

Received: March 5, 2025; Revised: May 13, 2025; Accepted: May 22, 2025

การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าสถานะที่เหมาะสมของกระบวนการขึ้นรูปถ่านดุดกลิ่น จากเปลือกมังคุด

Design of experiment for evaluation the optical condition in deodorizing charcoal forming from mangosteen peel

วัชนะชัย จุมผา^{1*}, จิดาภา โฮจัน¹, พงศกร รอดศิลา¹, สหรัฐ วิโคตร¹ และสมศักดิ์ แก้วพลอย^{2*}
Watchanachai Joompha^{1*}, Jidapha Hojeen¹, Pongsakorn Rodsila¹, Saharat Wikhot¹
and Somsak Kaewploy^{2*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี

¹Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamanga University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi campus, Chanthaburi Province.

²คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา

²Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla Province.

*Corresponding Author E-mail Address: watchanachai_jo@rmutto.ac.th, somsak.ka@skru.ac.th

บทคัดย่อ

เนื่องจากถ่านดุดกลิ่นจากเปลือกมังคุดเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาสร้างมูลค่าเพิ่ม ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและยังช่วยส่งเสริมผลิตภัณฑ์ชุมชนอีกด้วย โดยการนำมาจัดทำเป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ แต่เนื่องจากเป็นกลุ่มชาวบ้านที่รวมตัวกัน ซึ่งจะใช้วิธีการลองผิดลองถูกจนได้อัตราส่วนที่เหมาะสม ทำให้ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของถ่านดุดกลิ่นได้ ส่งผลให้ถ่านดุดกลิ่นขึ้นรา ซึ่งมีสาเหตุมาจากมีความชื้นสูง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้น และเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปถ่านดุดกลิ่นจากเปลือกมังคุด โดยการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ ชนิดของตัวประสาน อัตราส่วนผสม และเวลาที่ใช้ในการอบ โดยชนิดของตัวประสานมี 2 ระดับ ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า อัตราส่วนผสมระหว่างตัวประสานต่อเปลือกมังคุดมี 3 ระดับ ได้แก่ 80, 100 และ 120 กรัม และ เวลาที่ใช้ในการอบ มี 3 ระดับ ได้แก่ 8, 10 และ 12 ชั่วโมง และมีการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ผลจากการศึกษาวิจัยพบว่า เวลาที่ใช้ในการอบ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้น ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ และความผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซนต์ และพบว่าอัตราส่วนที่ทำให้ถ่านดุดกลิ่นจากเปลือกมังคุดมีความชื้นน้อยที่สุด ได้แก่ เปลือกมังคุด 800 กรัม แป้งข้าวเจ้า 100 กรัม และ เวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมง

คำสำคัญ: การอบแห้ง ถ่านดุดกลิ่น เปลือกมังคุด การออกแบบการทดลอง

Abstract

Mangosteen peel odor-absorbing charcoal adds value to agricultural waste, aligning with the circular economy and supporting community products through the One Tambon One Product initiative (OTOP). However, due to the trial-and-error methods used by OTOP groups, quality control is inconsistent, leading to mold growth caused by high moisture content. This research aimed to address this problem by

investigating factors affecting moisture levels and identifying the optimal formulation through an experimental design involving three factors: starch type (Tapioca starch and rice flour), mixing ratio (80, 100, and 120 grams), and aging time (8, 10, and 12 hours), with three experimental replicates. The results revealed that only aging time significantly influenced moisture content at a 95% confidence level with an error margin of 5%, and the best formulation consists of 800 grams of mangosteen peel, 100 grams of rice flour, and aging time of 12 hours.

Keywords: Drying, Deodorizing charcoal, Mangosteen peel, Design of experiment

บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมาอย่างยาวนาน ประชากรของประเทศโดยส่วนใหญ่มีอาชีพเกษตรกรรม เช่น ทำนา ทำสวน ทำไร่ และเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น ทำให้มีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก เช่น ข้าว ยางพารา ข้าวโพด อ้อย มันสำปะหลัง ทุเรียน และมังคุด เป็นต้น นอกจากผลผลิตทางการเกษตรแล้วยังมีวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรเป็นจำนวนมากเช่นเดียวกัน เช่น ฟางข้าว ชังข้าวโพด เปลือกทุเรียน เปลือกมังคุด เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ และเปลือกมังคุด เป็นต้น โดยจะมีความแตกต่างกันไปตามพื้นที่ หลังฤดูกาลเก็บเกี่ยวก็จะมีการเผาหรือทำลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้วิธีการเผาทำลาย เนื่องจากง่ายและสะดวก รวมทั้งเห็นผลเร็ว แต่การเผาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรส่งผลทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ โดยเฉพาะฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่ในเมืองใหญ่ ๆ รวมทั้งทำให้เกิดความสูญเสียทางด้านเศรษฐกิจ เนื่องจากการใช้ทรัพยากรไม่คุ้มค่า

การนำผลผลิตทางการเกษตรหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีอยู่จำนวนมากมาแปรรูปหรือทำให้เป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) เป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยให้มีการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่า รวมทั้งเป็นการช่วยให้คนในชุมชนหรือเกษตรกรในท้องถิ่นมีรายได้และเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้ผลผลิตทางการเกษตร ดังเช่นงานวิจัยของ Jittabut et al. (2020) ได้นำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งได้แก่ ฟางข้าว และใบอ้อย มาทำเป็นแผ่นวัสดุเพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ และงานวิจัยของ Namee and Seak (2023) ได้นำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งได้แก่ ชี้อย่อย ไม้ยางพารา ฟางข้าว และใบอ้อย มาจัดทำเป็นวัสดุสำหรับเพาะเห็ด และงานวิจัยของ Mongkoldhumrongkul (2024) ได้นำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งได้แก่ เปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด มาทำเป็นถ่านอัดแท่งจากชีวมวล รวมทั้งงานวิจัยของ Kumpapai et al. (2020) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ กากอ้อย ชี้อย่อยยางพารา ชังข้าวโพด ฟางข้าว ใบไม้ยางพารา และเศษไม้ยางพารา ผสมกับตัวประสาน ได้แก่ ตะกอนแบ่งมันสำปะหลัง ผลจากการศึกษาพบว่าเศษไม้ยางพาราผสมกับตะกอนแบ่งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 0.50:0.50 เป็นเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

ถ่านดุกกลินเป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) ชนิดหนึ่งที่เกิดจากภูมิปัญญาของชาวบ้านและมีการสืบทอดมาตั้งแต่อดีต โดยใช้เป็นผลิตภัณฑ์ในการดูดซับกลิ่นเหม็นอับต่าง ๆ เช่น ตู้เย็น ตู้กับข้าว ตู้รองเท้า และตู้เสื้อผ้า เป็นต้น นอกจากสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรแล้ว การนำเปลือกมังคุดมาทำเป็นถ่านดุกกลินยังเป็นการสร้างรายได้ให้กับคนในท้องถิ่น โดยนำผลไม้ที่ไม่ได้คุณภาพหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ มาเผาจนเป็นถ่าน แล้วนำถ่านมาบดให้มีความละเอียด อาจเติมสมุนไพรที่มีคุณสมบัติในการดูดกลิ่นเพิ่มเติม เช่น ชา และ สะเดา เป็นต้น แล้วบรรจุลงในภาชนะหรืออัดเป็นรูปทรงต่าง ๆ ซึ่งถ่านดุกกลินมีหลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับผลผลิตทางการเกษตร หรือวัสดุเหลือใช้ของแต่ละท้องถิ่นนั้น ๆ ดังเช่นงานวิจัย Srihawattanakul et al. (2017) ได้นำถ่านไม้โกงกางมาทำเป็นถ่านดุกกลิน งานวิจัยของ Piyang and Khuawaraphan (2019) ได้นำก้านและใบจากมาทำถ่านดุกกลิน และงานวิจัย Khiaomang (2024) ได้นำเหง้ามันสำปะหลังทำเป็นถ่านดุกกลิน รวมทั้งงานวิจัยของ Pianjing et al. (2023) ได้นำผลจากที่แก่จัดและกะลาจาก มาทำเป็นถ่านดุกกลิน

การนำเปลือกมังคุดมาทำเป็นถ่านดุกกลินจึงนับว่าเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้อย่างคุ้มค่า เนื่องจากประเทศไทยมีพื้นที่ในการเพาะปลูกมังคุดจำนวนมาก โดยเฉพาะจังหวัดจันทบุรี แต่ละปีจะมีมังคุดร่วงหรือมังคุดต่ำกว่ามาตรฐานเป็นจำนวนมาก นอกจากนั้นบางปีก็ราคาตกต่ำ เนื่องจากมีผลผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก รวมทั้งการนำเปลือกมังคุดมาทำเป็นถ่านดุกกลินของกลุ่มผู้ประกอบการ OTOP ที่ผ่านมานั้นอาศัยประสบการณ์ โดยการลองผิดลองถูกทำให้ถ่านดุกกลินที่ได้ไม่มีประสิทธิภาพและไม่ได้มาตรฐาน เนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปของถ่านดุกกลินจากเปลือกมังคุดนั้นมีอยู่หลายปัจจัย เช่น ชนิดของตัวประสาน อัตราส่วนผสม และเวลาที่ใช้ในการอบ เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการ

ออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE) เพื่อหาปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปถ่านดุกกลั่น เนื่องจากการออกแบบการทดลองเป็นการทดลองเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยเปลี่ยนแปลงของตัวแปรนำเข้า (Input variables) ในระบบที่สนใจ เพื่อที่จะสามารถทำให้สังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ (Responses) (Sudasma-Na-Ayudhya and Luangpaiboon, 2008) ซึ่งจะช่วยให้ทราบปัจจัยหรือสภาวะที่เหมาะสม ดังเช่นงานวิจัยของ Khwunsakun (2022) ที่ได้ทดลองหาแปลงผักกาดที่มีประสิทธิภาพ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completeness Randomized Design; CRD) โดยกำหนดให้มี 4 การทดลอง แต่ละการทดลองมี 3 ซ้ำ ผลจากการทดลองทำให้ได้แปลงผักที่มีความเหมาะสม และงานวิจัยของ Wongsuwan et al. (2020) ที่ได้ทดลองหารูปทรงของบล็อกปูพื้นและอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของวัสดุที่ใช้ทำบล็อกปูพื้นระหว่างพลาสติกชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) ต่อทรายหรือหิน ผลจากการทดลองทำให้ได้รูปทรงบล็อกปูพื้นและอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม และงานวิจัยของ Sittiwong et al. (2023) ที่ได้ทดลองหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 1 สูบ 4 จังหวะ ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ผลจากการทดลองทำให้ความเร็วรอบที่มีอัตราสิ้นเปลืองต่ำที่สุด จึงสามารถสรุปได้ว่าการทดลองจะช่วยให้สามารถศึกษาสภาวะหรือปัจจัยที่เหมาะสมได้ การขึ้นรูปถ่านดุกกลั่นก็เช่นเดียวกันที่ต้องทดลองหาสภาวะและอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม เนื่องจากที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำเปลือกมังคุดไปจัดทำเป็นถ่านดุกกลั่นค่อนข้างน้อย แต่มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำเปลือกมังคุดไปทำถ่านอัดแท่ง ดังเช่นงานวิจัยของ Boonchom et al. (2020) ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและอัตราการดูดซับความชื้นของถ่านจากผลไม้ 6 ชนิด คือ สับปะรด เปลือกทุเรียน ข้าวโพด ถั่วลิสง มังคุด และเงาะ และงานวิจัยของ Pansuwan et al. (2012) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผ่นยางดูดซับกลิ่น โดยได้ศึกษาผงถ่านไม้ 3 ชนิด ได้แก่ ไม้มะขาม ไม้ไผ่ และไม้ผสม ผลการศึกษาพบว่าปริมาณผงถ่านที่เพิ่มขึ้นและอนุภาคของผงถ่านที่ใหญ่ขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่นเพิ่มขึ้นด้วย รวมทั้งงานวิจัยของ Jahmah et al. (2020) ได้ศึกษาอัตราส่วนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสมระหว่างเปลือกมังคุดต่อกะลา และผักตบชวาต่อกะลา

ดังนั้นเพื่อเป็นหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปถ่านดุกกลั่นจากเปลือกมังคุด ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้นของถ่านดุกกลั่นและเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปถ่านดุกกลั่น โดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลอง (DOE) ซึ่งกำหนดให้มี 3 ปัจจัยได้แก่ ชนิดของตัวประสาน อัตราส่วนผสม และเวลาที่ใช้ในการอบ โดยชนิดของตัวประสาน มี 2 ระดับ ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า ส่วนอัตราส่วนผสม มี 3 ระดับ ได้แก่ 80, 100 และ 120 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ มี 3 ระดับ ได้แก่ 6, 10 และ 12 ชั่วโมง โดยกำหนดให้ตัวแปรตอบสนองคือค่าความชื้นของถ่านดุกกลั่นจากเปลือกมังคุด แล้วนำถ่านดุกกลั่นจากเปลือกมังคุดที่มีค่าความชื้นน้อยที่สุดไปทดสอบค่าไอโอดีน เพื่อตรวจสอบความสามารถในการดูดซับกลิ่นของถ่านดุกกลั่นจากเปลือกมังคุด

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปถ่านดุกกลั่นจากเปลือกมังคุดนั้นมีอยู่หลายปัจจัย เช่น ตัวประสาน อัตราส่วนผสม และเวลาที่ใช้ในการอบ เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ รวมทั้งสอบถามปัญหาและอุปสรรคในการขึ้นรูปถ่านดุกกลั่นจากกลุ่มผู้ประกอบการ OTOP ถ่านดุกกลั่นจากเปลือกมังคุด เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวางแผนและออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (DOE)

เป็นการกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งตัวแปรตอบสนอง ซึ่งจากการศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำให้สามารถกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัย รวมทั้งตัวแปรตอบสนอง ได้ดัง Table 1

Table 1 Factor and level of factor, and responses

No	Factor	Unit	Level of factor	Responses
1	Type of flour	-	Tapioca starch, Rice flour	Moisture and iodine value
2	Percentage of binder	gram	80, 100, 120	
3	Aging time	hour	8, 10, 12	

การทดลอง

1. เตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ถ่านเปลือกมังคุด แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า ดัง Figure 1



(A) Mangosteen peel charcoal



(B) Tapioca starch



(C) Rice flour

Figure 1 Raw materials used in the experiment

2. การเตรียมถ่านมังคุด โดยการนำถ่านมังคุดมาบดด้วยเครื่องบด แล้วนำไปร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 0.25 มิลลิเมตร
3. การเตรียมตัวประสาน ซึ่งได้แก่ กาวแป้งเปียกที่ทำมาจากมันสำปะหลัง และกาวแป้งเปียกที่ทำมาจากแป้งข้าวเจ้า
 - 1) นำแป้งมันสำปะหลังหรือแป้งข้าวเจ้า มาชั่งในปริมาณ 80, 100 และ 120 กรัม ตามที่กำหนดไว้ จากนั้นนำไปผสมกับน้ำเปล่า 100 กรัม แล้วคนให้เข้ากัน
 - 2) เปิดเตาแก๊สและตั้งหม้อ หลังจากนั้นเทน้ำ 900 กรัม ลงในหม้อ โดยใช้ไฟอ่อนปานกลาง
 - 3) ร่อนน้ำร้อน แล้วนำตัวประสานที่ผสมกับน้ำ เทลงในหม้อ กวนให้เข้ากันจนเป็นแป้งเปียก
4. การผสมวัตถุดิบ นำถ่านมังคุดที่บดละเอียดแล้วมาชั่งน้ำหนักตามปริมาณที่กำหนด แล้วนำมาผสมกับกาวแป้งเปียก ทำการคลุกเคล้าให้เข้ากันจนมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด
5. การขึ้นรูปถ่านดูดกลิ่น โดยกรอกลงในแม่พิมพ์ซิลิโคน แล้วปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 วัน ดัง Figure 2
6. นำถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่ได้มาอบในตู้อบตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด



(A) Molding with silicone molds



(B) Deodorizing charcoal

Figure 2 Deodorizing charcoal from mangosteen peel

การทดสอบค่าความชื้นของถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุด

นำถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดมาวัดค่าความชื้น ด้วยเครื่องวัดความชื้น (Moisture analyzer) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น MA45 ผลิตจากประเทศเยอรมัน โดยมีหลักการทำงานคือวัดปริมาณความชื้นของถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุด โดยให้ความร้อนแก่ตัวอย่างด้วยระบบ Halogen lamp ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานเริ่มจากการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างด้วยหลอดฮาโลเจน และบันทึกการสูญเสียน้ำหนักอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งเกิดการอบแห้งอย่างเสร็จสมบูรณ์ หลังจากนั้นเครื่องจะคำนวณปริมาณความชื้นโดยอัตโนมัติจากความแตกต่างของน้ำหนักก่อนและหลังการให้ความร้อน และคำนวณค่าปริมาณความชื้นจาก

น้ำหนักที่ลดลง ซึ่งจะแสดงผลการคำนวณออกมาในรูปของร้อยละของน้ำหนักที่ลดลง (%L) ดัง Figure 3 โดยทดลองตามเงื่อนไขใน Table 1 และมีการทดลอง 3 ซ้ำ ทำให้มีการทดลองทั้งหมดเท่ากับ $2 \times 3 \times 3 \times 3 = 54$ การทดลอง



Figure 3 Moisture analyzer model MA45

การทดสอบค่าไอโอดีน

นำถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่มีค่าความชื้นน้อยที่สุดไปทดสอบค่าไอโอดีน (Iodine value) ตามมาตรฐาน AWWAB604 ซึ่งมาตรฐานที่กำหนดโดย American Water Works Association (AWWA) ตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.180/2563) (Thai industrial standard institute, 2020)

ผลการวิจัย

การทดสอบค่าความชื้น

ผลการทดสอบค่าความชื้นของถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน โดยมีอัตราส่วนระหว่างถ่านเปลือกมังคุดต่อแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็น 80, 100 และ 120 กรัม โดยใช้เวลาที่ใช้ในการอบ 8, 10 และ 12 ชั่วโมง ซึ่งมีผลการทดลองดัง Figure 4 และ Figure 5

ค่าความชื้นของถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่ทำมาแป้งมันสำปะหลัง

ผลการทดสอบค่าความชื้นของถ่านดูดกลิ่นด้วยเครื่องวัดความชื้น (Moisture analyzer) พบว่า ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานทั้ง 9 การทดลองนั้นมีค่าความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด และมีแนวโน้มที่ค่าความชื้นจะลดลงหากเพิ่มเวลาที่ใช้ในการอบให้นานขึ้น ดัง Figure 4

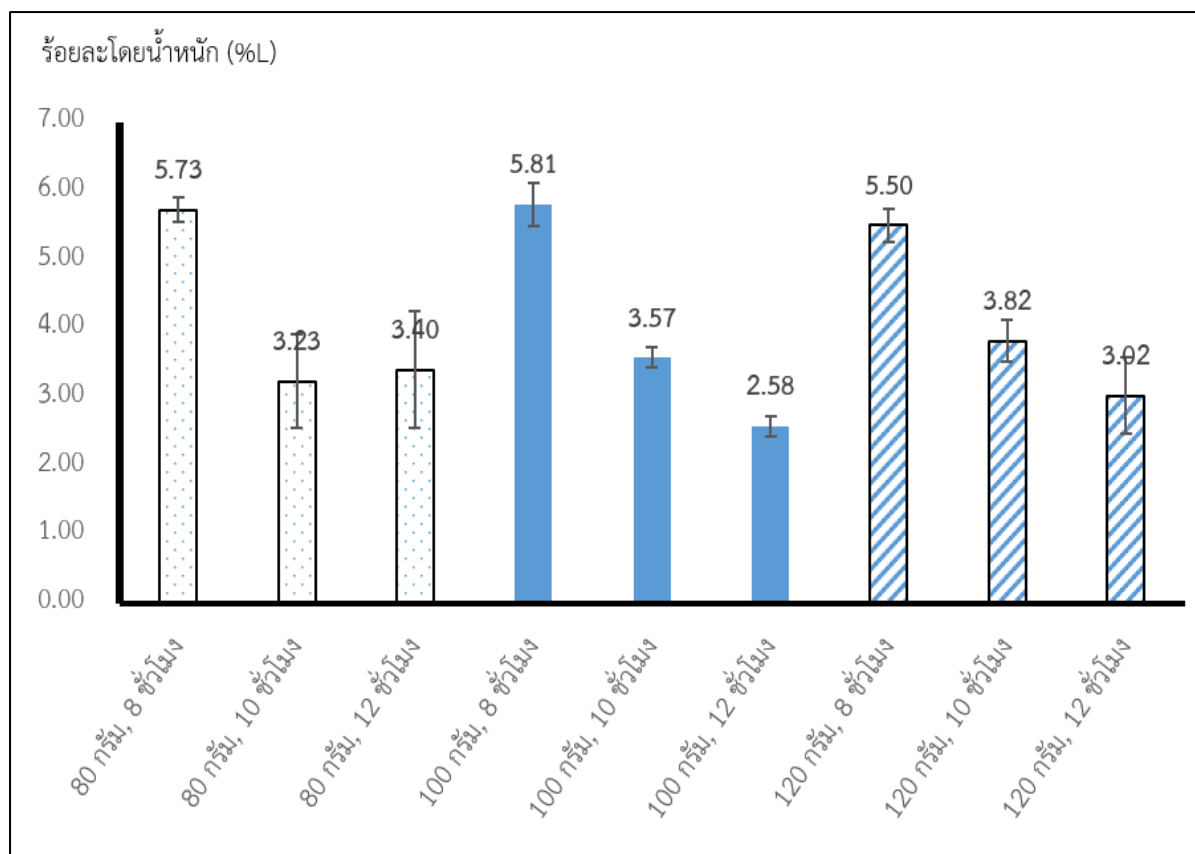


Figure 4 Moisture test results of odor absorbing charcoal from tapioca starch

จาก Figure 4 พบว่า ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่มีอัตราส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม และมีเวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมงนั้นมีค่าความชื้นน้อยที่สุด โดยมีค่าความชื้นเท่ากับ 2.58%L ลำดับถัดไป ได้แก่ ที่มีอัตราส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลัง 120 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมง ที่มีอัตราส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลัง 80 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 10 ชั่วโมง ที่มีอัตราส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลัง 80 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมง และที่มีอัตราส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 10 ชั่วโมง โดยมีค่าความชื้นเท่ากับ 3.02, 3.23, 3.40 และ 3.57%L (ตามลำดับ)

ค่าความชื้นของถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่ทำมาแป้งข้าวเจ้า

ผลการทดสอบค่าความชื้นของถ่านดูดกลิ่นด้วยเครื่องวัดความชื้น (Moisture analyzer) รุ่น MA45 พบว่า ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานทั้ง 9 การทดลองนั้นมีค่าความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด และมีแนวโน้มที่ค่าความชื้นจะลดลงหากเพิ่มเวลาในการอบให้นานขึ้น ดัง Figure 5

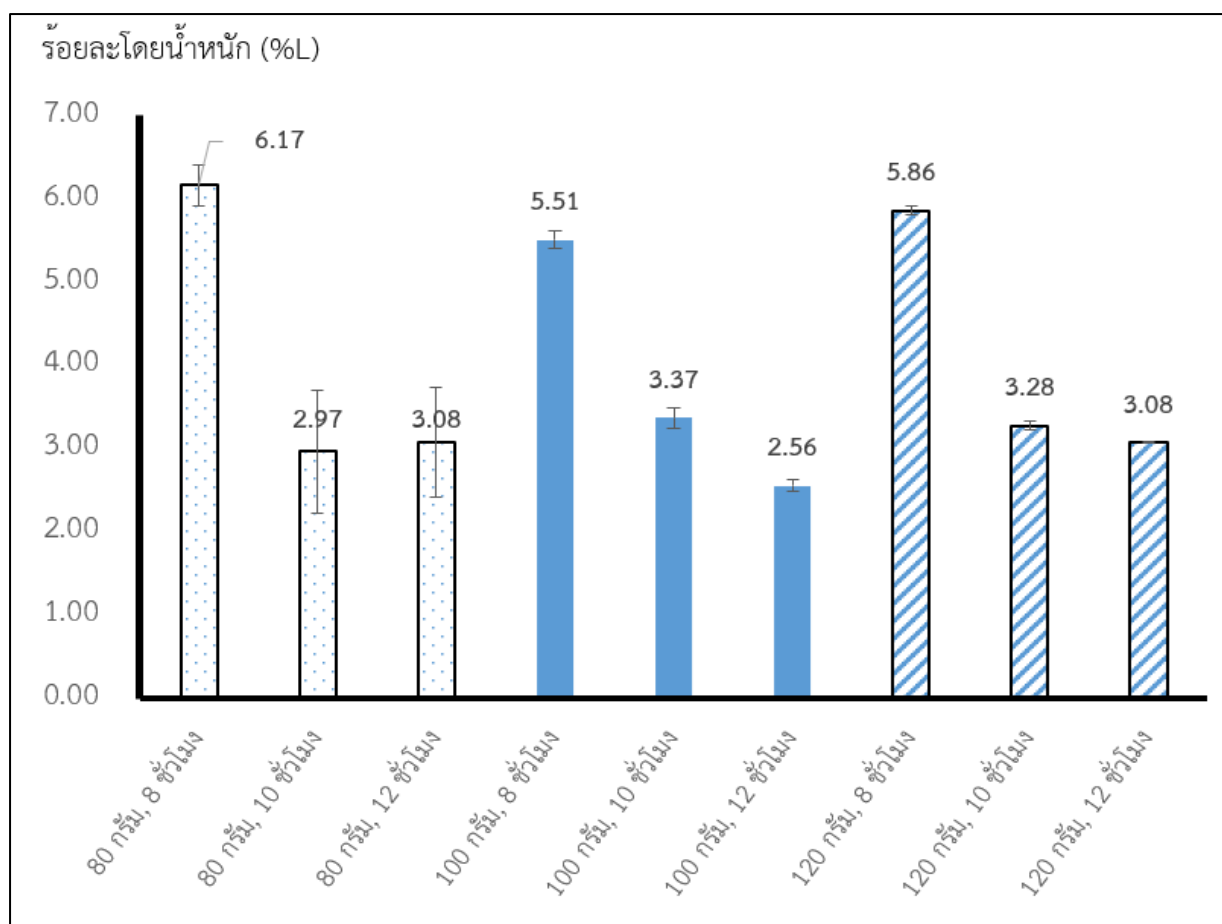


Figure 5 Moisture test results of odor absorbing charcoal from rice flour

จาก Figure 5 พบว่า ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้า 100 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมง นั้นมีค่าความชื้นน้อยที่สุด โดยมีค่าความชื้นเท่ากับ 2.56%L ลำดับถัดไปได้แก่ที่มีอัตราส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้า 80 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 10 ชั่วโมง ที่มีอัตราส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้า 80 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมง ที่มีอัตราส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้า 120 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมง และที่มีอัตราส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้า 120 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 10 ชั่วโมง โดยมีค่าความชื้นเท่ากับ 2.97, 3.08, 3.08 และ 3.28%L (ตามลำดับ)

การวิเคราะห์การทดลอง

1. การตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูล

เป็นการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลก่อนที่จะวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) ซึ่งประกอบไปด้วย (1) การตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยวิเคราะห์ผ่าน Normal probability plot ว่ามีแนวโน้มเป็นเส้นตรงหรือไม่ และวิเคราะห์รูปทรงของ Histogram ว่ามีรูปทรงเป็นแบบปกติหรือไม่ (2) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนหรือไม่ โดยวิเคราะห์ผ่าน Versus fits ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเท่า ๆ กันรอบค่าศูนย์ (0) หรือไม่ และ (3) การตรวจสอบข้อมูลว่ามีการกระจายตัวแบบสุ่มหรือไม่ โดยวิเคราะห์ผ่าน Versus order ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวขึ้นลงรอบค่าศูนย์ (0) ดัง Figure 6

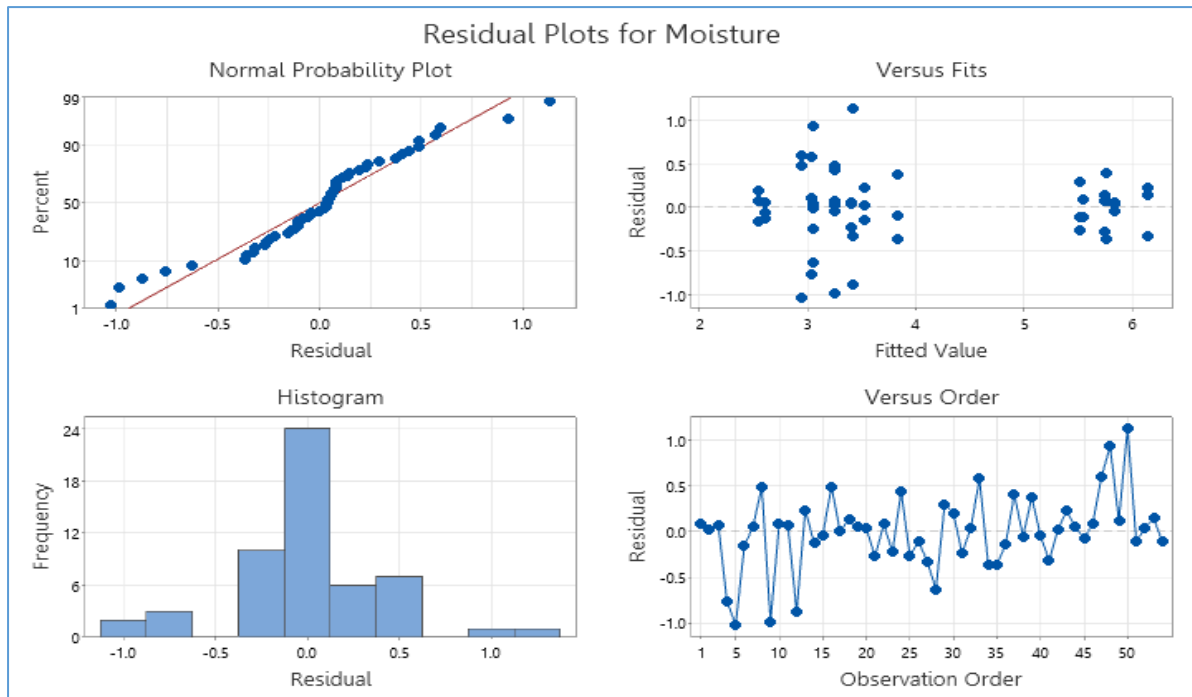


Figure 6 Validation of the appropriateness and validity of the experimental data

จาก Figure 6 พบว่า การกระจายตัวของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติ ผ่าน Normal probability plot และ Histogram ซึ่งพบว่า การกระจายตัวของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติ เนื่องจาก Normal probability plot มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ส่วน Histogram ก็มีรูปทรงแบบปกติ ข้อมูลจาก Versus fits พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวเท่า ๆ กันรอบค่าศูนย์ (0) แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวหรือความแปรปรวนไม่แตกต่างกัน จาก Versus order นั้นพบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวขึ้นลงรอบค่าศูนย์ (0) แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบสุ่ม ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเหมาะสมและความถูกต้อง

2. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

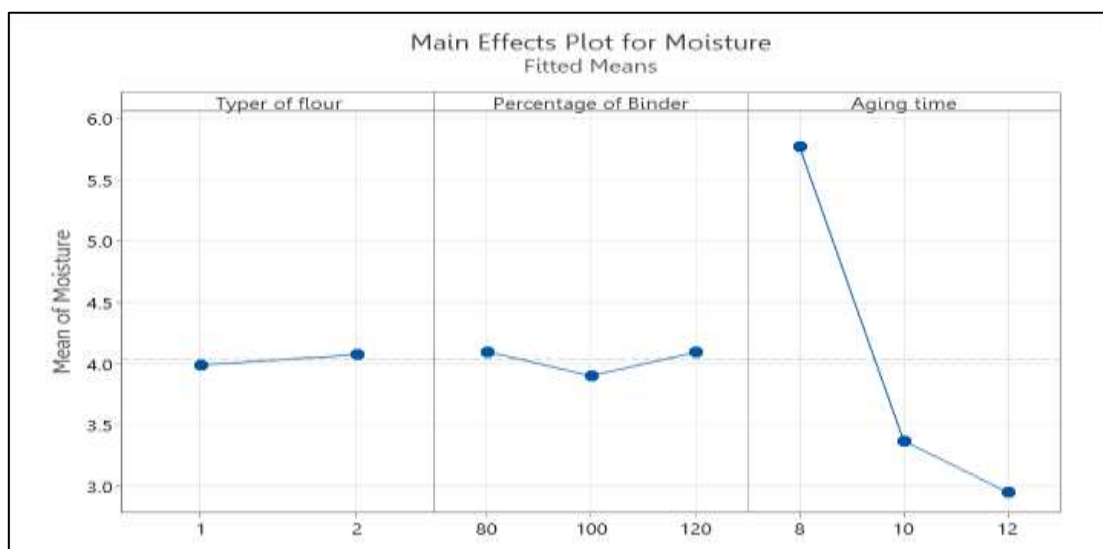
เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction effect) ก่อน แล้วจึงวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของอิทธิพลหลัก (Main effect) โดยพิจารณาจากค่า P-value ซึ่งพบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยไม่มีผลต่อค่าความขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนอิทธิพลหลัก ซึ่งได้แก่ เวลาที่ใช้ในการอบ มีผลต่อค่าความขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ดัง Table 2

Table 2 Result of analysis of variance (ANOVA)

Source	DF	SS	MS	F	P
Typar of flour (A)	1	0.0988	0.0988	0.43	0.515
Percentage of binder (B)	2	0.4578	0.2289	1.00	0.378
Aging time (C)	2	82.6777	41.3388	180.49	0.000
2 factor Interaction	6	2.5277	0.4213	1.84	0.117
3 factor Interaction	4	0.6526	0.1632	0.17	0.589
Error	38	8.7035	0.2290		
S = 4.78582, R-Sq = 90.85%, R-Sq(adj) = 87.24% R-sq(pred) = 81.52%					

จาก Table 2 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ หรือ R-Sq (adj) มีค่าอยู่ที่ 87.24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ถือว่ายอมรับได้ จึงมีความเชื่อมั่นได้ว่าจำนวนข้อมูลมีความเพียงพอที่จะนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง หลังจากนั้นจึงได้วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยเริ่มจากการวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction) พบว่ามีค่า p-value มีค่าเท่ากับ 0.589 ซึ่งมีความมากกว่าระดับนัยสำคัญที่มีค่าเท่ากับ 0.05 ในส่วนอิทธิพลหลัก (Main effect) พบว่าเวลาที่ใช้ในการอบ มีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่มีค่าเท่ากับ 0.05 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าอิทธิพลร่วม (Interaction) ไม่มีผลต่อค่าความชื้นของถ่านดุกกลั่นจากเปลือกมังคุด ส่วนอิทธิพลหลัก (Main effect) ซึ่งประกอบไปด้วยชนิดของตัวประสาน (A) และ อัตราส่วนผสม (B) ไม่มีผลต่อค่าความชื้นของถ่านดุกกลั่นจากเปลือกมังคุดอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และค่าผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนั้นพบว่า ชนิดของตัวประสาน (Type of flour) และอัตราส่วนผสม (Percentage of binder) ไม่มีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนเวลาที่ใช้ในการอบ (Aging time) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และค่าผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าที่เวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมง นั้นจะทำให้ได้ถ่านดุกกลั่นจากเปลือกมังคุดมีค่าความชื้นน้อยที่สุด ดัง Figure 7



Remark : 1 = Tapioca starch, 2 = Rice flour, 80 = Percentage of binder, 100 = Percentage of binder, 120 = Percentage of binder, 8 = Aging time, 10 = Aging time and 12 = Aging time

Figure 7 Main effects plot for moisture

การทดสอบค่าไอโอดีน

นำถ่านดุกกลั่นจากเปลือกมังคุดที่ทำมาจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าที่อัตราส่วน 100:12 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าความชื้นน้อยที่สุดไปทดสอบค่าไอโอดีน ที่บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขาขอนแก่น ตามมาตรฐาน AWWAB604 จำนวน 2 ตัวอย่าง ผลการทดสอบค่าไอโอดีนพบว่า ถ่านดุกกลั่นจากเปลือกมังคุดที่มีตัวประสานทำมาจากแป้งมันสำปะหลังมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 812.81 มิลลิกรัม/กรัม และถ่านดุกกลั่นที่ทำจากเปลือกมังคุดที่มีตัวประสานทำมาจากแป้งข้าวเจ้ามีค่าไอโอดีนเท่ากับ 836.46 มิลลิกรัม/กรัม

การอภิปรายผล

ผลการทดสอบคุณสมบัติของถ่านดุกกลั่นจากเปลือกมังคุดพบว่า ถ่านดุกกลั่นจากเปลือกมังคุดที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังมีค่าความชื้นเฉลี่ย 4.07%L ส่วนถ่านดุกกลั่นจากเปลือกมังคุดที่ทำจากแป้งข้าวเจ้ามีค่าความชื้นเฉลี่ย 3.99%L และพบว่า ชนิดของตัวประสาน และอัตราส่วนผสมไม่มีผลต่อค่าความชื้นของถ่านดุกกลั่นจากเปลือกมังคุด โดยพบว่า ทุกเงื่อนไขของการทดลองมีค่าความชื้นเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.180/2563) โดยมีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 8

โดยน้ำหนัก จากนั้นนำถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่อัตราส่วน 100:12 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าความชื้นน้อยที่สุด ไปทดสอบค่าไอโอดีน ตามมาตรฐาน AWWAB604 ที่ บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขาขอนแก่น จำนวน 2 ตัวอย่าง ผลการทดสอบค่าไอโอดีนพบว่า ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 812.81 มิลลิกรัม/กรัม และถ่านดูดกลิ่นที่ทำจากเปลือกมังคุดแป้งข้าวเจ้า มีค่าไอโอดีนเท่ากับ 836.46 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งถ่านดูดกลิ่นที่ทำมาจากถั่วประสารทั้งสองชนิดมีค่าไอโอดีนเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 180/2563) โดยกำหนดให้ถ่านดูดกลิ่นต้องมีค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า 150 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Boonchom (2020) ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและอัตราการดูดซับความชื้นของถ่านจากผลไม้ 6 ชนิด คือ ถ่านสับปะรด ถ่านเปลือกทุเรียน ถ่านข้าวโพด ถ่านกล้วย ถ่านมังคุด และถ่านเงาะ ผลจากการศึกษาวิจัยพบว่า ถ่านมังคุดมีค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 2.85 และเวลาที่ใช้ในการอบนานขึ้นจะทำให้ความชื้นลดลงด้วย และสอดคล้องกับงานวิจัย Neamsawag (2010) ที่ได้ศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ได้รับจากวิธีการผลิตและวัสดุที่แตกต่างกัน ผลจากการศึกษาวิจัยเปลือกมังคุดที่เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้ค่าไอโอดีนเท่ากับ 802.44 มิลลิกรัม/กรัม

บทสรุป

การหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุด โดยวิธีการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าความชื้นให้ได้ตามมาตรฐาน โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟกตอเรียลเต็มรูปแบบ (General full factorial design) ซึ่งกำหนดให้ปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองมี 3 ปัจจัย คือ ชนิดของถั่วประสาร อัตราส่วนผสม และเวลาที่ใช้ในการอบ โดยชนิดของถั่วประสาร มี 2 ระดับ ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า อัตราส่วนผสมมี 3 ระดับ ได้แก่ 80, 100 และ 120 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ มี 3 ระดับ ได้แก่ 8, 10 และ 12 ชั่วโมง และมีการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง ทำให้มีการจำนวนครั้งในการทดลอง 54 ครั้ง ผลจากการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการอบ ส่วนชนิดของถั่วประสาร และอัตราส่วนผสม ไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ และความผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซนต์ เมื่อพิจารณาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนั้นพบว่า แป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 100 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมง มีค่าความชื้นน้อยที่สุด ส่วนแป้งข้าวเจ้านั้นพบว่าที่อัตราส่วน 100 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมง มีค่าความชื้นน้อยที่สุดเช่นกัน และพบว่าชนิดของถั่วประสารที่ทำจากแป้งข้าวเจ้ามีค่าไอโอดีนสูงกว่าแป้งมันสำปะหลังเล็กน้อย ส่วนผลการทดสอบค่าไอโอดีนพบว่า ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่มีถั่วประสารทำมาจากแป้งข้าวเจ้ามีค่าไอโอดีนเท่ากับ 836.46 มิลลิกรัม/กรัม ส่วนถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่มีถั่วประสารทำมาจากแป้งมันสำปะหลังมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 812.81 มิลลิกรัม/กรัม ผลจากการศึกษาวิจัยช่วยให้กลุ่มผู้ประกอบการ OTOP ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดสามารถนำไปเป็นแนวทางในการเลือกชนิดของถั่วประสารที่มีราคาถูกกว่าเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตของกลุ่มผู้ประกอบการ OTOP เนื่องจากถั่วประสารทั้ง 2 ชนิด ไม่ว่าจะเป็นแป้งข้าวเจ้าหรือแป้งมันสำปะหลังให้ค่าไอโอดีนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน รวมทั้งนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการขึ้นรูปถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ขอขอบพระคุณกลุ่ม OTOP ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่กรุณาให้ข้อมูลและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับกรรมวิธีการขึ้นรูปถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุด และปัญหาของถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุด รวมทั้งคณาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และคณาจารย์และเจ้าหน้าที่คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือให้การดำเนินงานบรรลุผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์และเป้าหมาย

เอกสารอ้างอิง

- Boonchom, K., Thewsakun, J., & Thipawan, K. (2020). Physical properties and moisture adsorption rate of fruit charcoal. *VRU Research and Development Journal Science and Technology*, 15(2), 77-89. (In Thai)
- Jahmah, N., Thoman, L., & Madahae, S. (2020). The study production of fuel briquette from mangosteens peel and water. In The 5th Nation Science and Technology Conference. *Science Technology and Social Innovation. Rajamangala University of Technology Srivijaya*. (pp.1445-1452). <https://profile.yru.ac.th/storage/academic-articles/September2020/3ltRnntYB8p3ynziivAH.pdf> (In Thai)
- Jittabut, P., Piyasri, S., & Piasanthia, S. (2020). Materials plate for food packaging development by using agricultural waste. *Science and Technology Research Journal Nakhon Ratchasima Rajabhat University*, 5(1), 43-52. (In Thai)
- Khiaomang, K. (2024). Activated carbon from cassava rhizomes to design odor absorbing products. *Academic Journal of Industrial Technology Innovation*, 2(2), 32-43. (In Thai)
- Khwunsakun, C. (2022). Research and development of growing bench for quality vegetables production. *Agriculture and Technology Journal*, 3(1), 60-74. (In Thai)
- Kumpapai, C., Boonthanom, N., Rodjananon, T., & Wongthanate, J. (2020). The efficiency comparison of fuel briquettes from agricultural wastes. *The Journal of Industrial Technology*, 16(3), 28-38. <https://doi:10.14416/j.ind.tech.2020.12.003>. (In Thai)
- Mongkoldhumrongkul, K. (2024). Development of a biomass briquette machine from agricultural waste in rayong province. *The Journal of KMUTNB*, 34(1), 1-12. (In Thai)
- Namee, J., & Seak, P. (2023). Utilization of local agricultural wastes for the production of oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). *Journal of Agricultura Production*, 5(1), 203-215. (In Thai)
- Neamsawag, P. (2010). Comparison of adsorption capacity of activated carbon obtained from production methods and materials. *Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal*, 2(2), 11-18. (In Thai)
- Pansuwan, J., Onwong, J., & Intharapat, P. (2012). A study of factors affecting on the efficiency of an odor absorbing rubber. In *The 6th Ubon Ratchathani University Research Conference. Ubon Ratchathani University*. (pp.36-45). <https://www.ubu.ac.th/web/research/content/UBRC/>. (In Thai)
- Pianjing, P., Punyakhom, P., Prapreud, W., Kitprathaung, N., Phromsat, P., & Wites, J. (2023). Development of odor absorbed charcoal lump product. *Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)*, 18(2), 14-29. (In Thai)
- Piyang, T., & Khuawaraphan, R. (2019). By-product synergy from nipa palm frond processing waste ban laem community, Trang province. *Area Based Development Research Journal*, 11(6), 503-517. (In Thai)
- Sittiwong, W., Homchampa, T., Prachumcharat, P., Waengern, T., & Kaewtumla, N. (2023). Fuel consumption of diesel engines combined with producer gas. *Agriculture and Technology Journal*, 4(3), 45-58. (In Thai)

- Srihawattanakul, P., Jaiton, A., Yordon, K., & Yunsan, A. (2017). *Production of deodorizing charcoals from mangrove charcoal: an applied local wisdom of "pleakmai group" at baan Khaoyeesarn, Amphawa, Samut Songkram province*. Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (In Thai)
- Sudasna-Na-Ayudhya, P., & Luangpaiboon, P. (2008). *Design and Analysis of Experiment*. Top Publishing. Bangkok. (In Thai)
- Thai industrial standard institute. (2020). *Thai community product standard of deodorizing charcoal (180/2563)*. <https://tcps.tisi.go.th/public/StandardList.aspx>. (In Thai)
- Wongsuwan, S., Inla, K., & Sittiwong, W. (2020). Effects of plastic ratio on compressive stress. *Agriculture and Technology Journal*, 1(1), 1-11. (In Thai)