะห้องปฏิบัติการสอบเทียบความชื้น 50%RH สภาวะควบคุมความชื้น 30%RH, 85%RH และสภาวะสนาม เวลา 11.00น. และ 15.00น. โดยใช้สถิติ t-Distribution ที่ความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 10-12

ตารางที่ 10 ผลการประมาณค่าความไม่แน่นอนจากการวัดสภาวะห้องปฏิบัติการสอบเทียบความชื้น 50%RH

วัสดุอ้างอิง รับรอง (CRM)	สภาวะ ห้องปฏิบัติการ สอบเทียบ	ค่าที่อ่าน ได้ (%mc)	Error (%mc)	S.D.	ค่าความไม่ แน่นอนจาก การวัด (%mc) $U_{95\%}$
14.18%mc	50%RH @ 23 °C	14.7	0.52	0.0556	0.72
	50%RH @ 25 °C	15.1	0.92	0.0584	0.72
17.95%mc	50%RH @ 23 °C	18.8	0.85	0.0511	0.53
	50%RH @ 25 °C	18.9	0.95	0.0551	0.53

จากตารางที่ 10 ผลการวัดโดยใช้วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) 14.18%mc และ 17.95 %mc โดยคงที่ความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) ภายในห้องปฏิบัติการที่ 50%RH พบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Temperature) 2 องศาเซลเซียส ไม่ส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอน

ตารางที่ 11 ผลการประมาณค่าความไม่แน่นอนจากการวัดสถานะควบคุมความชื้น 30%RH,85%RH

วัสดุอ้างอิง รับรอง (CRM)	สถานะควบคุม ความชื้น	ค่าที่อ่าน ได้ (%mc)	Error (%mc)	S.D.	ค่าความไม่ แน่นอนจาก การวัด (%mc) $U_{95\%}$
14.18%mc	30%RH @ 23 °C	14.6	0.44	0.046	0.91
	30%RH @ 25 °C	13.9	-0.29	0.0284	0.91
	85%RH @ 23 °C	15.4	1.25	0.0374	0.54
	85%RH @ 25 °C	15.8	1.57	0.0291	0.54
	30%RH @ 23 °C	17.1	-0.90	0.0435	0.91
17.95%mc	30%RH @ 25 °C	17.0	-0.92	0.0270	0.91
	85%RH @ 23 °C	19.2	1.29	0.0375	0.53
	85%RH @ 25 °C	19.2	-2.20	0.0477	0.53

จากตารางที่ 11 เมื่อใช้วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) 14.18%mc และความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) 30 %RH เมื่ออุณหภูมิ (Temperature) ต่างกัน 2 องศาเซลเซียส ค่าความไม่แน่นอนจากการวัดไม่มีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) แต่เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) เปลี่ยนเป็น 85 %RH เมื่ออุณหภูมิ (Temperature) ต่างกัน 2 องศาเซลเซียส ค่าความไม่แน่นอนจากการวัด และเมื่อใช้วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) 17.95%mc และความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) 30 %RH ค่าความไม่แน่นอนจากการวัดไม่มีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) แต่เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) เปลี่ยนเป็น 85 %RH เมื่ออุณหภูมิ (Temperature) ต่างกัน 2 องศาเซลเซียส ค่าความไม่แน่นอนจากการวัด

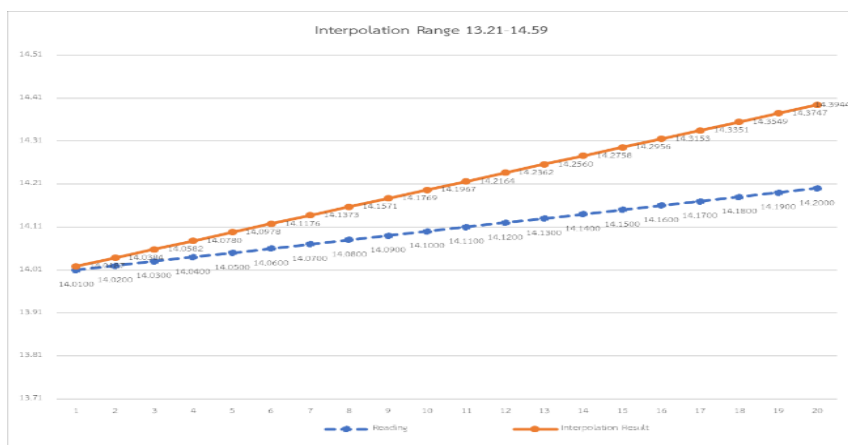
ตารางที่ 12 ผลการประมาณค่าความไม่แน่นอนจากการวัดสถานะสนาม

วัสดุอ้างอิง รับรอง (CRM)	สถานะสนาม (เวลา)	ค่าที่อ่าน ได้ (%mc)	Error (%mc)	S.D.	ค่าความไม่ แน่นอนจาก การวัด (%mc) $U_{95\%}$
14.18%mc	11.00 น.	13.9	-0.031	0.0414	0.42
	15.00 น.	14.0	-0.18	0.0540	0.64
17.95%mc	11.00 น.	17.3	-0.67	0.0473	0.52
	15.00 น.	16.8	-1.18	0.0457	0.52

จากตารางที่ 12 เมื่อใช้วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) 14.18%mc และเวลา 11.00 น. และ 15.00 น. ที่ใช้ในการสอบเทียบส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของผลการวัดและค่าความไม่แน่นอนจากการวัดแตกต่างกัน ($p < 0.05$) แต่เมื่อใช้วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) 17.95%mc พบว่าค่าความไม่แน่นอนจากการวัดไม่แตกต่างกัน ($p < 0.05$)

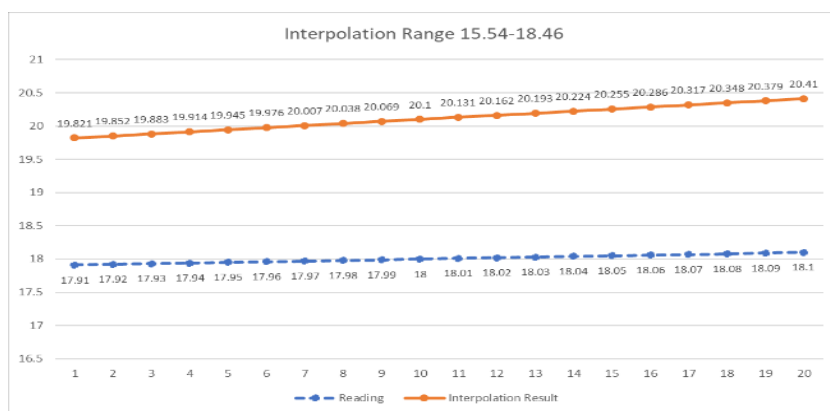
ผลการประมาณค่าความในช่วงเชิงเส้นแบบพหุนาม (Linear Interpolation)

ผู้ทำการวิจัยทำการหาค่า Tolerance ของสถานะสนามโดยทำการแบ่งการแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ 13.21 – 14.59 ได้มาจากการวัด 30 ค่าในสถานะสนาม โดยใช้วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) 14.18%mc และ 15.54 – 18.46 ได้มาจากการวัด 30 ค่าในสถานะสนาม โดยใช้วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) 17.95 %mc จากนั้นจึงกำหนดค่า Minimum และ Maximum เพื่อใช้ในการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นแบบพหุนาม โดย T. Blu และคณะ [5] ได้ทำการปรับปรุงการประมาณค่าแบบต่อเนื่อง-เชิงเส้น ด้วยเงื่อนไขแบบสม่ำเสมอและยังสามารถยืนยันการค้นพบทางทฤษฎีโดยได้ทำการทดลองหลายอย่างอีกด้วย



ภาพที่ 1 กราฟแสดงผลการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นแบบพหุนามในช่วง 13.21 – 14.59 โดยใช้วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) 14.18%mc

จากรูปที่ 1 การประมาณค่าในช่วงโดยใช้วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) 14.18%mc ผลการวัดที่อ่านได้ (เส้นประสีน้ำเงิน) ผลจากการประมาณค่าในช่วง (เส้นสีส้ม) มีความแตกต่างเฉลี่ยในช่วงมีแนวโน้มลดลงแต่ไม่เกินระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังตารางที่ 14



ภาพที่ 2 กราฟแสดงผลการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นแบบพหุนามในช่วง 15.54 – 18.46 โดยใช้วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) 17.95%mc

จากภาพที่ 2 การประมาณค่าในช่วงโดยใช้วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) 17.95%mc ผลการวัดที่อ่านได้ (เส้นประสีน้ำเงิน) ผลจากการประมาณค่าในช่วง (เส้นสีส้ม) มีค่าความแตกต่างเฉลี่ยในช่วงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเกินระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตามตารางที่ 14)

ตารางที่ 13 ผลก่อนและหลังทำการปรับปรุงค่าความคลาดเคลื่อน

ผลก่อนและหลังการปรับปรุง	วัสดุอ้างอิงรับรอง	
	14.18%mc	17.95%mc
ผลก่อนการปรับปรุง A	13.93%mc	17.02%mc
ค่าความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับปรุง A1	-0.25%mc	-0.93%mc
ผลหลังการปรับปรุง B	14.2527%mc	19.3117%mc
ค่าความคลาดเคลื่อนหลังการปรับปรุง B1	0.0727%mc	1.3617%mc

จากตารางที่ 14 ผลก่อนการปรับปรุงค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) 14.18%mc มีค่าเท่ากับ -0.25 %mc และ 17.95%mc มีค่าเท่ากับ -0.93 %mc ผลหลังการปรับปรุงค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) 14.18%mc มีค่าเท่ากับ 0.0727 %mc และ 17.95%mc มีค่าเท่ากับ 1.3617 %mc โดยหลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงค่าความคลาดเคลื่อนแล้ว ตามลำดับ

ตารางที่ 14 แสดงผลเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นแบบพหุนาม

ช่วงที่ทำการประมาณค่า ในช่วงเชิงเส้นแบบพหุนาม	% ความแตกต่างเฉลี่ยในช่วงเชิงเส้นแบบพหุนาม	
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
13.21 – 14.59 %mc	-0.5965 %	-0.5100 %
15.54 – 18.46 %mc	-0.3564 %	-7.0511 %

วิจารณ์

1. สภาวะห้องปฏิบัติการสอบเทียบความชื้น 50%RH ผลการวัดที่ได้แม้ว่าจะมีความคลาดเคลื่อนจากมาตรฐาน แต่ค่าความไม่แน่นอนจากการวัดจะไม่เปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ(Temperature) 2 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงของค่าความไม่แน่นอนจากการวัดในสภาวะห้องปฏิบัติการสอบเทียบความชื้น 50%RH จะเกิดขึ้นก็เมื่อเปลี่ยนวัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) (CRM)เท่านั้น

2. สภาวะควบคุมความชื้น 30%RH,85%RH ผลการวัดที่ได้แม้ว่าจะมีความคลาดเคลื่อนจากมาตรฐาน แต่ค่าความไม่แน่นอนจากการวัดจะไม่เปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ(Temperature) 2 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงของค่าความไม่แน่นอนจากการวัดในสภาวะควบคุมความชื้น 30%RH,85%RH นั้นจะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity)ที่ใช้ในการทดลอง

3. สภาวะสนาม

a. จากการใช้วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) 14.18%mc ผลการวัดที่ได้แม้ว่าจะมีความคลาดเคลื่อนจากมาตรฐานและค่าความไม่แน่นอนจากการวัดก็มีเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาทดสอบ โดยในช่วงเวลาที่ทำการทดลองในสภาวะสนามจะมีอุณหภูมิ(Temperature)และความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity)โดยเฉพาะในวันนั้น

b. จากการใช้วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials (CRM)) 17.95%mc ผลการวัดที่ได้แม้ว่าจะมีความคลาดเคลื่อนจากมาตรฐานแต่ค่าความไม่แน่นอนจากการวัดก็ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาทดสอบ

ข้อเสนอแนะงานวิจัย

1. เครื่องมือวัดความชื้นข้าวเปลือกชนิดมือบิด ยังมีการนำไปใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบเครื่องสำอาง ดังนั้นจึงควรทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดที่มีต่อเครื่องสำอาง

2. โดยการหาสภาวะที่เหมาะสม (Optimization) ในการวัดความชื้นข้าวเปลือกในสภาวะสนาม เพื่อการให้ได้จุดที่เหมาะสมที่สุดในการซื้อขายข้าวเปลือก โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

3. โดยทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดความชื้นข้าวเปลือกชนิดมือบดเทียบค่ากับเครื่องมือวัดความชื้นข้าวเปลือกแบบถ้วยตวงและแบบถ่วงน้ำหนัก ในสภาวะสนาม เพื่อการออกแบบเครื่องมือวัดความชื้นข้าวในภาคสนามที่มีความแม่นยำและเหมาะสมกับการใช้งานจริงและเป็นที่ยอมรับต่อทางราชการ และลดการนำเข้าเครื่องมือจากต่างประเทศ

4. โดยการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของราคาข้าวเปลือกในสภาวะสนาม ซึ่งเป็นสภาวะที่มีการซื้อขายข้าวเปลือกกันจริง

ข้อดีของงานวิจัย

1. การชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัด
2. การสอบเทียบในสภาวะสนาม ทำให้ทราบว่ามีความคลาดเคลื่อนของผลการวัดในทิศทางใด

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยทั้ง 2 ข้อที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น จึงสามารถสรุปได้ว่า

1. การสอบเทียบและการประมาณค่าความไม่แน่นอนจากการวัด ผู้ใช้งานสามารถที่จะสอบเทียบและประมาณค่าได้ด้วยตนเองในสภาวะห้องปฏิบัติการสอบเทียบความชื้น 50%RH โดยอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง 2 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อค่าความไม่แน่นอนจากการวัด

2. จากผลการสอบเทียบในสภาวะสนามสามารถที่จะปรับปรุงค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดโดยวิธีการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นแบบพหุนาม ในช่วงความชื้นของวัสดุอ้างอิง 13.21 – 14.59 %mc เพราะเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างยังไม่เกินระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่เมื่อช่วงความชื้นของวัสดุอ้างอิงรับรอง 15.54 – 18.46 %mc พบว่าเกินระดับนัยสำคัญ 0.05

3. ผลการวิเคราะห์พบว่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ ส่งผลกระทบท่อผลการวัดในสภาวะสนาม

เอกสารอ้างอิง

1. วันชัย ชินชูศักดิ์. เทคนิคการประมาณค่าความไม่แน่นอนของระบบสอบเทียบสายวัด [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ]. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2561.
2. Lawal SS, Bala KC, Adeyemi MB. Development of resistance type moisture measuring device for grains. Leonardo Electron J Pract Technol. 2017;30:255-68.
3. มาตยาวิ นวมทอง. ผลของภูมิอากาศต่อการเติบโตของสนท้องถิ่นและสนต่างถิ่น สถานีวนวัฒนวิจัยอินทนิล จังหวัดเชียงใหม่ [ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2563.
4. โสภิตา ท่วมมี. การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่นโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง : กรณีศึกษา บริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2551.
5. T. Blu , P.Thevenaz , M.Unser. Linear interpolation revitalized. IEEE Xplore (Journals & Magazines) Volume: 13, Issue: 5, May 2004.