การเปรียบเทียบคุณสมบัติทรายหล่อแต่ละแหล่งในประเทศไทย

บรรเจิด แสงจันทร์ [1]
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพายัพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 13000
กอบสิน ทวีสิน [2] **และ นุชธนา พูลทอง** [3]
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงคุณสมบัติของทรายซิลิก้า (SiO_2) ที่จะใช้เป็นแบบหล่อจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทยที่มีปริมาณซิลิก้าอยู่ค่อนข้างมาก 5 แหล่ง คือ จังหวัดระยอง จันทบุรี ตราด ชุมพร และสงขลา โดยนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และทดสอบสมบัติในการทำแบบหล่อ

การวิจัยพบว่าทรายจังหวัดจันทบุรีและตราดมีปริมาณซิลิก้าสูงที่สุดคือมี 99.2% รองลงมาคือทรายจังหวัดสงขลามีปริมาณซิลิก้า 99% สำหรับทรายจังหวัดระยองและตราดมีปริมาณซิลิก้า 98.8% ขนาดและการกระจายตัวของทรายพบว่าทรายทุกแหล่งมีปริมาณเม็ดทรายขนาด 0.150 mm มากที่สุด โดยทรายจังหวัดระยองและสงขลามีปริมาณเม็ดทรายที่มีขนาด 0.150 mm ในปริมาณมากที่สุดคือ 68% และ 69% ตามลำดับ ทรายจังหวัดระยองและสงขลามีการกระจายตัวที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด ทรายจังหวัดจันทบุรีเป็นทรายที่มีการกระจายตัวกว้างกว่าทรายแหล่งอื่น คือมีขนาดตั้งแต่ 0.106 mm ถึง 0.710 mm.

จากการทดสอบคุณสมบัติในการทำแบบหล่อพบว่าทรายทุกแหล่งให้ค่าความต้านทานแรงอัดในสภาวะชื้น (Green Compressive Strength, GCS) สูงในช่วงปริมาณความชื้น 2-3% ทรายจังหวัดจันทบุรีให้ค่าที่สูงสุดคือ 116 kN/m^2 สำหรับค่าความสามารถในการปล่อยซึมอากาศ (permeability) พบว่าทรายจังหวัดจันทบุรีและทรายจังหวัดตราดให้ค่าที่สูงที่สุด ค่าความต้านทานแรงอัดขณะแห้ง (Dry Compressive Strength, DCS) พบว่าทรายจังหวัดสงขลาให้ค่าสูงสุดคือ 974.22 kN/m^2 แต่เมื่อปริมาณความชื้นมีค่าสูงขึ้นถึง 8% พบว่าทรายจังหวัดชุมพรให้ค่า DCS สูงที่สุด

คำสำคัญ : ทรายทำแบบหล่อ / คุณสมบัติของทรายทำแบบหล่อ

---

[1] *อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ*
[2] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ*
[3] *อาจารย์ สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานและวัสดุ*

Comparison of Molding Sand from Various Sources in Thailand

Banjerd Seanjun [1]

Rajamangala Institute of Technology, Chiang Mai Northern Campus, Chiang Mai 13000

Kobsin Thaveesin [2] **and Nuchthana Poolthong** [3]

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

Abstract

This research study of properties of silica (SiO_2) sands from five different sources in Thailand, namely Rayong, Chantaburi, Trad, Chumporn, and Songkla. Physical properties, chemical compositions, molding properties were investigated.

The results showed that the sands from Chantaburi and Trad had the highest silica content of 99.2%. The sands from Songkla contained slightly lower silica content of 99%, and those from Rayong and Chumporn 98.8%. When considering sand size and distribution, it was found that largest percentage of the sands had the average particle size of around 0.150 mm accounting for almost 70% (68 - 69%) for sand from Rayong and Songkla. The size distribution of sands from Chantaburi were the widest (0.106 - 0.710 mm) compared to those from other sources.

The results of molding properties showed that all sands had highest Green Compressive Strength (GCS) at moisture content of 2 - 3%. Sand from Chantaburi gave the highest value of GCS at 116 kN/m^2. In the case of permeability properties, the values decreased in the order of Chantaburi, Trad, Chumporn, Rayong and Songkla. The Dry Compressive Strength (DCS) of the sand from Songkla gave the greatest value at 974.22 kN/m^2 compared to the others. However, when the moisture content of the sands was 8%, the greatest value of DCS was given by the sand from Chumporn.

Keywords : Molding Sand / Properties of Molding Sand

---

[1] *Lecturer, Department of Production Engineering.*

[2] *Assistant Professor, Department of Production Engineering.*

[3] *Lecturer, Division of Materials Technology, School of Energy and Materials.*

1. บทนำ

แบบหล่อนับว่าเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมหล่อโลหะ ซึ่งแบบหล่อสามารถจำแนกออกได้เป็นหลายประเภท แบบหล่อทรายเป็นแบบหล่อที่นิยมใช้แบบหนึ่งตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน โดยทั่วไปแล้วทรายที่นำมาใช้ทำแบบหล่อเป็นทรายซิลิก้า (SiO_2) ผสมกับตัวประสานที่เหมาะสมเพื่อให้ทรายสามารถยึดเกาะกันได้ดีทำให้ได้แบบหล่อที่แข็งแรง ซึ่งการผลิตชิ้นงานหล่อที่ดีนั้นควรเริ่มต้นตั้งแต่แบบหล่อที่ดี ในกรณีของแบบหล่อทราย ทรายที่นำมาใช้ทำแบบหล่อควรเป็นทรายที่มีสมบัติเหมาะสมกับการทำเป็นแบบหล่อ ซึ่งสมบัติของทรายทำแบบหล่อที่เหมาะสมมีดังต่อไปนี้ [1]

1. ทนความร้อนได้สูง
2. สามารถระบายแก๊สได้ดีพอในขณะเทน้ำโลหะ
3. มีความแข็งแรงทนต่อแรงอัดของน้ำโลหะ
4. มีความแน่นและรักษารูปทรงได้ดี
5. ทำลายหรือสลายตัวได้ง่ายหลังจากการหล่อโลหะและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้
6. ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเมื่อนำมาใช้งาน

แหล่งทรายในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นทรายซิลิก้า จากการสำรวจทางธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณีพบว่าทรายที่มีปริมาณซิลิก้าสูงจะอยู่ใกล้ทะเล ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีการนำทรายจากแหล่งเหล่านั้นมาใช้ทำแบบหล่อมากนัก นอกจากทรายจากจังหวัดระยอง ซึ่งเป็นทรายที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมหล่อโลหะในประเทศไทย ปัจจุบันทรายจังหวัดระยองมีปริมาณลดลงและคุณสมบัติอื่นๆ ที่มีผลต่อการหล่อเริ่มเปลี่ยนแปลงไป

ปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งสำหรับชิ้นงานที่ผ่านงานหล่อคือข้อบกพร่องของชิ้นงานที่เกิดจากการใช้ทรายที่ไม่มีคุณภาพในการทำแบบหล่อ โรงหล่อที่หล่อชิ้นงานคุณภาพสูงแก้ปัญหานี้โดยการนำเข้าทรายหล่อจากต่างประเทศทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น การแก้ปัญหาเรื่องนี้ทำได้โดยการหาแหล่งทรายที่มีคุณภาพภายในประเทศ

งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติทรายหล่อแต่ละแหล่งในประเทศไทยในเรื่องสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของทรายทำแบบหล่อจากแหล่งต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานให้กับอุตสาหกรรมหล่อโลหะในเรื่องของคุณภาพของทรายหล่อภายในประเทศว่าเป็นอย่างไร และเหมาะสมกับการทำแบบหล่อหรือไม่ เพื่อที่จะได้ลดปริมาณการนำเข้าทรายจากต่างประเทศและลดต้นทุนการผลิต

2. การทดลอง

เก็บตัวอย่างทรายจากจังหวัดระยอง จันทบุรี ตราด ชุมพร และสงขลา จังหวัดละหนึ่งแหล่ง ซึ่งแต่ละแหล่งถือเอาพิกัดตามแผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:50,000 ของกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรมดังต่อไปนี้

1. แผนที่แหลมทองหลาง ลำดับชุด L7017, ระวาง 5334 III พิมพ์ครั้งที่ 1-RTSD, UTM Zone47
2. แผนที่อำเภอเขาสมิง ลำดับชุด L7017, ระวาง 5434 I พิมพ์ครั้งที่ 1-RTSD, UTM Zone48
3. แผนที่อำเภอคลองใหญ่ ลำดับชุด L7017, ระวาง 5532 I พิมพ์ครั้งที่ 1-RTSD, UTM Zone48
4. แผนที่อำเภอปะทิว ลำดับชุด L7017, ระวาง 4830 II พิมพ์ครั้งที่ 1-TPC(29ETB), (RTSD-1), UTM Zone47
5. แผนที่จังหวัดสงขลา ลำดับชุด L7017, ระวาง 5123 III พิมพ์ครั้งที่ 4-RTSD, UTM Zone47

ในการเก็บตัวอย่างทรายไปตามแผนที่ทางหลวงในประเทศไทยมาตราส่วน 1:1,600,000 ของกรมทางหลวง บอกพิกัดตำแหน่งด้วยเครื่องหาตำแหน่งพิกัดด้วยดาวเทียม (Global Positioning System, GPS) รุ่น GPS45XL ของ GARMIN จากนั้นนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางกล

คุณสมบัติทางกายภาพ

1. ตรวจสอบขนาดและการกระจายตัว (size and distribution) ของเม็ดทรายตาม AFS Grain Fineness Number (AFS GFN) ด้วยตะแกรงมาตรฐาน ASTM เบอร์ต่างๆ ดังนี้ 16/20/30/44/60/100/140/200 และ pan

2. พื้นที่ผิว (surface area) โดยใช้น้ำมันก๊าซดันลมผ่านทรายแล้วจับเวลา นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณตามสมการ

$$S_w = 17.6244\sqrt{E\ TV_s} \qquad \textbf{(1)}$$

17.6244 = ค่าคงที่ของเครื่องมือเนื่องมาจากการใช้น้ำมันก๊าซซึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 0.811 และอุณหภูมิอากาศ ณ อุณหภูมิห้องมีค่า dynamic viscosity 0.000181

E = ช่องว่างที่มีอยู่

$$E = \frac{[S_g - D]}{S_g}$$

S_g = ความถ่วงจำเพาะของทราย (ซิลิก้า = 2.65)
D = ปริมาณของทราย 50 กรัม ที่ใส่ในท่อปากกรวยที่มีขีดบอกปริมาตร
T = เวลาเป็นวินาที
V_s = ปริมาตรของทรายเป็น cc.

3. ตรวจสอบรูปร่างของเม็ดทราย (shape) ด้วยกล้องจุลทัศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดลำแสง (Scanning Electron Microscope, SEM) และคำนวณค่า angularity จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบหาขนาดและการกระจายตัวกับการทดสอบพื้นที่ผิว (surface area) จากสมการ

$$E = \frac{S_w}{S_{th}} \quad \textbf{(2)}$$

E = coefficient of angularity
S_w = measured surface area ได้จากการทดสอบหา surface area
S_{th} = theoretical surface area ได้จากการทดสอบหาขนาดและการกระจายตัว

4. ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของทราย (chemical analysis) ตามมาตรฐาน ASTM C 146-80 และหาค่า Acid Demand Value (ADV) ตามมาตรฐาน AFS 114-87-S

คุณสมบัติทางกลและความสามารถในการปล่อยซึมอากาศ

1. ทดสอบความต้านทานแรง (strength) ด้วยแรงอัด (compressive) และแรงเฉือน (shear) ทั้งความแข็งแรงขณะชื้น (green strength) และความแข็งแรงขณะแห้ง (dry strength)

2. ทดสอบความแข็ง (hardness) และทดสอบการอัดตัวของทราย (compactability)

3. ทดสอบความสามารถในการปล่อยซึมอากาศ (permeability) ใช้เครื่องทดสอบแบบ electric permeability meter

ทดสอบที่เปอร์เซ็นต์ความชื้น 1, 2, 5 และ 8% และเปอร์เซ็นต์ sodium Bentonite 3, 6 และ 9%

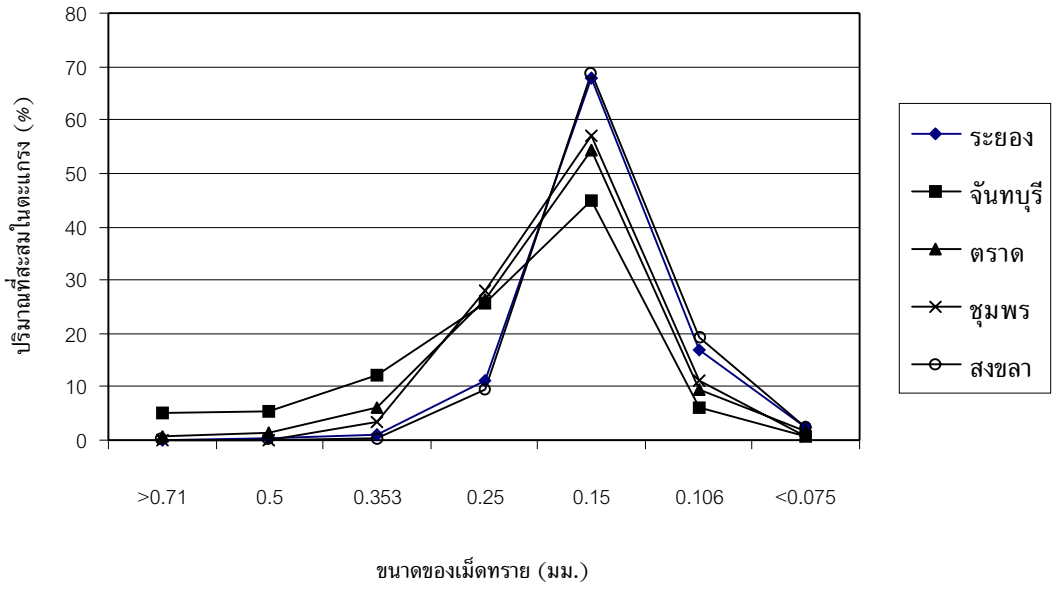
3. ผลและอภิปรายผลการทดลอง

1. ขนาดและการกระจายตัว (size and distribution)

จากการคำนวณหาขนาดเม็ดทรายตาม AFS Grain Fineness Number (AFS GFN) พบว่าทรายจากจังหวัดจันทบุรีมีขนาดใหญ่กว่าแหล่งอื่นๆ กล่าวคือมีขนาด AFS GFN ที่มีค่าน้อยที่สุด ดังตารางที่ 1 ซึ่งขนาดเม็ดทรายหล่อที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-60 AFS การใช้ทรายหล่อที่มีเม็ดทรายขนาดเล็กจะต้องใช้ตัวประสานมากกว่าเม็ดทรายขนาดใหญ่ และเม็ดทรายขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้ผิวสำเร็จของชิ้นงานหล่อไม่เรียบ [2]

ตารางที่ 1 AFS Grain Fineness Number ของทรายแหล่งต่างๆ

แหล่งทราย	ระยอง	จันทบุรี	ตราด	ชุมพร	สงขลา
AFS Grain Fineness Number	68	51	59	60	68



รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายตัวของทรายแต่ละแหล่ง

การกระจายตัว (distribution) พบว่าทรายจากจังหวัดจันทบุรีมีการกระจายตัวที่กว้างกว่าทรายแหล่งอื่นดังแสดงในรูปที่ 1 คือมีขนาดตั้งแต่ 0.106 mm ถึง 0.710 mm ทรายจังหวัดตราดมีการกระจายตัวที่คล้ายกับทรายจังหวัดชุมพร และทรายจังหวัดระยองมีการกระจายตัวที่คล้ายกับทรายจากสงขลา

2. พื้นที่ผิว (surface area)

จากการทดลองพบว่าทรายจากจังหวัดสงขลาและตราดมีพื้นที่ผิวมากกว่าทรายจากแหล่งอื่น ดังแสดงในตารางที่ 2

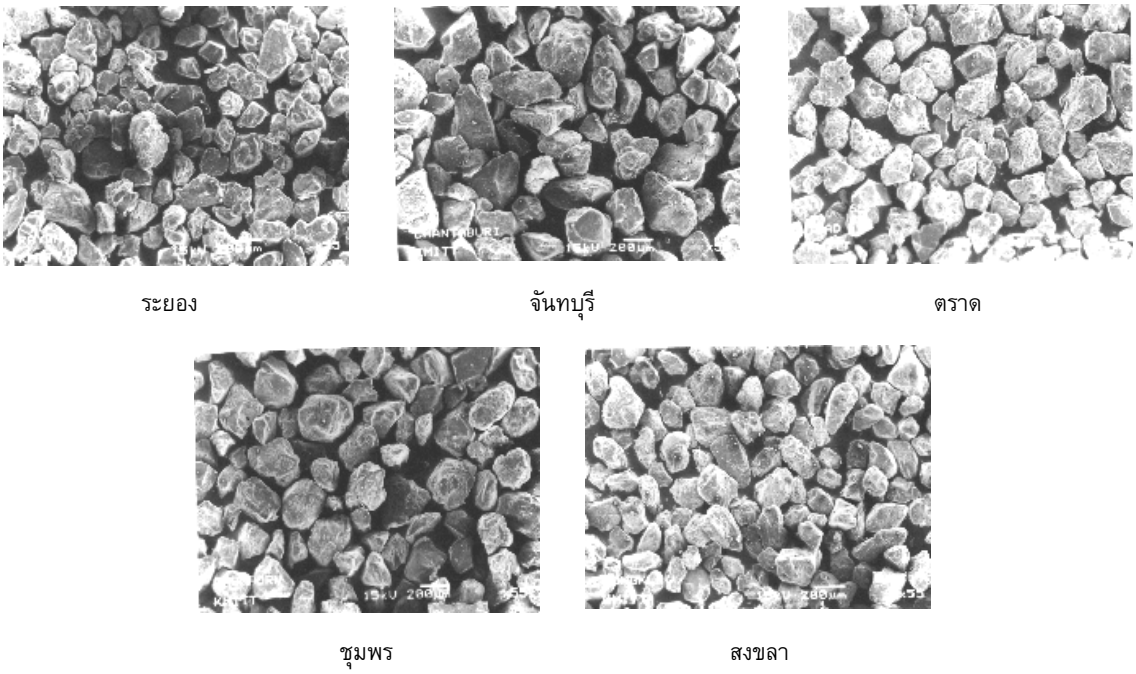
พื้นที่ผิวเป็นสิ่งหนึ่งที่สามารถบอกถึงรูปร่างของเม็ดทราย โดยทรายเม็ดกลมจะมีพื้นที่ผิวน้อยกว่าทรายรูปร่างอื่น ในการทำแบบหล่อ ทรายเม็ดกลมสามารถไหลตัวเข้าชิดกันได้ดีที่สุดให้ค่าความแข็งแรงและการปล่อยซึมที่พอเหมาะเมื่อเทียบกับทรายรูปร่างอื่นที่ใช้ปริมาณตัวประสานที่เท่ากัน

ตารางที่ 2 ขนาดพื้นที่ผิวของทรายแต่ละแหล่ง

แหล่งทราย	ระยอง	จันทบุรี	ตราด	ชุมพร	สงขลา
พื้นที่ผิว ($cm^2/g.$)	138	133	153	144	151

3. รูปร่างของเม็ดทราย (shape)

จากการตรวจสอบพบว่าทรายแต่ละแหล่งมีรูปร่างที่คล้ายกันและจากการเปรียบเทียบกับรูปร่างทรายตามมาตรฐาน AFS พบว่าทรายแต่ละแหล่งมีรูปร่างเป็นเม็ดกลมปานกลาง (medium sphericity) ปนกับเม็ดกลมต่ำ (low sphericity) จัดอยู่ในกลุ่มที่มีเหลี่ยมมุมมน (sub-angular) ผิวของเม็ดทรายค่อนข้างขรุขระและมีรูอยู่ทั่วไปบนพื้นผิว ดังแสดงในรูปที่ 2



ระยอง จันทบุรี ตราด

ชุมพร สงขลา

รูปที่ 2 แสดงรูปร่างทรายจากแหล่งต่างๆ

จากการคำนวณ coefficient of angularity พบว่าทรายทุกแหล่งให้ค่า coefficient of angularity มากกว่า 1 ซึ่งหมายถึงทรายมีรูปร่างค่อนข้างเป็นเหลี่ยม ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่า coefficient of angularity ของทรายแต่ละแหล่ง

แหล่งทราย	ระยอง	จันทบุรี	ตราด	ชุมพร	สงขลา
Coefficient of Angularity	1.16	1.37	1.35	1.25	1.12

รูปร่างของเม็ดทรายที่ดีควรมีลักษณะผิวเรียบและมีความกลมปานกลางถึงสูง สำหรับเม็ดทรายที่มีความกลมต่ำ เมื่อนำไปทำแบบหล่อทำให้แบบมีความหนาแน่นต่ำ และมีความสามารถในการไหลตัวของทรายขณะทำแบบไม่ดี [3] นอกจากนี้ยังต้องเติมตัวประสาน (binder) ในปริมาณสูง [2]

4. การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (chemical analysis)

การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเม็ดทรายบอกถึงความสามารถในการต้านทานความร้อนของทราย โดยดูได้จากปริมาณของซิลิก้า (SiO_2) ถ้ามีปริมาณมากสามารถทนความร้อนได้มาก กล่าวคือซิลิก้า 100% มีจุดหลอมเหลวสูงถึง 1700°C [4] โดยทรายหล่อที่ดีควรมีปริมาณซิลิก้าอย่างน้อย 95-96% [2] ผลการวิเคราะห์พบว่าทรายแต่ละแหล่งมีปริมาณซิลิก้าที่ค่อนข้างสูง ดังในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของทรายแต่ละแหล่ง

แหล่งทราย	%SiO_2	%Al_2O_3	%Fe_2O_3	%CaO	%MgO
ระยอง	98.8	0.2	0.07	0.4	0.08
จันทบุรี	99.2	0.1	0.15	0.3	0.05
ตราด	99.2	0.1	0.01	0.3	0.05
ชุมพร	98.8	0.1	0.01	0.2	0.04
สงขลา	99.0	0.3	0.05	0.3	0.05

จากการทดลองหาปริมาณกรด Acid Demand Value (ADV) ซึ่งทดสอบที่ค่า pH 7 พบว่าทรายจังหวัดชุมพรมีค่ามากกว่าทรายจากแหล่งอื่น ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่า ADV ของทรายแต่ละแหล่ง

แหล่งทราย	ปริมาณ NaOH ที่ทำให้ชิ้นงานได้ค่า pH 7 (ml)	ปริมาณ NaOH ที่ทำให้ Blank ได้ค่า pH 7 (ml)	ADV (ml)
ระยอง	62.8	62.5	0.3
จันทบุรี	61.3	61.2	0.1
ตราด	60.7	60.5	0.2
ชุมพร	61.3	60.5	0.8
สงขลา	62.5	62.4	0.1

หมายเหตุ ความเข้มข้นของ NaOH ที่เตรียมได้ = 0.097N

ค่า Acid Demand Value (ADV) เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณกรดที่ต้องการในการที่จะทำให้ทรายมีสมบัติที่เป็นกลาง (pH 7) ถ้าทรายมีค่า ADV สูง หมายความว่าทรายมีสภาพเป็นด่างมาก ดังนั้นในทางปฏิบัติทรายดังกล่าวไม่เหมาะที่จะใช้ตัวประสานเคมีที่ใช้ตัวเร่งปฏิกริยาที่มีสภาพเป็นกรด (acid catalyst) ซึ่งจะทำให้ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่มากขึ้น เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาจะไปทำปฏิกิริยากับด่างที่มากับทราย [4]

5. ความต้านทานแรง (strength)

ในการทดสอบความต้านทานแรงอัดขณะชื้น (green compressive strength, GCS) พบว่าทรายแต่ละแหล่งให้ความแข็งแรงสูงที่ความชื้นประมาณ 2% สำหรับค่าความต้านทานแรงเฉือนขณะชื้น (green shear strength, GSS) พบว่ามีค่าสอดคล้องกับค่าความต้านทานแรงอัดขณะชื้นคือมีค่าสูงสุดที่ปริมาณความชื้น 2% ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบความต้านทานแรงอัดขณะชื้น (GCS) และความต้านทานแรงเฉือนขณะชื้น (GSS) ของทรายแต่ละแหล่งที่ปริมาณความชื้นต่างกัน

แหล่งทราย	1%น้ำ 6%เบนทอไนต์		2%น้ำ 6%เบนทอไนต์		5%น้ำ 6%เบนทอไนต์		8%น้ำ 6%เบนทอไนต์	
	GCS (kN/m^2)	GSS (kN/m^3)	GCS (kN/m^2)	GSS (kN/m^3)	GCS (kN/m^2)	GSS (kN/m^3)	GCS (kN/m^2)	GSS (kN/m^3)
ระยอง	29.87	5.87	56.8	15.86	38.62	8.28	38	7.3
จันทบุรี	41.4	9	55.8	15.2	43.48	10.52	43	8.46
ตราด	13.62	2.5	38.5	10.5	34.56	7.66	32.5	6.3
ชุมพร	18.25	4.25	56.3	15.75	45.5	10.32	41.74	6.3
สงขลา	20	4.5	46.7	13.48	41.96	10.7	41.5	8.7

ค่าความต้านทานแรงอัดขณะแห้ง (dry compressive strength, DCS) และความต้านทานแรงเฉือนขณะแห้ง (dry shear strength, DSS) จากที่ทำการทดลองพบว่าทรายทุกแหล่งจะให้ค่าความต้านแรงสูงขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบความต้านทานแรงอัดขณะแห้ง (DCS) และความต้านทานแรงเฉือนขณะแห้ง (DSS) ของทรายแต่ละแหล่งที่ปริมาณความชื้นต่างกัน

แหล่งทราย	1%น้ำ 6%เบนทอไนต์		2%น้ำ 6%เบนทอไนต์		5%น้ำ 6%เบนทอไนต์		8%น้ำ 6%เบนทอไนต์	
	DCS (kN/m^2)	DSS (kN/m^3)	DCS (kN/m^2)	DSS (kN/m^3)	DCS (kN/m^2)	DSS (kN/m^3)	DCS (kN/m^2)	DSS (kN/m^3)
ระยอง	-	-	231.68	52.44	873.00	163.36	1036.38	196.50
จันทบุรี	26.17	7.6	523.00	109.00	935.16	175.23	1186.43	246.82
ตราด	-	-	337.84	88.54	833.14	167.56	1352.64	290.24
ชุมพร	-	-	225.60	43.82	877.43	173.6	1549.20	335.78
สงขลา	-	-	315.60	107.50	974.22	182.06	1040.38	216.66

ความต้านทานแรงอัดขณะชื้นของทรายพบว่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเบนทอไนต์ (Bentonite) ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการประสานกันโดยการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) ระหว่างเบนทอไนต์กับเบนทอไนต์ และเบนทอไนต์กับทรายเมื่อได้รับความชื้น ซึ่งดินจะเกิดไมเซล (micelles) ซึ่งมีสองขั้ว แรงยึดเกาะระหว่างไมเซลของเบนทอไนต์กับเบนทอไนต์จะแข็งแรงกว่าแรงยึดเกาะระหว่างไมเซลของเบนทอไนต์กับทราย เนื่องจากผิวทรายมีทั้งขั้วบวกและขั้วลบตลอดพื้นผิว ซึ่งไมเซลของเบนทอไนต์ที่มาเกาะอาจจะผลักกับขั้วเหมือนกันที่อยู่ใกล้กันบนผิวทราย ความต้านทานแรงอัดขณะชื้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น ซึ่งความชื้นจะเป็นตัวการที่ทำให้ระยะห่างระหว่างขั้วที่ผลักกันและขั้วที่ดึงดูดกันเปลี่ยนไป โดยความต้านทานแรงอัดขณะชื้นเกิดขึ้นสูงสุดเมื่อระยะห่างระหว่างขั้วที่ผลักกันของไมเซลสองตัวมีค่าทำให้แรงผลักเป็นศูนย์ ซึ่งหมายถึงระยะห่างมีมากไม่มีแรงผลักเกิดขึ้นแล้วยังทำให้แรงดึงดูดมีน้อยลงด้วย [4] จากการทดลองพบว่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่ให้ค่าความแข็งแรงขณะชื้นสูงสุดอยู่ในช่วงประมาณ 2% ที่ 6% เบนทอไนต์

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างทรายแหล่งต่างๆ พบว่าทรายจากจังหวัดจันทบุรีให้ค่าความต้านทานแรงอัดขณะชื้นสูงที่สุด ซึ่งสูงกว่าทรายจังหวัดระยอง 21% สูงกว่าทรายจังหวัดตราด 35% สูงกว่าทรายจังหวัดชุมพร 34% และสูงกว่าทรายจังหวัดสงขลา 22% เป็นไปได้ว่าทรายจังหวัดจันทบุรีมีค่าการกระจายตัวที่กว้างกว่าทรายจากแหล่งอื่นๆ จากความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวและค่าความต้านทานแรงอัดขณะชื้น พบว่าทรายจังหวัดตราดและชุมพรให้ค่าความต้านทานแรงอัดขณะชื้นใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับทรายจังหวัดระยองและสงขลา

สำหรับค่าความต้านทานแรงอัดขณะแห้ง พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น สาเหตุเนื่องจากเมื่อมีความชื้นมากจะทำให้เทนทอไนต์กระจายเคลือบผิวทรายได้มากขึ้น เมื่อเกิดการสูญเสียความชื้นออกไปทำให้ระยะห่างระหว่างไมเซลมีค่าน้อยลงจนถึงระยะที่ให้ความแข็งแรงสูงสุด ซึ่งหมายความว่าความชื้นทำให้การกระจายเบนทอไนต์ไปเคลือบผิวทรายได้มากขึ้น [5] ซึ่งเมื่อสูญเสียความชื้นออกไปจะทำให้มีจุดที่ประสานกันมากขึ้นนั่นเอง

6. ความแข็ง (hardness) และ การอัดตัว (compactability)

จากการทดลองพบว่าทรายทุกแหล่งให้ค่าความแข็งสูงสุดที่ความชื้นประมาณ 2% ดังแสดงในตารางที่ 8 และความแข็งจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเบนทอไนต์ ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบค่าความแข็งและค่าการอัดตัวของทรายที่ปริมาณความชื้นต่างกัน

แหล่งทราย	1%น้ำ 6%เบนทอไนต์		2%น้ำ 6%เบนทอไนต์		5%น้ำ 6%เบนทอไนต์		8%น้ำ 6%เบนทอไนต์	
	hardness	compact.	Hardness	compact.	hardness	compact.	hardness	compact.
ระยอง	75	14	83	53	77	60	75	61
จันทบุรี	73	31	83	57	79	61	78	60
ตราด	72	29	78	53	77	58	74	59
ชุมพร	67	13	81	50	79	60	78	63
สงขลา	71	14	81	55	79	61	77	61

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบค่าความแข็งและค่าการอัดตัวของทรายที่ปริมาณเบนทอไนต์ต่างกัน

แหล่งทราย	3%เบนทอไนต์ 2%น้ำ		6%เบนทอไนต์ 2%น้ำ		9%เบนทอไนต์ 2%น้ำ	
	hardness	compact	hardness	compact	hardness	Compact
ระยอง	66	51	83	53	85	37
จันทบุรี	67	50	83	57	87	45
ตราด	62	47	78	53	85	49
ชุมพร	66	48	81	50	82	34
สงขลา	64	49	81	55	86	49

ค่าการอัดตัวของทรายขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น ถ้าความชื้นน้อยค่าการอัดตัวของทรายจะต่ำ ค่าการอัดตัวของทรายที่เหมาะสมสำหรับทำแบบหล่ออยู่ในช่วง 40-50% ถ้าแบบหล่อมีค่าการอัดตัวของทรายต่ำกว่านี้จะเป็นแบบหล่อที่เปราะ (brittle) และถ้าสูงกว่านี้จะเป็นแบบหล่อที่แข็ง

(stiff) [6] จากการทดสอบที่ 6% เบนทอไนต์ 1% ความชื้น พบว่าค่าการอัดตัวของทรายที่ได้ประมาณ 14% ยกเว้นทรายจากจังหวัดตราดได้ 29% และจันทบุรีได้ 31% อาจเป็นเพราะทรายทั้งสองแหล่งมีเม็ดทรายขนาดใหญ่ปนอยู่ ทำให้มีช่องว่างสามารถอัดได้มากกว่า แต่อย่างไรก็ตามเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นมาอยู่ในช่วง 2-8% ทรายแต่ละแหล่งให้ค่าการอัดตัวของทราย ค่อนข้างใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 50-65% ที่ปริมาณเบนทอไนต์ 6% ทั้งนี้เป็นเพราะทรายสามารถไหลตัวได้ดี

7. ความสามารถในการปล่อยซึมอากาศ (permeability)

จากการทดลองพบว่าทรายทุกแหล่งจะให้ค่าการปล่อยซึมอากาศสูงในช่วงความชื้น 2-5% และพบว่าทรายจากจังหวัดตราดให้ค่าการปล่อยซึมอากาศสูงกว่าทรายจากแหล่งอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบค่าการปล่อยซึมอากาศของทรายแต่ละแหล่งที่ 2% ความชื้น และปริมาณเบนทอไนต์ที่ต่างกัน

แหล่งทราย	ค่าการปล่อยซึมอากาศที่ 2%น้ำ		
	3%เบนทอไนต์	6%เบนทอไนต์	9%เบนทอไนต์
ระยอง	146	131	79
จันทบุรี	248	184	161
ตราด	236	218	168
ชุมพร	173	156	75
สงขลา	140	127	100

ค่าการปล่อยซึมอากาศเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการหนีออกจากแบบของแก๊สในระหว่างการเทน้ำโลหะ ซึ่งค่าการปล่อยซึมอากาศจะขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดทราย เม็ดทรายที่มีขนาดเล็กมีค่าการปล่อยซึมอากาศต่ำกว่าเม็ดทรายที่มีขนาดใหญ่ ค่าการปล่อยซึมอากาศที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-150 ถ้ามีค่าที่ต่ำกว่านี้แก๊สจะหนีออกจากแบบหล่อได้ยากทำให้เกิดจุดเสีย (defect) ในชิ้นงานเนื่องจากการตกค้างของแก๊สในโลหะ [6]

4. สรุปผลการทดลอง

1. ขนาด การกระจายตัวและรูปร่างของทรายแต่ละแหล่งส่วนใหญ่มีรูปร่างเป็นเม็ดกลมปานกลางปนกับเม็ดกลมต่ำ จัดอยู่ในกลุ่มที่มีลักษณะเม็ดเหลี่ยมมุมมน (sub-angular)

2. ทรายแต่ละแหล่งมีปริมาณซิลิก้าค่อนข้างสูงเหมาะสำหรับการทำแบบหล่อ ทรายจังหวัดระยอง สงขลา ชุมพร เหมาะกับงานหล่อที่ต้องการผิวสำเร็จที่เรียบ เนื่องจากเม็ดทรายมีขนาดเล็ก

3. การทดสอบค่า Acid Demand Value (ADV) พบว่าทรายจังหวัดชุมพรให้ค่าที่สูงสุดคือ 0.8 ml ที่ pH 7 ซึ่งหมายถึงทรายชุมพรมีความเป็นด่างสูงกว่าทรายจากแหล่งอื่น ดังนั้นในการพิจารณาเลือกทรายไปใช้กับตัวประสานเคมีที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสภาพเป็นกรด ทรายแหล่งนี้จะต้องใช้ตัวประสานมากกว่าทรายแหล่งอื่น

4. ทรายทุกแหล่งให้ค่าความต้านทานแรงอัดขณะชื้นสูงที่ช่วงความชื้นประมาณ 2 % และทรายจังหวัดจันทบุรีเป็นทรายที่ให้ค่าความต้านทานแรงอัดขณะชื้นสูงที่สุดในช่วงความชื้น 1-8%

5. จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และความสามารถในการปล่อยซึมอากาศของทรายในแต่ละแหล่ง พบว่าทรายทุกแหล่งสามารถนำมาใช้ทำแบบหล่อได้ โดยมีความเหมาะสมกับงานแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของโลหะที่ทำการหล่อและชนิดของตัวประสาน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยเรื่องการเปรียบเทียบ คุณสมบัติทรายหล่อแต่ละแหล่งในประเทศไทยเป็นเวลา 2 ปี ผศ.ดร.ปัญญา ศรีจันทร์ อาจารย์สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานและวัสดุ ผศ.พยูร เกตุกราย อาจารย์เชาว์เนียมสอน และอาจารย์เมธินี มุกดาสิริ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และอำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือในการวิเคราะห์วิจัย ไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

1. ศิริชัย โพธิตาปนะ และ ชาญเดช พิสิษฐ์ไพบูลย์, *ทรายทำแบบหล่อ*, สถาบันพัฒนาเครื่องจักรกลและโลหะการ, กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม, หน้า 1.

2. Brown, J. R., 1994, *Foseco Foundryman's Handbook*, Butterworth-heinemann Ltd, pp.27-42.

3. Pakes, W. B., 1978, *Clay-Bonded Foundry Sand*, Applied Science Publishers Ltd., pp. 89-91.

4. Sarkar, A. D., 1967, *Mould & Core Material for the Steel Foundry*, Pargamon Press, pp.51-57.

5. Shih, T. S., Green, R. A. and Heine, R. W., 1990, "Understanding Green Strength and Compactibility in Green Sand System," *AFS Transaction*, Vol. 98, pp. 245-252.

6. Thimas, C. H., 1995, "Optimizing Greensand Testing to Suit Modern Moulding Practice," Cast Metals, Development Ltd - International Conference, Singapore, pp. 12-1 - 12-16.