

การศึกษาคุณสมบัติทรายบริเวณรอบภูเขาทับยายเชียง
สำหรับการหล่อแบบทรายขึ้น
A STUDY ON THE PROPERTIES OF SAND AT THAP YAI CHIANG
MOUNTAIN AREA FOR GREEN SAND CASING

สิริเดช กุลหิรัญบวร
Siridech Kunhirunbowon

Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University
corresponding author e-mail: siridech_k@psru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทรายจากแหล่งทรายบริเวณรอบภูเขา ทับยายเชียง อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก สำหรับใช้ในการหล่อแบบทรายขึ้น โดยทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และทดสอบคุณสมบัติในการทำแบบหล่อ ตามมาตรฐานของสมาคม American Foundry Society (A.F.S.) ประกอบด้วยการทดสอบความแข็งแรงอัดขณะขึ้นและความสามารถในการปล่อยซีเมนต์อากาศ โดยการออกแบบการทดลอง (design of experiment) เป็นเชิงแฟกทอเรียล ซึ่งปัจจัยในการทดลองได้แก่ ทราย น้ำ และเบนโทไนต์ ผลการศึกษาพบว่า ทรายบริเวณรอบภูเขา มีปริมาณซิลิการ้อยละ 96.95 ค่าความละเอียดของเม็ดทรายร้อยละ 50.47 และอัตราส่วนผสมสำหรับทำแบบหล่อทรายขึ้นที่เหมาะสมที่สุดคือ ส่วนผสมของทรายร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก ส่วนผสมของน้ำร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก ส่วนผสมของเบนโทไนต์ร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก ทำให้ขึ้นงานทดสอบมีความแข็งแรงอัดขณะขึ้น (green compressive strength) 25.66 kN/m^2 และมีความสามารถในการปล่อยซีเมนต์อากาศ (permeability) 179.16 ดังนั้นจึงเป็นการค้นพบทรายแหล่งใหม่ที่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการหล่อแบบทรายขึ้นได้

คำสำคัญ: ทรายทำแบบหล่อ ทรายบริเวณรอบภูเขา หล่อแบบทรายขึ้น

Abstract

This research study examines the properties of sand at mountain areas from Baan Thap Yai Chiang, Phromphiram District in Phitsanulok, which is used in greensand casting. The study tested physical properties, chemical compositions and molding test attributes under the standards of the American Foundry Society (AFS) including green compressive strength (GCS) and permeability. The Design of Experiment (DOE) is two-level factorial designs which mixtures including sand, water, and bentonite. The results of the study showed that sand in the studied mountain areas contained 96.95% of silica, and 50.47% of grain fineness. The appropriate greensand casting ratio is 90.00% w/w of sand, 6.00% w/w of water and 8.00% w/w of bentonite, which had a positive impact to

green compressive strength and permeability. Therefore, the sands in the selected mountain areas are likely to become a new source for greensand casting process.

Keywords: green sand casting, sand properties, silica sand

บทนำ

การหล่อโลหะด้วยกระบวนการหล่อแบบทรายขึ้นถูกนำมาใช้ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันโดยทั่วไปแล้วทรายที่นำมาใช้ทำแบบหล่อเป็นทรายที่มีปริมาณซิลิกา (SiO_2) สูง คุณสมบัติเหมาะสมกับการหล่อ เช่น ทนความร้อนได้ดี มีความแข็งแรงทนต่อแรงอัดของน้ำโลหะ มีความแน่นและรักษารูปทรงได้ดี สามารถระบายแก๊สได้ดีขณะเทน้ำโลหะ ปัจจุบันทรายที่ใช้ในอุตสาหกรรมหล่อโลหะในประเทศไทยที่ใช้กันมาจากแหล่งทรายในจังหวัดระยอง และแหล่งทรายจากต่างประเทศ ทำให้มีต้นทุนการผลิตสูง (Saengjan et al., 2011) อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่องบประมาณ เพื่อจัดหาทรายสำหรับสอนในรายวิชาที่เกี่ยวกับงานหล่อโลหะ ของสถาบันการศึกษา ที่มีการเรียน การสอน งานหล่อโลหะ ที่ไม่ได้อยู่ใกล้แหล่งทราย ซึ่งเป็นอุปสรรคในการผลิตกำลังคนให้สอดคล้องกับการพัฒนาประเทศ จากปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องศึกษาวิจัย ค้นหาแหล่งทรายที่มีคุณสมบัติเหมาะสมแหล่งใหม่ที่เป็นทรายบก จากที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติทรายที่ใช้ในการหล่อ ในแหล่งอื่น ๆ ดังเช่น Saengjan et al. (2011) ทำวิจัยเกี่ยวกับการเปรียบเทียบคุณสมบัติทรายหล่อแต่ละแหล่งในประเทศไทย พบว่าทรายจังหวัดจันทบุรีและตราดมีปริมาณซิลิการ้อยละ 99.20 ทรายจังหวัดสงขลามีปริมาณซิลิการ้อยละ 99.00 ทรายจังหวัดชุมพรและระยองมีปริมาณซิลิการ้อยละ 98.80 ค่าความแข็งแรงขณะขึ้นสูงที่สุดอยู่ในช่วงปริมาณส่วนผสมที่ความชื้นร้อยละ 2 และที่เบนโทไนต์ร้อยละ 6 ซึ่งทรายจากจังหวัดระยอง มีค่าความแข็งแรงอัดขณะขึ้นสูงที่สุด ในส่วน Chaison et al. (2011) นำทรายแม่น้ำโขงมาทำแบบหล่อแบบเปลือก พบว่าคุณสมบัติทรายแม่น้ำโขงมีปริมาณซิลิการ้อยละ 88.43 มีค่าความละเอียดของเม็ดทรายร้อยละ 49.75 และมีค่าความแข็งแรงอัดขณะขึ้นที่สามารถทำแบบหล่อแบบเปลือกได้ ในกระบวนการหล่อทรายขึ้น ส่วนผสมที่เหมาะสมจะทำให้ได้คุณสมบัติของแบบหล่อทรายที่ดี Meedom & Rujatinakrit (2015) ได้ทำวิจัยเกี่ยวกับการหาส่วนผสมแบบหล่อทราย โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมและวิธีพื้นผิวผลตอบสนอง พบว่าอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดคือ ทรายผ่านการใช้แล้วร้อยละ 95.54 เบนโทไนต์ร้อยละ 1.13 น้ำร้อยละ 2.33 และทรายใหม่ร้อยละ 1 ทำให้มีความแข็งแรงอัดขณะขึ้น และสามารถในการปล่อยซึมอากาศที่เหมาะสม และ Saikaew et al. (2011) หาอัตราส่วนผสมแบบหล่อทรายที่เหมาะสมด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบสนอง ผลของอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมอยู่ที่ระดับ ทรายร้อยละ 93.20 เบนโทไนต์ร้อยละ 5 น้ำร้อยละ 1.80 ทำให้ได้ความแข็งแรงอัดในขณะขึ้น และสามารถในการปล่อยซึมอากาศดีที่สุด คุณสมบัติของแบบทรายหล่อที่ดียังขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดทรายด้วย ซึ่ง Jakubski et al. (2011) ได้ทำวิจัยเกี่ยวกับ อิทธิพลของขนาดเม็ดทรายในแบบหล่อทราย ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบควบคุมคุณภาพในงานหล่อทราย พบว่าขนาดของเม็ดทรายมีผลต่ออัตราส่วนผสมของน้ำ และเบนโทไนต์ ที่ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงอัดขณะขึ้น และสามารถในการปล่อยซึมอากาศของทรายแตกต่างกัน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาทรายบก ที่มีคุณสมบัตินำมาหล่อแบบทรายขึ้นได้ จากแหล่งทรายบริเวณรอบภูเขา ตำบลห้วยเยี่ยง อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดศรีสะเกษ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับเลือกใช้ในงานหล่อทรายขึ้น โดยทดสอบองค์ประกอบทางเคมี และทดสอบสมบัติในการทำแบบหล่อทรายขึ้น

ตามมาตรฐานของสมาคม A.F.S. ประกอบด้วยการทดสอบความแข็งแรงอัดขณะขึ้น และความสามารถในการปล่อยซึมอากาศ โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เป็นเชิงแฟกทอเรียล โดยมีปัจจัยที่ใช้ ได้แก่ ทราย เบนโทไนต์ และน้ำ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เตรียมทรายทดสอบ และส่วนผสมในการทดสอบ ซึ่งส่วนผสมที่ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติทรายหล่อ ประกอบด้วย ทราย เบนโทไนต์ และน้ำ วิธีการเตรียมทรายทดสอบ คือ นำทรายตัวอย่างบริเวณรอบภูเขา ตำบลทับยายเชียง อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก มาทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด จนกระทั่งน้ำที่ล้างใสไม่มีสีขุ่นดิน แล้วนำทรายไปแผ่กระจายตากแดดให้แห้ง หลังจากนั้นนำมาทำการร่อนกำจัดเศษวัชพืช และสิ่งเจือปนอื่น ๆ ด้วยตะแกรงร่อนขนาดช่องเปิดเท่ากับ 1.50 มิลลิเมตร และเตรียมโซเดียมเบนโทไนต์ (Na-bentonite) เป็นตัวประสาน

2. ทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของทราย โดยการนำทรายที่เตรียมไว้ จำนวน 100 g ไปทำการวิเคราะห์ธาตุ เพื่อหาส่วนประกอบทางเคมี ด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-ray Fluorescence (EDXRF) ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น % w/w (ร้อยละโดยมวลของธาตุที่ตรวจพบ)

3. ทดสอบหาความละเอียดของเม็ดทราย และขนาดเม็ดทราย โดยใช้เครื่องตะแกรงคัดขนาดแบบใช้แรงสั่นสะเทือน (Vibratory Sieve Shaker) ด้วยการนำทรายที่เตรียมไว้ มาชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 3 ตำแหน่ง ให้น้ำหนัก 100 กรัม แล้วนำไปใส่ตะแกรงที่เรียงไว้ ที่ชั้นบนสุด ตั้งแต่ตะแกรงเบอร์ 6, 12, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 140, 200 และ 270 ตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) หลังจากนั้นเปิดเครื่องเขย่า 15 นาที นำทรายที่ค้างแต่ละตะแกรงมาชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 3 ตำแหน่ง และค่าที่ได้จากการชั่ง นำไปคำนวณหาค่าความละเอียด และการกระจายตัวของขนาดเม็ดทรายต่อไป

4. การออกแบบการทดลอง เป็นเชิงแฟกทอเรียล 3 ปัจจัย คือ ทราย (A) น้ำ (B) และ เบนโทไนต์ (C) แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ซึ่งมีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ดังตาราง ที่ 1 (Table 1) และทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง รวมการทดลองทั้งหมด $2^3 \times 3 = 24$ ครั้ง

Table 1 Two-level factorial mixtures

Level	Sand (A) (g)	Water (B) (g)	Bentonite (C) (g)
1	90	6	4
2	94	8	8

5. การทดสอบความแข็งแรงอัดขณะขึ้นและความสามารถในการปล่อยซึมอากาศ

5.1 วิธีการเตรียมทรายตัวอย่างสำหรับทดสอบ โดยทำการผสมทรายหล่อแต่ละชุดตามตารางออกแบบการทดลอง มาใส่ในกระบอกมาตรฐาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว และตีอัดทรายในกระบอกด้วยเครื่องมืออัดทราย (sand rammer) โดยใช้ลูกตุ้มหนัก 14 ปอนด์ ยกสูงจากฐานรับลูกตุ้ม 2 นิ้ว แล้วปล่อยให้ตกกระแทกทรายในกระบอก 3 ครั้ง ให้แท่งทรายตัวอย่างมีความสูง 2 นิ้ว โดยมีค่า $\pm 1/32$ นิ้ว ของความสูงขึ้นงานทดสอบ

5.2 วิธีการทดสอบความสามารถในการปล่อยซีเมนต์อากาศโดยการนำขึ้นทรายทดสอบแต่ละชุดจากการเตรียมทรายตัวอย่างที่ติดแล้ว ไปทำการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบความปล่อยซีเมนต์อากาศ (electric permeability meter) แล้วบันทึกผลค่าการปล่อยซีเมนต์อากาศ

5.3 วิธีการทดสอบความแข็งแรงอัดขณะขึ้น โดยการนำขึ้นทรายตัวอย่างแต่ละชุดที่ติดแล้ว ไปทำการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบความแข็งแรงอัดขณะขึ้นของทรายแบบ (universal sand strength machine) แล้วบันทึกผล

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์ธาตุทางองค์ประกอบทางเคมี ด้วยการทดสอบจากเครื่อง EDXRF พบว่า ทรายบริเวณรอบภูเขา มีองค์ประกอบทางเคมี คือ SiO_2 ร้อยละ 96.95 Fe_2O_3 ร้อยละ 1.47 Al_2O_3 ร้อยละ 1.35 และ WO_3 ร้อยละ 0.23

2. ผลการทดสอบหาความละเอียดของเม็ดทรายโดยมีร้อยละตกค้างสูงสุดที่ตะแกรงเบอร์ 50 และเบอร์ 70 ซึ่งมีค่าความละเอียดของเม็ดทรายที่ร้อยละ 50.47 ดังตารางที่ 2 (Table 2)

Table 2 The result of Grain Fineness Number Calculation

ASTM Mesh No.	percent retained	multiplier	product
6	0.00	3	0.00
12	0.00	5	0.00
20	0.67	10	6.70
30	5.35	20	107.00
40	11.37	30	341.10
50	29.15	40	1,166.00
70	28.78	50	1,439.00
100	14.30	70	1,001.00
140	5.57	100	557.00
200	1.66	140	232.40
270	0.22	200	44.00
Pan	0.02	300	6.00
Total	97.09		4,900.2
Grain Fineness Number (AFS GFN, Calculation)			50.47%

โดยมีขนาดลักษณะการกระจายตัวของเม็ดทราย ดังแสดงเป็นลักษณะกราฟดังภาพที่ 1 (Figure 1) ซึ่งกราฟที่ได้เป็นลักษณะโค้งปกติ มีการกระจายตัวของเม็ดทรายที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 20-270 และทรายที่ตกค้างบนตะแกรง มีจำนวนมากอยู่ที่ตะแกรงเบอร์ 50

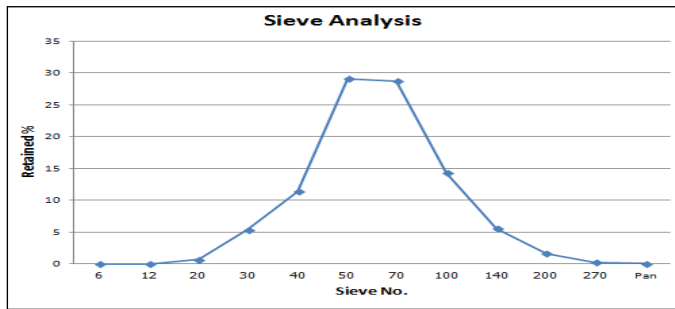


Figure 1 Sands distributed of sieve analysis

3. ผลการทดสอบคุณสมบัติทรายในการทำแบบหล่อ ในด้านความแข็งแรงอัดขณะขึ้นและ
 ความสามารถในการปล่อยซึ่มีอากาศ ซึ่งอ้างอิงจากการออกแบบการทดลอง เชิงแฟกทอเรียล โดย
 ตรวจสอบความถูกต้องของโมเดลจากค่าส่วนตกค้างจะต้องมีการแจกแจงปกติ ค่าความแปรปรวนของ
 ส่วนตกค้างปัจจัยต่าง ๆ จะต้องมืค่าคงที่ ค่าส่วนตกค้างต้องมีการกระจายตัวแบบสุ่ม จากค่า p -value
 (Montgomery, 2013) ทั้งค่าความแข็งแรงอัดขณะขึ้น และค่าความสามารถในการปล่อยซึ่มีอากาศ
 พบว่าโมเดลการทดลองทุกค่าตอบสนองไม่มีความผิดปกติแต่อย่างใด ดังภาพที่ 2 (Figure 2)

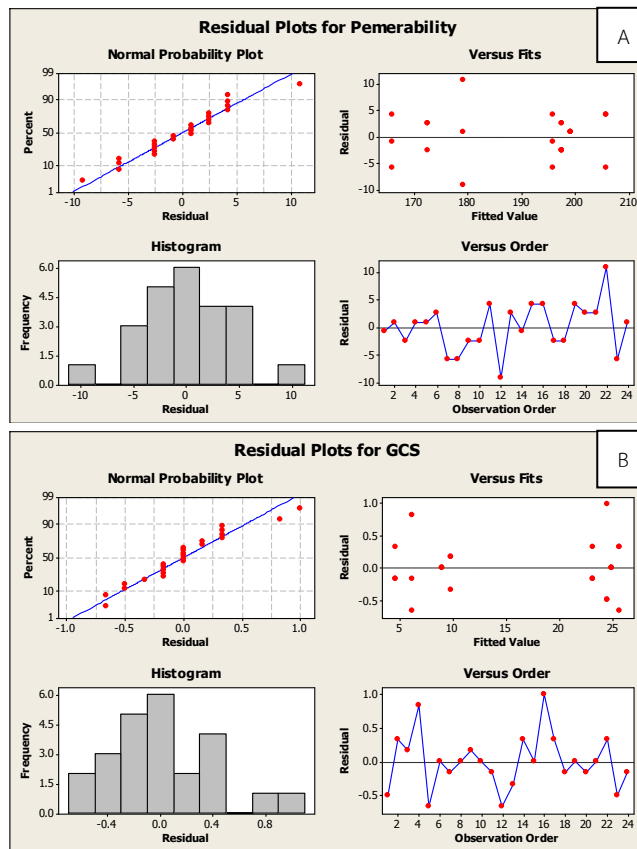


Figure 2 Residual plots

A) Residual plots for permeability B) Residual plots for GCS

การศึกษาปัจจัยอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของทรายร้อยละ 90 น้ำร้อยละ 6 และเบนโทไนต์ร้อยละ 8 เมื่อผสมกันแล้ว ให้ค่าความแข็งแรงอัดขณะขึ้น (GCS) สูงสุด คือ 25.66 kN/m^2 และค่าความสามารถในการปล่อยซึมอากาศสูงสุด คือ 179.16 ดังภาพที่ 3 (Figure 3)

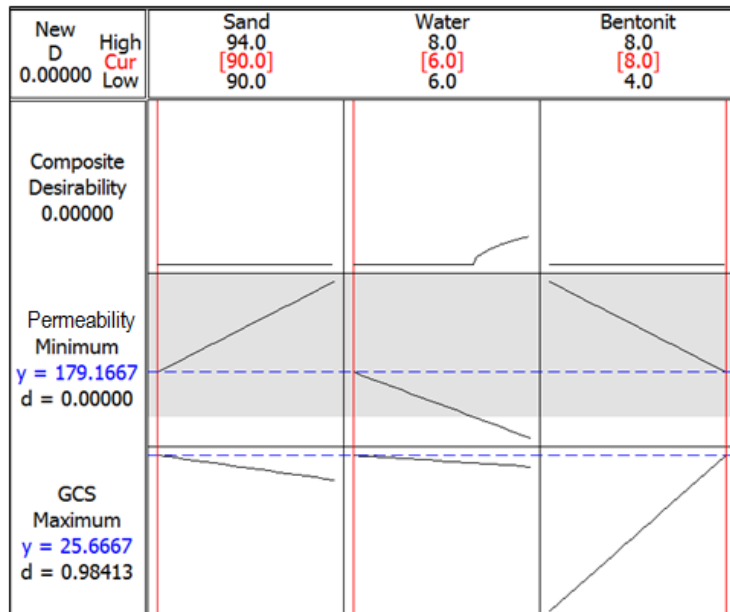


Figure 3 The Result of Optimization

อภิปรายผล

ทรายบริเวณรอบภูเขา ต.ทับยายเชียง อ.พรหมพิราม จ.พิษณุโลก มีผลการวิจัยพบว่าทรายมีส่วนประกอบ SiO_2 ร้อยละ 96.95 มีค่าความละเอียดของเม็ดทรายที่ร้อยละ 50.47 และขนาดของเม็ดทรายที่ตกค้างในตะแกรงเบอร์ 50-70 มากที่สุด จึงเหมาะสมที่ใช้เป็นทรายหล่อเพราะมีปริมาณ SiO_2 ที่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 และมีขนาดของเม็ดทรายหล่อในช่วง AFS Grain Fineness Number 50-60 (Brown, 1994) อีกทั้งผลจากการทดลองนำทรายมาผสมกับตัวประสานเบนโทไนต์ และน้ำเพื่อนำไปทำแบบหล่อทรายขึ้น โดยออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล พบว่าปัจจัยอัตราส่วนของน้ำและเบนโทไนต์ มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของแบบหล่อทรายขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการประสานยึดเกาะกัน โดยการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างทรายกับตัวประสาน และระหว่างตัวประสานเอง (Sarkar, 1967) เมื่อผสมเบนโทไนต์มากขึ้นทำให้ค่าความแข็งแรงอัดขณะขึ้น (GSC) เพิ่มขึ้นแต่ค่าความสามารถในการปล่อยซึมอากาศลดลง (Atanda et al., 2012) ซึ่งมีอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำที่เหมาะสมจำนวนร้อยละ 6 และเบนโทไนต์จำนวนร้อยละ 8 เมื่อผสมกับทรายที่มีอัตราส่วนร้อยละ 90 โดยน้ำหนักของทราย ให้ค่าความแข็งแรงอัดขณะขึ้นสูงสุด คือ 25.66 kN/m^2 และให้ค่าความสามารถในการปล่อยซึมอากาศ 179.16 ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า สามารถนำไปใช้เป็นอัตราส่วนผสมเพื่อทำแบบหล่อทรายในกระบวนการหล่อแบบทรายขึ้นที่มีขนาดน้ำหนักไม่มากได้ อย่างไรก็ตามหาก

ต้องการนำทรายจากแหล่งทรายดังกล่าว ไปใช้ในกระบวนการหล่อที่มีน้ำหนักมาก ควรศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพตัวประสานชนิดพิเศษเพื่อให้คุณสมบัติของทรายหล่อดีขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาทรายบริเวณภูเขา ที่มีคุณสมบัตินำมาทำแบบหล่อทราย จากแหล่งทรายใหม่บริเวณรอบภูเขา ต.ทับยายเชียง อ.พรหมพิราม จ.พิษณุโลก เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับเลือกใช้งานหล่อแบบทรายขึ้นนั้น พบว่า แหล่งทรายบริเวณภูเขานี้ มีคุณสมบัติที่สามารถนำมาทำแบบหล่อทราย ในกระบวนการหล่อแบบทรายขึ้นได้ เนื่องจากมีปริมาณส่วนประกอบ SiO_2 ร้อยละ 96.95 และมีขนาดของเม็ดทราย (Mesh No.) 50-70 มีค่าความละเอียดของเม็ดทรายที่ร้อยละ 50.47 โดยมีค่าความแข็งแรงอัดขณะขึ้นสูงสุดคือ 25.66 kN/m^2 และค่าความสามารถในการปล่อยซีเมนต์อากาศ สูงสุดคือ 179.16

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.สารัมภ์ บุญมี รองผู้อำนวยการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำสนับสนุน อีกทั้งอำนวยความสะดวกในด้านการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ วิจัย และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือทดสอบอย่างดียิ่ง อีกทั้งขอขอบคุณ อาจารย์ธนากร จันทร์ศรีชา อาจารย์มนตรี มูลทองคำ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ช่วยงานวิจัยอย่างดียิ่งไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- Atanda PO, Olorunniwo OE, Alonge K. et al. Comparison of bentonite and cassava starch on the moulding properties of Silica Sand, *International Journal of Materials and Chemistry*, 2012; 2(4): 132-136.
- Brown JR. *Foseco Foundryman's Handbook*. 10th edition. Oxford: Butterworth-Heinemann; 1994.
- Chaison T, Lee S, Chokesawat S. *Shell Mould Casting by using Khong River Sand*. In Proceeding of network industrial engineer conference 2011; 2011: 861-871.
- Jakubski J, Dobosz SM, Major-Gabrys K. Influence of molding sands grain size on the effectiveness of quality control systems, *Archives of Foundry Engineering*. 2011; 11(2): 47-50.
- Meetom V, Rujatinakrit C. Determining mixture components of sand mold by using mixture design of experiment: case study in iron fitting industry, *Rajamangala University of Technology Phra Nakhon Research Journal*. 2015; 9(2): 74-84.
- Montgomery DC. *Design and Analysis of Experiments*. 8th edition. Singapore: John Wiley & Sons, Inc; 2013.
- Saengjan B. Thaveesin K. Poolthong N, Comparison of Molding Sand from Various Sources in Thailand, *King Mongkut's University of Technology Thonburi Research and Development Journal*. 2011; 24(1): 57-68.
- Saikaew C, Wiengwiset S, Sriboonruang A. Improving the properties of sand molds in the iron casting industry using mixture experiments, *Khon Kaen University Research Journal*. 2011; 16(2): 169-178.
- Sarkar AD. *Mould & Core Material for the Steel Foundry*. Oxford: Pargamon Press; 1967.