http://journal.rmutp.ac.th/

ผลกระทบและส่วนผสมที่เหมาะสมของผงเปลือกมังคุดสำหรับแบบหล่อทรายชื้น

อนุวิทย์ สนศิริ[1]* อัญชลี อินคำปา [2] นพดล อ่ำดี[3] และ ธนภัทร มะณีแสง[4]

[1,2] คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
[3] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง
[4] คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
[1,2] 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
[3] 46 หมู่ 3 ตำบลจอมบึง อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี 70150
[4] 83 หมู่ 11 ถนนสระบุรี-หล่มสัก ตำบลสะเดียง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ 67000

รับบทความ 30 สิงหาคม 2561 แก้ไขบทความ 20 เมษายน 2563 ตอบรับบทความ 30 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

งานหล่อโลหะด้วยแบบหล่อทรายชื้น มีความจำเป็นต่อการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมการผลิต ที่ต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติและสารเคมีเป็นองค์ประกอบ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบส่วนผสมที่เหมาะสมของผงเปลือกมังคุดที่มีต่อแบบหล่อทรายชื้น โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ส่วนผสมของแบบหล่อทรายชื้น ประกอบด้วย ทรายธรรมชาติ เบนโทไนต์ ผงเปลือกมังคุด และน้ำ ที่มีผลต่อสมบัติของแบบหล่อทรายในสถานะทรายชื้น (Green sand) โดยวิธีการทดลอง เริ่มจากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ของวัสดุตามธรรมชาติที่ส่งผลต่อแบบหล่อทราย และวางแผนออกแบบการทดลอง โดยใช้โปรแกรมออกแบบการทดลองสำเร็จรูป ฉบับทดลอง ในการออกแบบการทดลอง และวิเคราะห์ผล ซึ่งผลการทดลองพบว่าผงเปลือกมังคุดส่งผลต่อการเพิ่มคุณสมบัติ ค่าความแข็งแรงทางอัด และค่าความแข็งของแบบหล่อทรายสูงขึ้น แต่ไม่เพิ่มค่าความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่านมากนัก โดยอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด ประกอบด้วยส่วนผสมของทรายที่ใช้งานหล่อแล้วร้อยละ 90 เบนโทไนต์ร้อยละ 7 น้ำร้อยละ 1 และผงเปลือกมังคุดร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ซึ่งทำให้ได้ค่าของความแข็งแรงทางอัดแบบหล่อทรายชื้น ความสามารถในการปล่อยซึมอากาศผ่าน และค่าความแข็งของแบบหล่อทรายแบบหล่อทรายชื้น เท่ากับ 0.71 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร, 47.36 และ 94.06 Scale-B ตามลำดับ

คำสำคัญ : แบบหล่อทรายชื้น; ผงเปลือกมังคุด; ออกแบบการทดลอง; การผลิต

** ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 0507 2223, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: a.sonsiri@gmail.com*

http://journal.rmutp.ac.th/

Effect and Optimal Variable of Mangosteen Peel Powder for Green Sand Mold

Anuwit Sonsiri[1]* Unchalee Inkampa[2] Noppadon Amdee[3] and Thanapat Maneesaeng[4]

[1,2] Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Krungthep

[3] Faculty of Industrial Technology, Muban Chombung Rajabhat University

[4] Faculty of Manufacturing Technology, Phetchabun Rajabhat University

[1,2] 2 Nanglinchi Road, Tungmahamek, Sathorn, Bangkok 10120

[3] 46 Moo 3 Chombung Sub-district, Chombung District, Ratchaburi 70150

[4] 83 Moo 11 Saraburi-Lomsak Road, Sadiaug Sub-district, Mueang District, Phetchabun 67000

Received 30 August 2018; Revised 20 April 2020; Accepted 30 April 2020

Abstract

Metal casting with Green sand mold is essential for participation in the manufacturing industry that requires natural resources and chemicals as an element. This research studied the effects of the right mix of mangosteen shell powder on green sand mold. The objective is to study and analyze the mixture of moist sand formations consisting of natural sand, bentonite, mangosteen shell powder and water affecting the properties of green sand mold by experiment method. Starting from studying relevant information of natural materials that affect sand mold and planning experimental design by using the experimental design program for the trial version in the experimental design and analyze results. The results showed that mangosteen peel powder had an effect on the properties Compression strength and higher hardness of sand mold but does not increase the ability to release a lot of air permeability The optimum blend ratio was composed of 90% reused sand, 7% bentonite, 1% water and 2% mangosteen powder by weight air permeability. The hardness of the sand casting was 0.71 kg/cm^2, 47.36 and 94.06 Scale B respectively.

Keywords : Green Sand Mold; Mangosteen Peel Powder; Experimental Design; Manufacturing

** Corresponding Author. Tel.: +668 0507 2223, E-mail Address: a.sonsiri@gmail.com*

1. บทนำ

ปัจจุบันสามารถกล่าวได้ว่า งานอุตสาหกรรมมีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการพัฒนาความเป็นอยู่ของมนุษย์ ในส่วนของการผลิตเครื่องจักร และสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ มีงานหลากหลายประเภทอุตสาหกรรม โดยอุตสาหกรรมงานหล่อจัดเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่สนับสนุนการผลิต เป็นเสมือนแหล่งวัตถุดิบให้กับงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมก่อสร้าง เป็นต้น [1], [2] โดยมีกรรมวิธีการหล่อมากมายหลายวิธี ซึ่งกรรมวิธีการหล่อโลหะจากแบบหล่อทรายเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการผลิต โดยประเภทของแบบหล่อทรายที่นิยมใช้มากที่สุด คือ แบบหล่อทรายแบบทรายชื้น เพราะมีต้นทุนในการทำแบบหล่อที่ไม่สูงมากนัก และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เร็วกว่าแบบหล่อทรายแบบอื่น ๆ ส่วนผสมแบบหล่อทรายแบบทรายชื้น ประกอบด้วย ทรายธรรมชาติ เบนโทไนต์ น้ำ และส่วนผสมอื่น เช่น เด็กซ์ทริน ผงถ่านหิน และเรซิน เป็นต้น [3]

จากการที่มีผู้ศึกษาไว้ว่า นอกจากตัวประสานในแบบหล่อทรายที่ใช้เบนโทไนต์แล้ว ยังมีการศึกษาตัวประสานอื่น ๆ อีก โดย A.P.I. Popoola [4] เปรียบเทียบสมบัติทางกลของแบบหล่อทรายโดยใช้กากน้ำตาล แป้งมันสำปะหลัง และกัมอารบิกที่สกัดจากน้ำยางธรรมชาติ แม้ว่ากัมอาราบิกจากน้ำยางธรรมชาติรับแรงอัดขณะชื้นได้ต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลังก็ตาม จากงานวิจัยข้างต้นนี้ แสดงให้เห็นว่ากัมอารบิกนั้นเมื่อนำมาผสมแล้วมีผลต่อแบบหล่อทราย [4] ในส่วนของตัวประสาน กัมอารบิกเป็นสารประกอบธรรมชาติชนิดหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มสารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) โดยได้น้ำยางที่ ไหลออกมาจากฝัก และผิวเปลือกของลำต้นของพืชในกลุ่มอากาเซีย (Acacia) [5] ซึ่งอาจมีความเป็นไปได้ว่าพืชที่มียางตามธรรมชาติประเภทอื่นสามารถนำมาใช้เป็นสารประกอบในการทำแบบหล่อทราย ได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ที่มีการทำเกษตรกรรมทั่วทุกภูมิภาค และมังคุดเป็นผลผลิตทางการเกษตร ในภาคตะวันออกของประเทศไทยที่ส่วนใหญ่นิยมปลูกมังคุด [6] ซึ่งมังคุดเป็นผลไม้ที่มียางที่เปลือกมากพอสมควร อีกทั้งช่วงฤดูฝนของทุกปีมังคุดจะมีราคาถูกหาได้ง่ายในประเทศไทย [7] เบนโทไนซ์ราคากิโลกรัมละ 150 บาท [8] ซึ่งเปลือกมังคุดบดผงกิโลกรัมละ 60 บาท ผู้ทำวิจัยพิจารณาแล้ว เห็นว่าเปลือกมังคุดสามารถนำมาตากแห้งและบดเป็นผงละเอียด ใช้เป็นสารประกอบในการทำแบบหล่อทรายชื้นได้ สารที่มีอยู่ในเปลือกมังคุดส่วนใหญ่เป็นสารที่อยู่ในกลุ่มของ Phenolics ยกตัวอย่างเช่น Xanthones. (Quinones), (Flavonoids) มีประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงเป็นสารเกาะยึด (Cementing Agent) ที่มีมากในเปลือกมังคุดใช้สำหรับผลิตกาวไม้อัด เช่น การใช้โปรแอนโทรไซยานิดินแทนนิน แทนสารฟีนอลสังเคราะห์ในการผลิตไม้อัด [9] การจะทราบว่าส่วนผสมจากผงเปลือกมังคุด สามารถนำมาใช้เพิ่มคุณสมบัติของแบบหล่อทรายชื้น ได้หรือไม่นั้นต้องมีการทดสอบและการหาส่วนผสมที่เหมาะสมของทรายชื้น ซึ่งต้องมีการออกแบบการทดลองส่วนผสมระหว่าง ทรายธรรมชาติ เบนโทไนต์ น้ำ และสารเติมพิเศษ [10], [11] ในส่วนของการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธี Taguchi's Method ในการหาค่าความเหมาะสมของแบบหล่อทราย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เหล็กหล่อที่มีคุณภาพดีที่สุดตัวชี้วัด หรือสมบัติที่นำมาศึกษาคุณภาพของแบบหล่อทรายที่ใช้ในการทดลองคือความแข็งแรงขณะเปียกชื้น การปล่อย ซึมอากาศและความแข็งของแบบหล่อ [12] ศึกษาหาค่าความเหมาะสมของแบบหล่อ ทรายโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Rotatable Design (CCRD) สมบัติที่ถูกนำมาประเมินหาค่าความเหมาะสม ได้แก่ ความหนาแน่นรวมความสามารถในการกดอัด การปล่อยซึมอากาศและแรงอัด [13]

จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวจะเห็นได้ว่าวิธีการออกแบบการทดลองสามารถนำมาควบคุมและ

หาค่าความเหมาะสมของสมบัติแบบหล่อทราย ได้ อย่างไรก็ตามเทคนิค การออกแบบการทดลองดังกล่าว เป็นเพียงการศึกษาหาค่าความเหมาะสมของแบบหล่อทรายของแต่ละปัจจัยที่กำหนดในแต่ละกระบวนการ สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้ผงเปลือกมังคุดเป็นสารเติมพิเศษ โดยการนำแบบหล่อทรายชื้นที่ทำเป็นแบบตัวอย่าง มาทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ ความสามารถรับแรงอัด (Greensand Compressive Strength, GCS) ความแข็งของแบบหล่อทราย (Hardness, Hard.) และความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่าน (Permeability, Perm.) โดยการทดลองแบบหล่อทรายชื้น ใช้วิธีการออกแบบการทดลองด้วยเครื่องมือและโปรแกรมทางด้านวิศวกรรม เพื่อใช้ในการหาผลกระทบและส่วนผสมที่เหมาะสมของแบบหล่อทรายชื้น โดยใช้คุณสมบัติทางกลของแบบหล่อทราย ได้แก่ ความสามารถรับแรงอัดขณะชื้น ความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่าน และค่าความแข็งของแบบหล่อทรายขณะชื้น เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด

2. ระเบียบวิธีวิจัย

ศึกษาและวิเคราะห์ส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่มีส่วนผสมประกอบด้วย ทรายเก่า เบนโทไนต์ ผงเปลือกมังคุด และน้ำ ที่มีผลต่อสมบัติทางกลของแบบหล่อทราย ในขณะที่เป็นที่เป็นทรายชื้น (Green Sand) โดยทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง ตามขั้นตอนดังนี้ วิเคราะห์รูปแบบของสมการถดถอยที่เหมาะสมของการออกแบบการทดลอง,ตรวจสอบความเพียงพอในรูปแบบของสมการถดถอย วิเคราะห์หาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมทำให้คุณสมบัติทางกลของแท่งทดสอบสำหรับแบบหล่อทรายชื้นได้ตามมาตรฐาน

2.1 การเตรียมตัวอย่างแบบหล่อทรายชื้น

ส่วนผสมที่ใช้ในการสร้างแบบหล่อทรายที่นำไปใช้ในการทดลองทรายใช้งานหล่อแล้ว (Reuse Sand) เบนโทไนต์ (Bentonite) น้ำ (Water) และผงเปลือกมังคุด (Mangosteen Peel Powder) ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 ผงเปลือกมังคุด
(Mangosteen Peel Powder)

ตารางที่ 1 ส่วนผสมและข้อจำกัดของส่วนผสมที่นำไปใช้ในการออกแบบการทดลอง

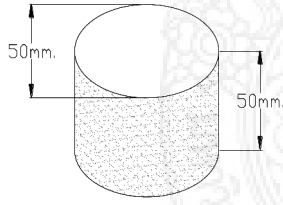
ส่วนผสม	สัญลักษณ์	ข้อจำกัด	
		ค่าต่ำ (% โดยน้ำหนัก)	ค่าสูง (% โดยน้ำหนัก)
ทรายใช้งานหล่อแล้ว	-	90	90
เบนโทไนต์	A	3	7
น้ำ	B	1	5
ผงเปลือกมังคุด	C	0	5

ดำเนินการทดสอบสมบัติทางกล คือ ความสามารถรับแรงอัดขณะชื้น ความสามารถในการปล่อยซึมอากาศผ่าน และค่าความแข็งของแบบหล่อทรายชื้น โดยใช้ชิ้นตัวอย่างและเครื่องมือทดสอบตามมาตรฐานของสมาคม A.F.S.(American Foundry' men Society) [14] ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ทรายผ่านการใช้งานหล่อมีปริมาณร้อยละ 90 โดยน้ำหนักเพราะเป็นส่วนผสมหลักของการทำแบบหล่อทรายชื้นในขณะเดียวกันได้นำเอาส่วนผสมอีก 3 ส่วนผสม มาทำการทดลองตามวิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมแบบ D-optimal ซึ่งเป็นการออกแบบการทดลองแบบ

ส่วนผสมแบบมีข้อจำกัด ข้อจำกัดของแต่ละส่วนผสมที่ทำการศึกษาในหน่วยร้อยละ (%) โดยน้ำหนัก ดังในตารางที่ 1 และพิจารณาการทดสอบความแข็งแรงทางอัดของแบบหล่อทรายที่เหมาะสมมากที่สุด

2.2 แนวทางการทดสอบ

ดำเนินการทดสอบแบบหล่อทรายชื้นขณะชื้นที่ผสมผงเปลือกมังคุด ตามที่ออกแบบการทดลองไว้ โดยแต่ละส่วนจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ลักษณะ คือ การทดสอบความแข็งของแบบหล่อทราย, การทดสอบความแข็งแรงทางอัดของแบบหล่อทราย โดยใช้เครื่อง Universal Sand Strength และการทดสอบอัตราลมผ่านแบบหล่อทรายใช้เครื่อง Electric Permeability Meter ในการทดสอบดัชนีชี้วัด โดยใช้ปริมาณอากาศภายใต้ความดันอากาศคงที่ ที่สามารถไหลผ่านชิ้นงานได้ [14], [15] โดยสร้างแท่งทดสอบ (Specimen) ลักษณะทรงกระบอกตัน ตามมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขนาดแท่งทดสอบทรายชื้น (Specimen)

3. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

ผลการทดสอบสมบัติของแบบหล่อทรายชื้นตามแผนการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมโดยแต่ละตัวอย่างการทดสอบจะทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 2 แล้วนำมาวิเคราะห์เลือกรูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติของความแข็งแรงทางอัดแบบหล่อทรายชื้น ความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่าน และค่าความแข็งของแบบหล่อทรายชื้น โดยใช้โปรแกรมออกแบบการทดลองสำเร็จรูป ฉบับทดลอง ซึ่งแสดงในตารางที่ 3 รูปแบบทางสถิติของค่าความแข็งของแบบหล่อทรายชื้น ความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่าน และ ความแข็งแรงทางอัดแบบหล่อทรายชื้น มีความเหมาะสมในรูปแบบเชิงเส้นตรง (Linear Model) รูปแบบเชิงเส้นโค้ง Quadratic Model) และรูปแบบเชิงเส้นโค้ง ตามลำดับ โดยมีค่า p-value ของแต่ละรูปแบบน้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารูปแบบจำลองของสมการถดถอยที่ได้มีความเหมาะสมสำหรับข้อมูลและสามารถยอมรับรูปแบบสมการถดถอยนั้นได้ ในขณะเดียวกันค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดปรับแล้ว ($R^2_{Adj.}$) ของแต่ละรูปแบบมีค่าสูงใกล้เคียง 1 ซึ่งเป็นการยืนยันให้เห็นว่าสมการถดถอยสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณส่วนผสมของส่วนผสมทั้งสามชนิด และสมบัติทางกลของแบบหล่อทรายชื้นได้อย่างเหมาะสม

ตารางที่ 2 ผลทดสอบสมบัติทางกลของแบบหล่อทราย

ส่วนผสมที่	A	B	C	Hard. Scale-B	Perm.	GCS. kg/cm^2
1	3.92	3.91	2.17	87.78	55.33	0.57
2	5.92	2.91	1.17	90.22	63.67	0.58
3	5.00	5.00	0.00	88.11	51.00	0.49
4	3.92	2.41	3.67	88.89	54.67	0.63
5	3.00	2.00	5.00	92.33	44.33	0.6
6	5.92	1.91	2.17	92.22	61.00	0.66
7	7.00	1.00	2.00	95.33	44.67	0.7
8	4.83	2.84	2.33	91.67	71.00	0.68
9	4.42	1.91	3.67	92.78	44.33	0.67
10	4.00	1.00	5.00	92.56	33.67	0.62
11	4.92	3.91	1.17	90.22	62.00	0.54
12	3.00	5.00	2.00	87.56	56.67	0.63
13	7.00	3.00	0.00	89.89	67.33	0.54

รูปที่ 3, 4 และ 5 เป็นกราฟ Trace ของผลตอบสนอง ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์แต่ละส่วนผสมว่ามีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลของแบบหล่อทรายหรือไม่ โดยพิจารณาจากแนวโน้มของเส้นกราฟ ถ้าเส้นกราฟของส่วนผสมใดมีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง แสดงว่าส่วนผสมนั้นมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกลของแบบหล่อทราย รูปที่ 3 พบว่าเบนโทไนต์ (A) มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทำให้ความแข็งของแบบหล่อทรายชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นตาม ตรงข้ามกับปริมาณของน้ำ (B) มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทำให้ความแข็งของแบบหล่อทรายชื้นมีค่าลดลง ในขณะที่ผงเปลือกมังคุด (C) ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ความแข็งของแบบหล่อทรายชื้นเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยนัก เมื่อต้องการความแข็งของแบบหล่อทรายชื้นมีค่าสูง เบนโทไนต์ (A) และผงเปลือกมังคุด (C) อยู่ในปริมาณสูง ในขณะเดียวกันปริมาณของน้ำ (B) อยู่ในปริมาณที่ต่ำ ในรูปที่ 4 เห็นได้ว่าปริมาณของน้ำ (B) มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทำให้ความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่านเพิ่มขึ้น และลดลงเมื่อมีปริมาณที่มากเกินไป แต่ตรงกันข้ามกับผงเปลือกมังคุด (C) ที่เมื่อมีปริมาณมากขึ้นจะทำให้อัตราการปล่อยอากาศซึมผ่านลดลง สำหรับเบนโทไนต์ (A) แม้จะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นแต่ก็ไม่ทำให้ความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่านเปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อต้องการความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่านมีค่าสูง ปริมาณของน้ำ (B) เบนโทไนต์ (A) อยู่ในปริมาณสูง ในขณะเดียวกันผงเปลือกมังคุด (C) อยู่ในปริมาณที่ต่ำ ในรูปที่ 5 เห็นได้ว่าปริมาณของน้ำ (B) ที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นค่าความสามารถในการรับแรงอัดของแบบหล่อทรายชื้นมีค่าต่ำลง แต่ตรงกันข้ามกับผงเปลือกมังคุด (C) มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงอัดของแบบหล่อทรายชื้นมีค่าสูงขึ้น สำหรับเบนโทไนต์ (A) ไม่ได้ส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงอัดของแบบหล่อทรายชื้นมากนัก เมื่อต้องการค่าความสามารถในการรับแรงอัดของแบบหล่อทรายชื้นมีค่าสูง ปริมาณของปริมาณของน้ำ (B) มีปริมาณต่ำ ในขณะเดียวกันผงเปลือกมังคุด (C) และเบนโทไนต์ (A) มีปริมาณสูง จากรายงานดังกล่าวข้างต้น แสดงให้เห็นว่าผงเปลือกมังคุดมีคุณสมบัติที่ส่งผลดีต่อค่าความแข็งของหล่อทรายชื้น ความสามารถทนแรงกดอัด และความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่านในแบบหล่อทรายชื้น ถ้าหากใส่ในปริมาณที่เหมาะสม แต่ถ้าหากมีปริมาณผงเปลือกมังคุดมากเกินไป จะทำให้ความสามารถทนแรงกดอัดได้มากขึ้น ความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่านในชื้นลดลง ซึ่งเกิดจากสารแทนนินที่มีความเป็นกาวเหนียวเกาะยึดเม็ดทราย

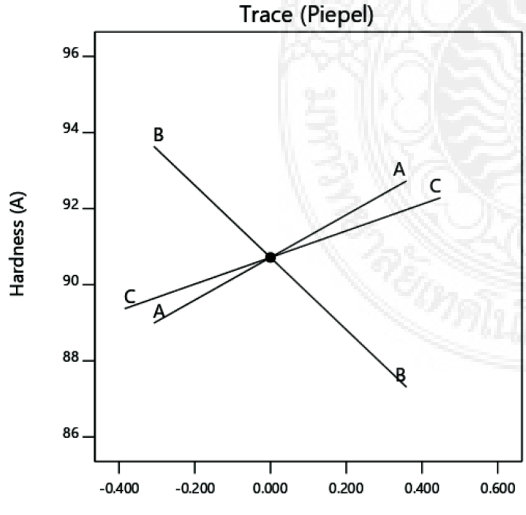
ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความแข็งแรงทางอัดแบบหล่อทรายชื้น ความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่าน และค่าความแข็งของแบบหล่อทรายชื้น

สมบัติทางกลของแบบหล่อทราย	สมการถดถอย	R^2	$R^2_{Adj.}$
ค่าความแข็งของแบบหล่อทรายชื้น	= 9.63302A + 7.89351B + 9.34576C	0.78	0.74
ความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่าน	= 3.86536A - 9.66262B - 3.90851C + 3.25096AB + 0.408994AC + 4.65101BC	0.85	0.74
ความแข็งแรงทางอัดแบบหล่อทรายชื้น	= 0.076368A + 0.074206B + 0.008031C - 0.010857AB + 0.010089AC + 0.009848BC	0.86	0.76

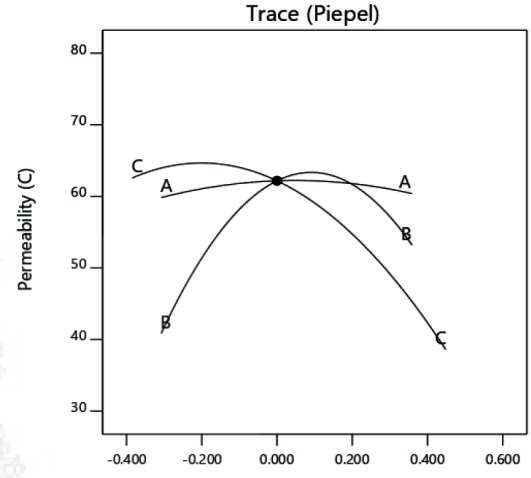
เมื่อนำสมการถดถอยในตารางที่ 3 มาสร้างกราฟเส้นโครงร่างพื้นผิวตอบสนอง (Contour Plot) ของความแข็งแรงทางอัดแบบหล่อทรายชื้น ความสามารถ

ปล่อยอากาศซึมผ่าน และค่าความแข็งของแบบหล่อทรายชื้น ซึ่งแสดงดังรูปที่ 6, 7 และ 8 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่า เมื่อผงเปลือกมังคุดอยู่ในระดับสูง ในขณะที่น้ำอยู่ในระดับต่ำ ทำให้ความแข็งแรงทางอัดและค่าความแข็งของแบบหล่อทรายชื้นมีค่าสูงขึ้น ส่วนผสมที่มีเบนโทไนต์และผงเปลือกมังคุดอยู่ในระดับต่ำ ในขณะที่น้ำอยู่ในระดับสูง ทำให้ความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่านมีค่าสูงขึ้น

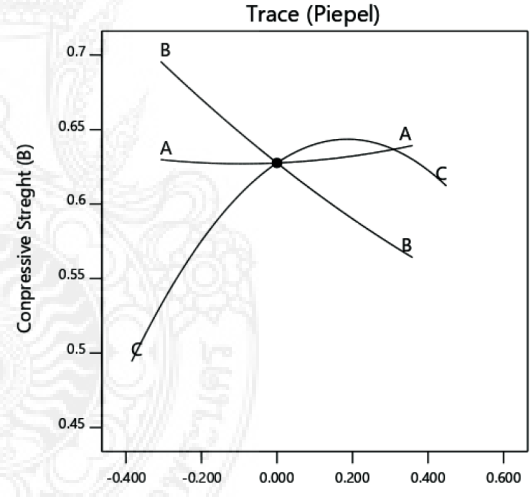
เมื่อนำสมการถดถอยในตารางที่ 3 มาสร้างกราฟเส้นโครงร่างพื้นผิวตอบสนอง (Contour Plot) ของความแข็งแรงทางอัดแบบหล่อทรายชื้น ความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่าน และค่าความแข็งของแบบหล่อทรายชื้น ซึ่งแสดงดังรูปที่ 6, 7 และ 8 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่า เมื่อผงเปลือกมังคุดอยู่ในระดับสูง ในขณะที่น้ำอยู่ในระดับต่ำ ทำให้ความแข็งแรงทางอัดและค่าความแข็งของแบบหล่อทรายชื้นมีค่าสูงขึ้น ส่วนผสมที่มีเบนโทไนต์และผงเปลือกมังคุดอยู่ในระดับต่ำ ในขณะที่น้ำอยู่ในระดับสูง ทำให้ความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่านมีค่าสูงขึ้น



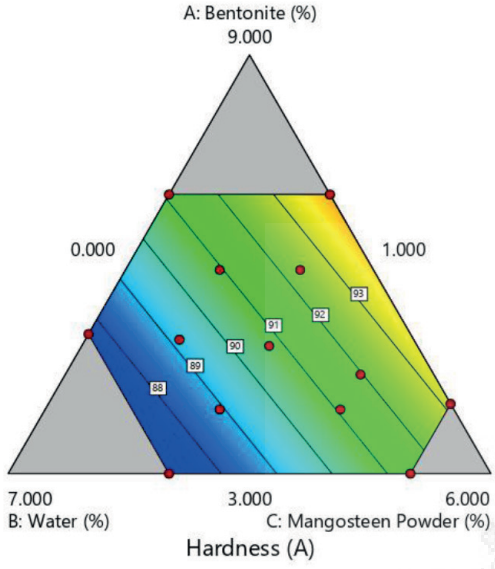
รูปที่ 3 กราฟ Trace ของค่าความแข็งของแบบหล่อทรายในชื้น



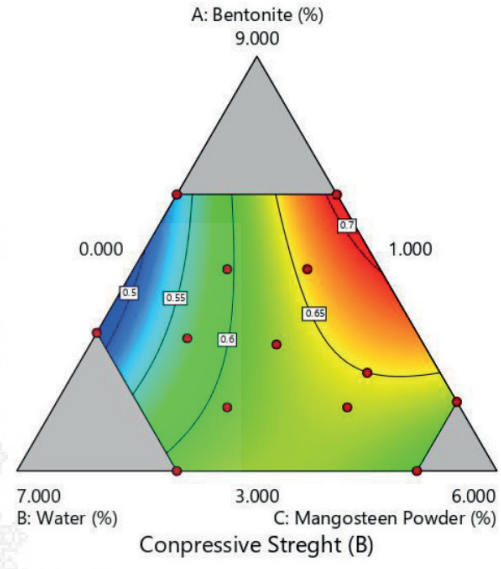
รูปที่ 4 กราฟ Trace ของความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่านในชื้น



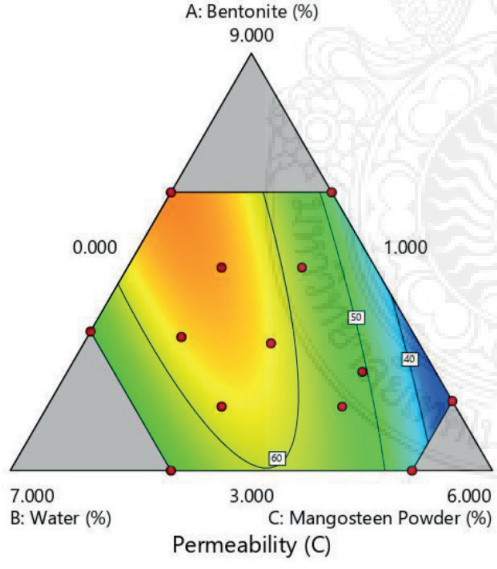
รูปที่ 5 กราฟ Trace ของความสามารถในการรับแรงอัดในชื้น



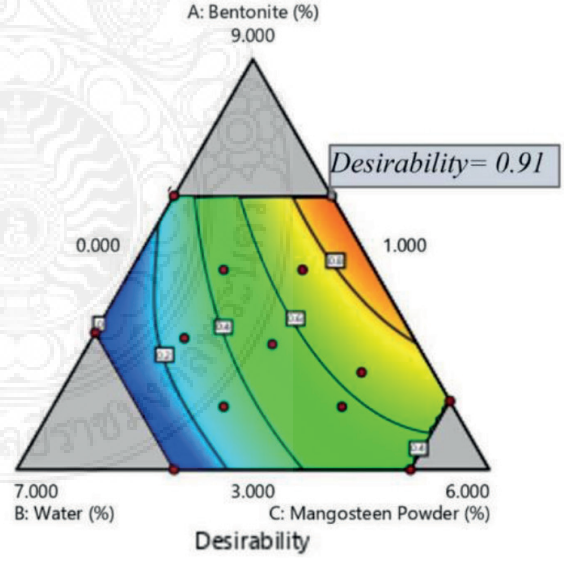
รูปที่ 6 เส้นโครงร่างของค่าความแข็งของแบบหล่อทรายชื้น



รูปที่ 8 เส้นโครงร่างความแข็งแรงทางอัดแบบหล่อทรายชื้น



รูปที่ 7 เส้นโครงร่างความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่านในชื้น



รูปที่ 9 เส้นโครงร่างของสมบัติแบบหล่อทรายชื้นที่เหมาะสม

การวิเคราะห์ฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability, Des.) กำหนดให้ค่าความแข็งของแบบหล่อทรายชื้น ความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่านและความแข็งแรงทางอัดแบบหล่อทรายชื้นมีค่าสูงที่สุด พบว่าส่วนผสมที่มีค่าความพึงพอใจมากที่สุด เท่ากับ 0.91 แสดงดังรูปที่ 9 คือ เบนโทไนต์ร้อยละ 7 น้ำร้อยละ 1 และผงเปลือกมังคุดร้อยละ 2 ซึ่งการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดโดยให้ผลตอบสนองของความแข็งแรงทางอัดแบบหล่อทรายชื้น ความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่าน และค่าความแข็งของแบบหล่อทรายชื้นมีค่าผลตอบสนองที่เหมาะสมที่สุดร่วมกัน โดยการใช้เทคนิคการซ้อนทับกันของกราฟเส้นโครงร่างของผลตอบสนองแต่ละตัวมาวางซ้อนทับกัน (Overlay Plot) โดยกำหนดเงื่อนไขของค่าความแข็งแรงทางอัดแบบหล่อทรายชื้นที่อยู่ในช่วง ประมาณ 0.65–0.95 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่านอยู่ในช่วง 30-70 และค่าความแข็งของแบบหล่อทรายชื้นอยู่ในช่วง 70-90 Scale B ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของแบบหล่อทรายที่ใช้สำหรับชิ้นงานหล่อทั่วไป [12] จากการวิเคราะห์พบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ระดับของส่วนผสมที่มี เบนโทไนท์ (A) ร้อยละ 7, น้ำ (B) ร้อยละ 1 และผงเปลือกมังคุด (C) ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ซึ่งทำให้ได้ค่าความแข็งแรงทางอัดแบบหล่อทรายชื้นประมาณ 0.71 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่าน 47.36 และค่าความแข็งของแบบหล่อทรายชื้น 94.02 Scale B

ตารางที่ 4 แสดงเป้าหมายในการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับคุณสมบัติของแบบหล่อทรายชื้น

No	A	B	C	Hard.	Perm	GSC.	Des.
1	7.00	1.00	2.00	94.02	0.71	47.36	0.91
2	3.50	1.50	5.00	0.61	38.60	47.36	0.60

4. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม และการวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของแบบหล่อทรายชื้น ทำให้สมบัติของแบบหล่อทรายชื้นตรงตามความต้องการ โดยส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่ทำการทดลองคือ ทรายที่ใช้งานแล้ว มีส่วนผสมที่ร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก ในขณะเดียวกันใช้ส่วนผสมที่ประกอบด้วย เบนโทไนต์ น้ำ และผงเปลือกมังคุด โดยมีเงื่อนไขข้อจำกัดอยู่ในหน่วยเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก คือ $3 < A < 7$, $1 < B < 5$ และ $0 < C < 5$ โดยที่ A, B และ C คือ เบนโทไนต์ น้ำ และผงเปลือกมังคุด ตามลำดับ สมบัติของแบบหล่อทรายชื้นที่ถูกนำมาประเมินหาส่วนผสมที่เหมาะสมของแบบหล่อทราย ได้แก่ ความแข็งแรงทางอัดแบบหล่อทรายชื้น ความสามารถในการปล่อยซึมอากาศผ่าน และค่าความแข็งของแบบหล่อทรายแบบหล่อทรายชื้น ผลการวิเคราะห์พบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดประกอบด้วยส่วนผสมของทรายที่ใช้แล้วร้อยละ 90 เบนโทไนต์ร้อยละ 7 น้ำร้อยละ 1 และผงเปลือกมังคุดร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ซึ่งทำให้ได้ค่าของความแข็งแรงทางอัดแบบหล่อทรายชื้น ความสามารถในการปล่อยซึมอากาศผ่าน และค่าความแข็งของแบบหล่อทรายแบบหล่อทรายชื้นที่ได้เท่ากับ 0.71 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร, 47.36 และ 94.02 Scale-B ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของแบบหล่อทรายชื้นที่ใช้ได้ผลสำหรับชิ้นงานหล่อทั่วไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ประณุต พรหมลักษณ์ หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ให้การสนับสนุนด้านทักษะการทำแบบหล่อทรายชื้น และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สำหรับการเอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำวิจัยมา ณ โอกาสนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] P. Beeley, *Foundry technology*, 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.

[2] P.L. Jain, *Principles of foundry technology*, 5th ed. Tata McGraw-Hill Education, 2014.

[3] R. Khuengpukheiw and Ch. Saikaew, "Effect of Molding Sand Compositions on Molding Sand Properties and Cast Iron Products," *KKU Research Journal*, vol. 15, no. 4, pp. 45-61, 2015.

[4] A.P.I. Popoola, "Effect of molasses, cassava starch, and Arabic gum on mechanical strength of foundry core," *Journal of scientific and industrial research*, vol. 70, no. 12, pp. 1029-1032, Dec. 2011.

[5] A. Islam, et al., "A review of recent developments on the regulatory, structural and functional aspects of gum Arabic," *Food Hydrocolloids*, vol. 11, no. 4, pp. 493-505, 1997.

[6] C. Bhawat, "Factors affecting strategic marketing decisions in agriculture: a study of fruit farmers in Thailand," Ph.D. dissertation, Massey University, New Zealand, 2017.

[7] P.Sirintorn, "*(peels) Mangosteen"* Department of Pharmaceutical Chemistry and Pharmacognosy faculty of Pharmaceutical Science, Naresuan University, Thailand, 2015.

[8] Development Economic Review, vol.12 Department of Primary Industrial and mines. Ministry of industry. Thailand, 2016.

[9] B. Pensuriya, *Tannin from leaves of guava, sugar apple, Mangosteen and mangosteen peels for silk natural mordant*, Bangkok: Kasetsart University Press, 2014.

[10] Ch. Saikaew, and S. Wiengwiset, "Optimization of molding sand composition for quality improvement of iron castings," *Applied* Clay Science, vol. 67-68, pp. 26-31, Oct. 2012.

[11] Ch. Saikaew, S. Wiengwiset and A. Sriboonruang, "Improving the properties of sand molds in the iron casting industry using mixture experiments," *KKU Research Journal*, vol. 16, no. 2, pp. 169-178, 2011.

[12] S. Guharaja, A. Noorul Haq and K.M. Karuppannan, "Optimization of green sand casting process parameters by using Taguchi's method," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* vol. 30, no. 11-12, pp. 1040-1048, Feb. 2006.

[13] R.R. Kundu and B.N. Lahiri, "Study and statistical modelling of green sand mold properties using RSM," *International Journal of Materials and Product Technology*, vol. 31, no. 2/3/4, pp. 143-158, Apr. 2008.

[14] American Foundry Society, *Mold & Core Test Handbook,* 4th ed., North Penny Lane Schaumburg, 2015.

[15] W. Meethom and Ch. Rujthinnakit "Determining mixture components of sand mold by using mixture design of experiment: case study iron fitting industry," *RMUTP Research Journal*, vol. 9, no. 2, pp. 74-84, Sep. 2015.