การหล่อแบบเปลือกด้วยทรายแม่น้ำโขง

ตีเพชร ไชยศล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

SHELL MOULD CASTING BY USING KHONG RIVER SAND

TEEPAED CHAIYASON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING

MAJOR IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

YEAR 2011

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การหล่อแบบเปลือกด้วยทรายแม่น้ำโขง

ผู้วิจัย นายตีเพชร ไชยศล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

.... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขอังคณา ลี)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นลิน เพียรทอง)

.... กรรมการ
(ดร.จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริพร โรจนนันต์)

.... คณบดี
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นท แสงเทียน)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ
ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2554

กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดีก็ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขอังคณา ลี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุริยา โชคสวัสดิ์ ที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำ และให้ข้อคิดเห็นในการศึกษาเป็นอย่างดี รวมถึงคณะกรรมการวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นลิน เพียรทอง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริพร โรจนนันต์ และ ดร.จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์ ที่สละเวลาในการเป็นคณะกรรมการวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องทดสอบหาความแข็งแรงของแท่งทรายตัวอย่าง และคณะอาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องทดสอบหาค่า pH ขอขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณคุณพ่อสว่าง คุณแม่อร่าม ไชยศล และพี่ชายคุณนิรันดร์ ไชยศล เป็นอย่างสูงที่ได้เลี้ยงดูอย่างดี และคอยอบรมสั่งสอนเสมอมา ขอบคุณบุตรสาวที่คอยให้กำลังใจให้ตลอดมา

(นายตีเพชร ไชยศล)
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การหล่อแบบเปลือกด้วยทรายแม่น้ำโขง

โดย : ตีเพชร ไชยศล

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขอังคณา ลี

ศัพท์สำคัญ : ทรายแม่น้ำโขง แบบหล่อเปลือก มาตรฐานทรายหล่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำทรายแม่น้ำมาใช้ทำแบบหล่อในกระบวนการหล่อแบบเปลือก ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ทรายแม่น้ำโขงจังหวัดเลย ทำการทดสอบสมบัติทรายตามมาตรฐานสมาคมหล่อโลหะแห่งประเทศอเมริกา AFS (American Foundry Society) ผลการศึกษาพบว่า มีค่าขนาดและการกระจายตัว AFS Fineness number เท่ากับ 41.53 ปริมาณดินเหนียว ร้อยละ 1.02 ลักษณะรูปร่างของเม็ดทรายค่อนข้างกลม ส่วนประกอบทางเคมีประกอบด้วย SiO_2 ร้อยละ 88.43, Al_2O_3 ร้อยละ 7.60, CaO ร้อยละ 1.14, K_2O ร้อยละ 2.48, MgO ร้อยละ 0.64, P_2O_5 ร้อยละ 1.29 และ TiO_2 ร้อยละ 0.39 ค่า pH เท่ากับ 8.36 อัตราส่วนผสมในการขึ้นรูปทำแบบหล่อทรายที่เหมาะที่สุด คือ ทรายแม่น้ำ ร้อยละ 93.5 และ ร้อยละ 6.5 โดยน้ำหนักฟีโนลิคเรซิ่น อุณหภูมิในการผสม 250 $^{\circ}$C โดยมีค่าความสามารถในการซึมผ่านอากาศ เท่ากับ 704.75 cm/s ทรายมีความหนาแน่น 1.359 g/cm^3 มีค่าความต้านทานแรงอัด 564 N/cm^2 ค่าความต้านทานแรงดึง 187.14 N/cm^2 เมื่อนำไปขึ้นรูปแบบหล่อเปลือกและหล่อขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบเหล็กหล่อเทาด้วยอุณหภูมิเท 1,530°C ชิ้นงานทดสอบมีมิติที่ใกล้เคียงกับแบบ ผิวมีรูพรุนเล็กน้อย

ABSTRACT

TITLE : SHELL MOULD CASTING BY USING KHONG RIVER SAND

BY : TEEPAED CHAIYASON

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

CHAIR : ASST. PROF.SUKANGKANA LEE, Ph.D.

KEYWORDS : KHONG RIVER SAND / SHELL MOULD / CASTING SAND STANDARD

This research aimed to study the possibility of replacing sea sand with river sand in shell-mould sand casting process. Sampling Sand was taken from Loey province in Thailand. The properties of river sand were tested according to based on the standard of the American Foundry Society (AFS). It was found that the majority of sand grain exhibited spherical shape. AFS Fineness number was 41.53 and the amounts of clay was 1.02%. The chemical composition of sand consisted of SiO_2 88.43%, Al_2O_3 7.60%, CaO 1.14%, K_2O 2.48%, MgO 0.64%, P_2O_5 1.29% and TiO_2 0.39% The pH value was 8.36. The optimal mixing ratio for making shell mold sand was 93.5 wt% sand and 6.5 wt% of phenolic resin. The mixing temperature was 250 $^\circ$C. The permeability value was 704.75 cm/s and the density of sand mould was 1.359 g/cm^3. The compressive strength of mould was 564 N/cm^2 and the tensile strength was 187.14 N/cm^2. When gray cast iron molten was poured into this shell mould at 1,530°C, the mold was able to cast shaped part with Small tolerance.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 วิธีการและสถานที่ดำเนินการวิจัย	2
1.5 แผนการทำวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	5
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การหล่อโลหะ	6
2.2 ประเภทแบบหล่อ (The type of mold)	7
2.3 กระบวนการขึ้นรูปแบบหล่อ (Molding processes)	9
2.4 ทรายทำแบบหล่อ	11
2.5 การทดสอบทราย	16
2.6 คุณสมบัติที่ดีของทรายที่ใช้ทำแบบหล่อ	21
2.7 การหล่อเปลือก (Shell molding)	24
2.8 คุณสมบัติของการเลือกทรายหล่อแบบเปลือก	26
2.9 วัสดุทำแบบหล่อเปลือกและไส้แบบ	27
2.10 การตรวจสอบคุณสมบัติของทรายผสมยางสังเคราะห์	35
2.11 กระสวนและกล่องไส้แบบ	36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.12 การทำแบบและไส้แบบ 37
2.13 การประกอบแบบหล่อเปลือกบาง 38
2.14 สาเหตุและการป้องกันข้อบกพร่องแบบหล่อเปลือกบาง 38
2.15 การตรึงแบบหล่อ (Mold backup) 39
2.16 การรื้อแบบ 39
2.17 ปฏิกิริยาระหว่างโลหะแบบหล่อ 40
2.18 เปรียบเทียบการหล่อแบบเปลือกกับการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีอื่น 42

3 การดำเนินการทดลอง

3.1 ศึกษาการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ 45
3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี 48
3.3 การทดสอบคุณสมบัติทางกล 57
3.4 การทำแบบหล่อทรายเปลือก 59
3.5 การหล่อชิ้นงานเหล็กหล่อเทา 61

4 ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาการทดสอบสมบัติทางกายภาพ 64
4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี 69
4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล 71
4.4 ผลการทำแบบหล่อทรายเปลือก 76
4.5 การขึ้นรูปเหล็กหล่อเทา 77

5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 สมบัติทรายจากแม่น้ำโขงบริเวณจังหวัดเลย สำหรับทำแบบหล่อ 82
5.2 อัตราส่วนระหว่างทรายและตัวประสานที่เหมาะสม ในการขึ้นรูปทำชิ้นงานทดสอบ 86
5.3 อัตราส่วนระหว่างทรายและตัวประสานที่เหมาะสม ในการขึ้นรูปทำแบบหล่อทรายเปลือก 90

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สมบัติที่เหมาะสมตามมาตรฐาน 101

6.2 สมบัติทางเคมี 101

6.3 ส่วนผสมทรายที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบหล่อเปลือก 102

6.4 ข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้ 103

เอกสารอ้างอิง **104**

ภาคผนวก **107**

ประวัติผู้วิจัย **109**

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 แผนการดำเนินการวิจัย 4

2.1 การเปรียบเทียบสมบัติซึ่งมีลักษณะสำคัญ ที่สามารถนำมาเปรียบเทียบกัน ระหว่างกระบวนการหล่อแบบต่างๆ 10

2.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของทรายทั้ง 4 ชนิด 16

2.3 การแบ่งขนาดของอนุภาคเม็ดทรายตามมาตรฐาน AFS. 17

2.4 สมบัติที่เหมาะสมของทรายสำหรับแบบหล่อเปลือก 23

3.1 ส่วนผสมทรายและฟีโนลิคเรซิ่นเพื่อขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบความต้านแรงอัด 50

3.2 ส่วนผสมทรายและฟีโนลิคเรซิ่นเพื่อขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบความต้านแรงดึง 54

3.3 การทดลองทำแบบหล่อทราย 59

4.1 ขนาดความละเอียดของเม็ดทราย 65

4.2 การทดสอบหาปริมาณดินเหนียว (AFS. Clay tester) 66

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุของทรายแม่น้ำโขง 69

4.4 ผลการทดสอบค่า PH 70

4.5 ความสามารถในการซึมผ่านอากาศ น้ำหนัก และความหนาแน่นชิ้นทดสอบ 70

4.6 ตัวอย่างชิ้นงาน ส่วนผสม และผลที่ได้ของชิ้นทดสอบแรงอัด 72

4.7 การทดสอบหาความต้านแรงอัด 73

4.8 ตัวอย่างชิ้นงาน ส่วนผสม และผลที่ได้ของชิ้นทดสอบแรงดึง 74

4.9 ผลการทดสอบหาความต้านแรงดึง 74

4.10 ผลการทำแบบหล่อทราย 76

4.11 น้ำหนักของแบบหล่อทราย ก่อนเทหล่อน้ำโลหะ 77

4.12 น้ำหนักของแบบหล่อทรายที่แกะชิ้นงานหล่อออก หลังเทหล่อน้ำโลหะ 80

4.13 น้ำหนักแบบหล่อที่ขึ้นรูปได้ก่อนเทหล่อ นำมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักแบบหล่อที่แกะชิ้นงานออกแล้ว ทั้งตัวบนและตัวล่างหลังเทหล่อน้ำโลหะ 81

5.1 เปรียบเทียบส่วนผสมของธาตุต่างๆ ที่ผสมในทรายแม่น้ำโขงกับทรายระยอง 85

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 กระบวนการขึ้นรูปแบบหล่อตามชนิดของแบบหล่อ 9
2.2 โครงสร้างปิรามิดฐานสามเหลี่ยมของซิลิก้า 12
2.3 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของซิลิกา 12
2.4 การเปรียบเทียบการขยายตัวของทราย 14
2.5 การจำแนกรูปร่างของเม็ดทราย 18
2.6 แผนผังการวิเคราะห์ธาตุโดยการวาวรังสีเอกซ์ (XRF) 19
2.7 ตัวอย่างชิ้นงานเหล็กหล่อ จากการหล่อแบบเปลือกบาง 24
2.8 ตัวอย่างชิ้นงานหล่อแบบเปลือกบางด้วยวัสดุแกมม่า TiAl 25
2.9 การเกิดปฏิกิริยาพอริเมอร์ไลด์แบบตัวเติมและแบบควบแน่น 28
2.10 โครงสร้างของฟีนอล (Phenol) 28
2.11 โครงสร้างของฟอร์มาดีไฮด์ (formaldehyde) 29
2.12 อัตราส่วนฟีนอล (Phenol) ต่อฟอร์มาดีไฮด์ (formaldehyde) 29
2.13 เครื่องบดชนิดใบพัด (Impeller type mill) 31
2.14 ทรายเปลือกแบบหล่อหลุด 33
2.15 การไหลสั้นและยาวของเรซิ่นรอบๆ เกรนของเม็ดทราย 34
2.16 การทดสอบความแข็งแรงดึงขณะร้อน (หน่วย:นิ้ว) 36
2.17 เพลาข้อเหวี่ยงที่ทำด้วยเหล็กหล่อกราไฟต์กลม (ductile iron) 43
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 44
3.2 เครื่องคัดขนาดแบบใช้แรงสั่นสะเทือน (Vibratory sieve shaker) 45
3.3 ชุดปั่นล้างความเร็วสูง (Rapid and washer machine) 46
3.4 เครื่องล้างดินเหนียว (Clay washer Machine) 47
3.5 กล้องจุลทรรศน์ Stereo microscope ยี่ห้อ Reica รุ่น Reica wild M 420 47
3.6 เครื่องวิเคราะห์ธาตุ (Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence
Spectrometer WD-XRF) ยี่ห้อ Phillips รุ่น Magi X 48
3.7 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง รุ่น pH level 1 49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3.8 อุปกรณ์การขึ้นรูปการทดสอบ 49

3.9 ทรายที่เตรียมผสมกับฟีโนลิคเรซิ่น 51

3.10 เครื่องบดเรซิ่น ยี่ห้อ Fritsch d-55743 51

3.11 เตาอบไฟฟ้า ยี่ห้อ Digicon model dd-6 52

3.12 การนำกระบอกเหล็กอบในเตา 52

3.13 เครื่องทดสอบความสามารถในการซึมผ่าน (Digital absolute permmeter) 53

3.14 แบบโลหะสำหรับขึ้นรูปชิ้นงาน 54

3.15 การนำแบบโลหะอบในเตา 55

3.16 การเททรายใส่แบบโลหะให้เต็มเบ้า 56

3.17 การแกะแบบโลหะ ขนาดยาว 70 mm. หนา 25 mm. 56

3.18 เครื่องทดสอบแรงอัด (CBR – Test 50 ยี่ห้อ ELE International) 57

3.19 การทดสอบความต้านทานแรงอัด (Compressive Strength) 57

3.20 เครื่องทดสอบแรงดึง ยี่ห้อ Controls (Automatic flexural tensile tester L 15) 58

3.21 ชิ้นงานก่อนทดสอบ และหลังการทดสอบความต้านแรงดึง (Tensile Strength) 58

3.22 แบบโลหะ 59

3.23 การเททรายใส่แบบโลหะ 60

3.24 การแกะแบบ 60

3.25 การอุดด้วยดินเหนียวผสมกราไฟท์ 61

3.26 การฝังแบบลงในทราย 62

3.27 การเทน้ำโลหะลงในแบบหล่อ 62

4.1 กราฟร้อยละการกระจายตัวของเม็ดทราย 65

4.2 ลักษณะรูปร่างของเม็ดทรายแม่น้ำโขง จังหวัดเลย ที่ยังไม่คัดแยกขนาด 67

4.3 รูปร่างเม็ดทรายที่ผ่านการคัดแยกขนาด Mesh 20 – 270 68

4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของชิ้นทดสอบต่อปริมาณเรซิ่น 71

4.5 ความสัมพันธ์ของปริมาณเรซิ่นและความหนาแน่นของชิ้นงานทดสอบแรงดึง 75

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ | หน้า

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความต้านทานแรงดึง 75
4.7 ชิ้นงานตัวอย่าง 76
4.8 แบบหล่อทรายหลังจากเทหล่อน้ำโลหะ ที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น 4.5% (215 g) กับทราย 4,785 g 78
4.9 แบบหล่อทรายหลังจากเทหล่อน้ำโลหะ ที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น 6.5% (305 g) กับทราย 4,695 g 78
4.10 แบบหล่อทรายหลังจากเทหล่อน้ำโลหะ ที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น 8.5% (391.5 g) กับทราย 4,609 g 78
4.11 ชิ้นงานหล่อที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น 4.5% (215 g) สภาพผิวหยาบ 79
4.12 ชิ้นงานหล่อที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น 6.5% (305 g) สภาพผิวค่อนข้างเรียบ 79
4.13 ชิ้นงานหล่อที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น 8.5% (391.5 g) สภาพผิวค่อนข้างเรียบ 80
5.1 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Olysia M3 Image analysis 84
5.2 ลักษณะรูปร่างเม็ดทรายและค่า Shape factor 84
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น และ Compressive Strength 87
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรซิ่นกับความสามารถในการซึมผ่าน 87
5.5 ลักษณะการจับยึดของเม็ดทรายที่ส่วนผสมของฟีโนลิคเรซิ่น 2% และ 4% 89
5.6 ลักษณะเปลวไฟที่ลุกไหม้แบบหล่อทราย 92
5.7 รอยไหม้จากความร้อนของน้ำโลหะ 93
5.8 ลักษณะของชิ้นงานหล่อที่นำออกจากแบบหล่อทรายก่อนทำการตกแต่งทุกส่วนผสม 94
5.9 ลักษณะของชิ้นงานหล่อหลังจากตกแต่ง ด้านข้าง ทุกส่วนผสม 94
5.10 ขนาดของส่วนหาง มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.4 cm. ทุกส่วนผสม 95
5.11 ขนาดความหนาของส่วนหัวเท่ากับ 3.4 cm. ทุกส่วนผสม 95
5.12 ขนาดความยาวจากส่วนหัวถึงส่วนหางเท่ากับ 24.5 cm. ทุกส่วนผสม 95
5.13 เปรียบเทียบชิ้นงานหล่อที่ได้จากทรายแม่น้ำโขงกับทรายระยอง 96
5.14 (ก) ชิ้นงานหล่อจากทรายแม่น้ำโขง และ (ข) ชิ้นงานหล่อจากทรายระยอง 97

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า

5.15 ลักษณะของชิ้นงานหล่อด้านข้างซ้าย (ก) ชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายแม่น้ำโขง (ข) ชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายระยอง 97

5.16 เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานหล่อส่วนหางมีขนาด 5.4 cm. (ก) ชิ้นงานหล่อจากแบบหล่อทรายแม่น้ำโขง (ข) ชิ้นงานหล่อจากแบบหล่อทรายระยอง 98

5.17 ส่วนหัวมีขนาด 3.4 cm. (ก) ชิ้นงานหล่อจากแบบหล่อทรายแม่น้ำโขง (ข) ชิ้นงานหล่อจากแบบหล่อทรายระยอง 98

5.18 ขนาดความยาวจากส่วนหัวถึงส่วนหาง เท่ากับ 24.5 cm. (ก) ชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายแม่น้ำโขง (ข) ชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายระยอง 99

5.19 สภาพผิวของชิ้นงานหล่อ (ก) ชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายแม่น้ำโขง (ข) ชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายระยอง 100

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การหล่อโลหะเป็นอุตสาหกรรมที่มีมาช้านาน และปัจจุบันอุตสาหกรรมหล่อโลหะเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรมอื่นๆ อาทิ อุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมก่อสร้าง ชิ้นส่วนหลายชิ้นสามารถขึ้นรูปด้วยการหล่อแบบทราย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วทรายที่ใช้ทำแบบจะนำมาจากธรรมชาติหรือทรายสังเคราะห์ ปัจจุบันผู้ประกอบการส่วนใหญ่ในประเทศไทย จะใช้ทรายทะเลโดยแหล่งที่มาคือ จังหวัดระยอง จึงนิยมเรียกว่า “ทรายระยอง” ซึ่งเป็นทรายที่มีคุณสมบัติเหมาะสม กล่าวคือ มีปริมาณซิลิกาสูง มีสารเจือปนหรือดินเหนียวน้อย รวมทั้งขนาดของเม็ดทรายที่เล็กละเอียดสม่ำเสมอเหมาะสำหรับนำมาใช้ทำแบบหล่อ แต่เนื่องจากแหล่งทรายระยองอยู่ห่างไกลจากภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งจะมีผู้ประกอบการหล่อโลหะรายย่อยต้นทุนต่ำ ดังนั้นผู้ประกอบการจะต้องซื้อทรายและเสียค่าขนส่งสูง ซึ่งจะส่งผลต่อต้นทุนการผลิต

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยโดยทั่วไปสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบสูง ซึ่งในดินส่วนมากจะมีส่วนประกอบของทรายผสมอยู่ และทรายเหล่านี้ยังถูกพัดพามากับแม่น้ำหลาย ๆ สาย อาทิ ทรายจากแม่น้ำโขง แม่น้ำสงคราม แม่น้ำชี แม่น้ำมูล ซึ่งทรายแม่น้ำนี้ถือเป็นทรัพยากรท้องถิ่น ทรายที่ได้จากแม่น้ำมักนำมาใช้ประโยชน์ในการก่อสร้าง ซึ่งขนาดของเม็ดทรายจะมีขนาดใหญ่ การจับตัวกันของเม็ดทรายจะมีน้อย มีลักษณะร่วนซุย อย่างไรก็ตาม จากการวิจัยเบื้องต้นเรื่อง “การศึกษาความเป็นไปได้การนำทรายแม่น้ำมูลมาใช้ทำแบบหล่อโดยวิธี Furan No-Bake” (สุริยา โชคสวัสดิ์, 2550) ได้ทำการศึกษาสมบัติของทรายแม่น้ำชีและแม่น้ำมูล พบว่าทรายแม่น้ำสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำแบบหล่อโดยวิธีแบบหล่อเปลือก (Shell moulding) ได้ ซึ่งจะเป็นกรรมวิธีการผลิตงานที่สามารถผลิตชิ้นงานได้เป็นจำนวนมาก มีน้ำหนักน้อยกว่า 1 กิโลกรัม จนถึง 200 กิโลกรัม ซึ่งสามารถขึ้นรูปได้ทั้งโลหะเหล็กและโลหะเบา ประหยัดเวลาในการตกแต่งชิ้นงาน มีความละเอียดที่ผิวสูง แต่ทรายในกระบวนการนี้ต้องการทรายที่มีคุณภาพ มีความละเอียดสูง และไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกจึงเป็นการสิ้นเปลือง

ดังนั้นเพื่อให้เป็นทางเลือกให้กับผู้ประกอบการ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของทรายแม่น้ำโขงตลอดจนส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างทรายและตัวประสาน เพื่อ

ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นแบบหล่อเปลือก เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับทรายในท้องถิ่น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาสมบัติของทรายแม่น้ำโขงที่เหมาะสม ในการทำแบบหล่อโดยวิธีแบบหล่อเปลือกตามมาตรฐานสมาคมหล่อโลหะแห่งประเทศอเมริกา (The American Foundrymen' s Society: AFS.)

1.2.2 ศึกษาอัตราส่วนระหว่างทราย และฟีโนลิคเรซิ่นที่ให้ค่าการซึมผ่านอากาศ และสมบัติทางกลที่เหมาะสม ในการขึ้นรูปแบบหล่อทรายเปลือก

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ทรายตัวอย่างที่ใช้ คือ ทรายแม่น้ำโขง จังหวัดเลย

1.3.2 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การหาความละเอียดของเม็ดทราย การหาปริมาณดินเหนียวและ วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเม็ดทราย

1.3.3 วิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่ การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยการวาวรังสีเอ็กซ์ (XRF) และ วัดค่า pH

1.3.4 วิเคราะห์ส่วนผสมทรายและเรซิ่นที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบเปลือก จากการทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ ความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดึง รวมทั้งทดสอบความสามารถในการซึมผ่านอากาศ

1.3.5 ทำการขึ้นรูปแบบหล่อทรายเปลือก ทดลองหล่อชิ้นงานเหล็กหล่อเทา วิเคราะห์ความเหมาะสมในการหล่อแบบด้วยทรายแม่น้ำจากขนาด มิติ ของชิ้นงานหล่อ

1.4 วิธีการและสถานที่ดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการการหล่อแบบเปลือก ทฤษฎีทรายหล่อและวิธีการทดสอบ

1.4.2 ออกแบบการทดลองเลือกทรายตัวอย่าง ทำความสะอาด

1.4.3 ดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูลผลการทดลอง

1.4.3.1 การทดสอบตามมาตรฐาน AFS ได้แก่ ขนาดความละเอียดของเม็ดทราย การทดสอบปริมาณดินเหนียว และการตรวจสอบลักษณะรูปร่างของเม็ดทราย ดำเนินการที่ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1.4.3.2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของทรายด้วย วิธีการวาวรังสีเอกซ์ (XRF) ดำเนินการที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และพิจารณาค่า pH ที่มีผลต่อระยะเวลาเซทตัวของทรายหล่อดำเนินการที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1.4.3.3 วิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างทราย และฟีโนลิคเรซิ่นที่เหมาะสม จากผลการทดสอบความสามารถในการซึมผ่าน และการทดสอบความต้านแรงอัด, ความต้านแรงดึง ดำเนินการที่ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1.4.3.4 การทำแบบหล่อทรายชิ้นงานจริงด้วยเหล็กหล่อเทาและหล่อชิ้นงาน ดำเนินการที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1.4.4 วิเคราะห์และสรุปผล จัดทำรายงานการวิจัย

1.5 แผนการทำวิจัย

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค
1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง												
1.1 ศึกษาคุณสมบัติของทราย												
1.2 ศึกษาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทำแบบหล่อ												
1.3 ศึกษาขั้นตอนการทำแบบหล่อเปลือก	⟷	⟷	⟷									
1.4 ศึกษาการตรวจสอบงานหล่อ												
1.5 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง												
2. เก็บรวบรวมข้อมูล				⟷								
3. ออกแบบการทดลอง					⟷							
4. เตรียมการทดลอง					⟷							
5. ดำเนินการทดลอง												
5.1 หาความละเอียดเม็ดทราย												
5.2 หาปริมาณดินเหนียว												
5.3 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเม็ดทราย												
5.4 วิเคราะห์สมบัติทางเคมี												
5.5 วัดค่า pH												
5.6 หาส่วนผสมของทรายและตัวประสานที่เหมาะสม												
5.7 หาการซึมผ่าน						⟷	⟷	⟷	⟷	⟷	⟷	
5.8 ทดสอบแรงอัด												
5.9 ทดสอบแรงดึง												
5.10 นำทรายไปส่องดูโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ stereo microscope												
5.11 ทำการขึ้นรูปแบบหล่อทรายเปลือก												

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินการวิจัย (ต่อ)

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค
5.12 นำแบบหล่อทรายไปเทน้ำโลหะ						⟷	⟷	⟷	⟷	⟷		
6. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง											⟷	
7. จัดทำรายงาน/วิทยานิพนธ์												⟷
8. นำเสนอผลการวิจัย												⟷

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.6.1 ทราบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล ตลอดจนส่วนผสมทรายแม่น้ำโขงและเรซิ่นที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบหล่อเปลือก

1.6.2 เพิ่มทางเลือกให้กับผู้ประกอบการโรงหล่อ สามารถเลือกทรายมาทำแบบหล่อในการหล่อโลหะได้มากขึ้น

1.6.3 สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับทรายแม่น้ำโขง

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎี บทความและเอกสารอ้างอิงต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ กรรมวิธีการทำงานหล่อ ทฤษฎีในการทำแบบหล่อทราย (Sand mould) คุณสมบัติของตัวประสาน การทดสอบทราย ได้แก่ ขนาด รูปร่าง ส่วนประกอบทางเคมี การวิเคราะห์หาปริมาณดินเหนียว การวิเคราะห์หาส่วนผสมทางเคมีโดยการวาวรังสีเอกซ์ (XRF) เพื่อหาธาตุที่ผสมอยู่ในทราย การหาอัตราการซึมผ่านหรือความโปร่ง และการทดสอบความแข็งแรงของส่วนผสม ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้จะต้องมีการทดสอบและควบคุมก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งในการทดสอบคุณสมบัติด้านต่างๆ นั้นจะทำการทดสอบตามมาตรฐานของ American Foundrymen's Society (AFS) ทฤษฎีที่นำมาอ้างอิงในงานวิจัยนี้ เพื่อเป็นฐานข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย ดังมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การหล่อโลหะ

การหล่อโลหะเป็นขบวนการผลิตงานลักษณะต่างๆ โดยเริ่มจากการหลอมโลหะแล้วเทลงในโพรงแบบหล่อ เมื่อน้ำโลหะเกิดการเย็นตัวแล้วจะกลายเป็นชิ้นงานหล่อ วิธีการหล่อที่ใช้กันในปัจจุบันมีหลายวิธี มีดังนี้

2.1.1 ถ้าใช้ทรายทำแบบ เรียกว่า การหล่อแบบทราย (Sand casting)

2.1.2 ถ้าใช้โลหะทนความร้อนทำแบบหล่อ เรียกว่า การหล่อแบบถาวร (Permanent mould casting) หรือ (Gravity die casting)

2.1.3 ถ้าใช้แบบหล่อทำด้วยโลหะ และใช้ความดันช่วยในการฉีดโลหะหลอมเหลวให้ไหลเข้าแบบ เรียกว่ากรรมวิธี การหล่อแบบฉีกแรงดันสูง (High pressure die casting)

2.1.4 ถ้านำแบบหล่อมาหมุนเหวี่ยงให้โลหะไหลเข้าแบบได้ดีขึ้น เรียกว่า การหล่อเหวี่ยง (Centrifugal casting)

การหล่อมีขั้นตอนการทำที่แตกต่างกันไปตามชนิดของแบบหล่อ เริ่มต้นจากการออกแบบงานหล่อ และการสร้างกระสวน ให้ได้รูปร่างตามที่ได้ออกแบบไว้ หากลักษณะงานที่ต้องการให้มีโพรงจะต้องมีขั้นตอนการทำไส้แบบเพิ่ม และก่อนเทจะต้องประกอบไส้แบบเข้ากับแบบทรายหล่อให้เรียบร้อย ในขั้นตอนการเตรียมน้ำโลหะจะต้องมีการควบคุมคุณภาพของน้ำโลหะให้ได้ส่วนผสมตามที่กำหนดเสียก่อน จึงนำไปเทลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้ เมื่อเทหล่อแล้ว ปล่อย

ให้งานหล่อแข็งตัวสมบูรณ์และเย็นตัว จึงทำการรื้อแบบหล่อในขั้นตอนต่อไป งานหล่อที่ได้จะต้องผ่านการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยสายตา และนำมาทำความสะอาด

ซึ่งกระบวนการหล่อด้วยแบบทรายนั้นเป็นกระบวนการผลิตที่สำคัญเนื่องจากมีต้นทุนต่ำ และยังเป็นกระบวนการที่ง่ายในการทำแบบด้วยมือหรือด้วยเครื่องจักร อย่างไรก็ตามคุณภาพของทรายทำแบบ มักเป็นประเด็นที่โรงหล่อโดยทั่วไปมองข้ามความสำคัญ ดังนั้นการควบคุมทรายหล่อให้มีคุณภาพสม่ำเสมอโดยการศึกษาองค์ความรู้เกี่ยวกับหลักการและทฤษฎี ในกระบวนการทดสอบทรายหล่อรวมไปถึงความสัมพันธ์ของทรายต่อจุดบกพร่องในงานหล่อ นั้นถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากเนื่องจากว่าถ้าหากนำทรายที่ไม่มีคุณภาพมาทำแบบหล่อ อาจทำให้แบบหล่อที่ได้มีความแข็งแรงไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นแบบหล่อจึงมีความสำคัญมาก แบบหล่อที่ดีจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ทรายที่ใช้ทำแบบหล่อควรมีคุณสมบัติดังนี้

(1) ทนต่ออุณหภูมิสูง

(2) แก๊สทุกชนิดที่เกิดขึ้นในขณะเทน้ำเหล็กลงแบบ จะต้องไปพ้นแบบอย่างรวดเร็วที่สุดหรืออาจกล่าวว่า ทรายทำแบบหล่อจะต้องมีอัตราการผ่านลมสูง

(3) มีความแข็งแรงไม่แตกในขณะที่เทน้ำเหล็กลงไป

(4) ขึ้นรูปได้ง่าย

(5) ตักใส่แบบง่าย

(6) นำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

(7) ทุบแตกได้ง่าย หลังจากหล่อเสร็จแล้ว

(8) ไม่ทำให้เกิดปัญหามลพิษ

2.2 ประเภทแบบหล่อ (The type of mould)

2.2.1 แบบหล่อทราย (Green sand moulds) วิธีนี้นิยมใช้กันมากที่สุด การทำโดยกระทุ้งทรายบนกระสวน ด้วยการเททรายลงบนแผ่นไม้ หรือใช้ทรายเป็นแกนกลางก็ได้

2.2.2 แบบหล่อเคลือบผิวแข็ง (Skin-dried moulds) วิธีที่ใช้ในการเตรียมทรายแบบนี้มี 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 นำทรายวางรอบๆ กระสวนเพื่อให้ลึกประมาณครึ่งนิ้ว แล้วผสมเข้ากับตัวยึดเพื่อว่าเมื่อแห้งแล้วมันจะทำให้แข็งบนแบบหล่อ และส่วนที่ค้างอยู่ก็ใช้ Green sand ทำต่อไป

วิธีที่ 2 เป็นวิธีที่ใช้ Green sand ทำแบบหล่อแล้วเคลือบผิวด้วยการพ่นน้ำยา ที่ทำให้แข็งเมื่อถูกน้ำโลหะร้อน น้ำยาพ่นที่ใช้ได้จากน้ำมันลินสิด, กากน้ำตาล (Molasses), วุ้นแป้ง (Gelatinzed starch) และสารละลายของเหลวที่มีลักษณะคล้ายกัน

ทั้ง 2 วิธีดังกล่าว แบบจะต้องทำให้แห้งด้วยการเป่า หรือด้วยการใช้หัวพ่นความร้อน เพื่อทำให้แข็งตัวที่บริเวณผิว และไล่ความชื้นออกไป

2.2.3 แบบหล่อทรายหยาบ (Dry-sand moulds) แบบหล่อแบบนี้ทำมาจากทรายหยาบๆ ผสมกับวัสดุยึด ดังนั้นจึงต้องเตรียมทรายก่อนนำไปใช้ และต้องพิจารณาดูภาวะที่จะเทน้ำโลหะลงไปในแบบหล่อด้วย ซึ่งแบบหล่อนี้สามารถทำให้มีรูปต่างๆได้ และเมื่อเทน้ำโลหะลงไปจะไม่เกิดปัญหาเรื่องฟองอากาศที่เกิดจากความชื้นนั้นทำได้ทั้งแบบหล่อเคลือบผิวแข็ง (Skin-dried molds) และแบบหล่อทรายหยาบนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการหล่อเหล็กกล้า

2.2.4 แบบหล่อแบบโลม (Loam moulds) แบบหล่อนี้ใช้สำหรับงานหล่อขนาดใหญ่ แบบหล่อนี้ได้ถูกสร้างครั้งแรกด้วยอิฐหรือชิ้นส่วนของเหล็กขนาดใหญ่แล้วใช้ปูนฉาบคลุมอีกชั้นหนึ่ง เพื่อให้หนาและทนความร้อนสูงๆ สามารถทำให้มีรูปร่างต่างๆได้ แล้วทำให้แบบหล่อนี้แห้ง

2.2.5 แบบหล่อฟูราน (Furan moulds) เหมาะแก่การทำแบบหล่อสำหรับแบบกระสวนถ่ายเทได้ ไส้แบบต้องทำให้ทรายแห้ง และเม็ดทรายต้องมีรูปร่างแหลมคมด้วย ในการผสมเข้ากับตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งเป็นกรดฟอสฟอร์ริค และใส่ ฟูรานเรซิ่น (Furan resin หรือ Furfuryl alcohol resin) เข้าไป ซึ่งสารเคมีทั้ง 2 จะทำหน้าที่เป็นตัวประสาน ทำการผสมต่อไปให้ Resin นี้กระจายอยู่ทั่วๆไป แล้วเป่าอากาศเข้าไปเพื่อทำให้แข็ง แต่อาจรอเวลาให้เพียงพอเพื่อทำแบบหล่อ วัสดุที่ใช้นี้ตามปกติจะแข็งตัวภายใน 1 หรือ 2 ชั่วโมง

2.2.6 แบบหล่อคาร์บอนไดออกไซด์ (“CO_2”moulds) ในกระบวนการนี้ต้องทำทรายให้สะอาดผสมกับเกลือโซเดียม และต้องผสมให้ทั่วรอบๆกระสวน เมื่อใช้ความดันอัดอากาศ CO_2 เข้าไปในแบบทรายแล้วจะทำให้ทรายที่ผสมนั้นแข็งตัวขึ้นวิธีนี้จะทำให้ได้โลหะหล่อเรียบขึ้นดีมาก วิธีนี้ต่อมาได้นำมาใช้ทำไส้แบบด้วย

2.2.7 แบบหล่อโลหะ (Metal moulds) แบบหล่อทำด้วยแบบโลหะ ส่วนมากใช้ในการทำแบบพิมพ์หล่อโลหะผสมที่มีจุดหลอมละลายต่ำ ทำให้ได้โลหะหล่อรูปร่างดี เรียบ ไม่ต้องตกแต่งมาก

2.2.8 แบบหล่อพิเศษ (Special moulds) เป็นแบบหล่อที่ทำขึ้นเป็นพิเศษสำหรับงานบางอย่างที่อาจใช้พลาสติก ปูน ซีเมนต์ ปูนพลาสเตอร์ กระดาษ และยางเป็นวัสดุที่ใช้ทำแบบหล่อ

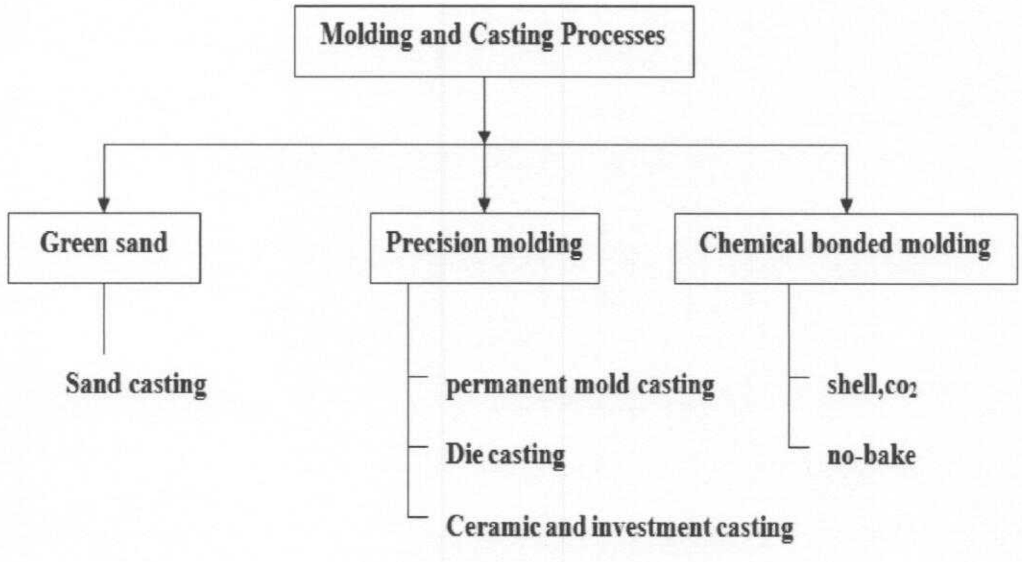
2.3 กระบวนการขึ้นรูปแบบหล่อ (Molding processes)

2.3.1 การหล่อแบบขนาดเล็ก (Bench moulding) เป็นแบบหล่อที่เหมาะสมแก่การหล่อแบบเล็กๆ ทำบนโต๊ะที่สูงพอช่างทำแบบจะทำได้สะดวก

2.3.2 การหล่อแบบขนาดกลาง (Floor moulding) เมื่อโลหะหล่อเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้นก็ทำให้ยากแก่การยกต่อการเคลื่อนที่ งานที่ทำจึงต้องทำบนพื้นโรงหล่อ แบบหล่อแบบนี้เหมาะกับงานหล่อขนาดกลางและขนาดใหญ่

2.3.3 การหล่อแบบหลุม (Pit moulding) เป็นแบบหล่อที่เหมาะกับงานหล่อขนาดใหญ่จึงทำในหลุม หลุมนี่ทำหน้าที่เป็นที่รองรับแบบหล่อ ด้านข้างของหลุมทำด้วยอิฐเป็นผนังและก้นลางทำให้ผิวหนามากเพื่อจะได้รองรับน้ำหนัก ดังนั้นการหล่อแบบหลุ่มจึงสามารถต้านทานความกดดันที่เกิดจากก๊าซร้อนได้ วิธีนี้ประหยัดอย่างมากในการทำแบบจึงสามารถทำงานชิ้นใหญ่ๆได้

2.3.4 การใช้เครื่องจักรหล่อแบบ (Machine moulding) เป็นวิธีการนำเครื่องจักรมาใช้ทำแบบหล่อโดยการปรับปรุงขึ้นเพื่อใช้แทนการทำงานด้วยมือ การกระทุ้งทราย การทำแบบช่องรูเท และดึงกระสวนออกนั้น สามารถใช้เครื่องจักรได้ดีกว่าและมีประสิทธิภาพดีกว่าที่ใช้มือทำงานกระบวนการขึ้นรูปแบบหล่อทั้งหมดสามารถสรุป และแสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กระบวนการขึ้นรูปแบบหล่อตามชนิดของแบบหล่อ (สุริยา โชคสวัสดิ์, 2549)

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบสมบัติซึ่งมีลักษณะสำคัญ ที่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันระหว่างกระบวนการหล่อแบบต่างๆ (สุริยา โชคสวัสดิ์, 2550)

ลักษณะสำคัญ	Green sand	Precision Molding			Chemically Bonded molding
	Sand Casting	Permanent Mold Cast	Die casting	Ceramic & Investment Casting	Shell, CO_2 No – Bake
ระยะเผื่อ	±.010" ±.030"	±.010" ±.050"	±.001" ±.015"	±.010" ±.020"	±.005" ±.015"
ต้นทุนเมื่อผลิตจำนวนมาก	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	สูง	ปานกลาง-สูง
ต้นทุนเมื่อผลิตจำนวนน้อย	ต่ำ	สูง	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง-สูง
น้ำหนักของชิ้นงานหล่อ (ปอนด์)	ไม่จำกัด	100 lbs	75 lbs	Ozs. to 100 lbs	Shell Ozs. – 250 lbs CO_2& no – bake 1/2 lbs-tons
ความหนาต่ำสุด (นิ้ว)	1/10"	1/8"	1/32"	1/16"	1/10"
ความเรียบผิว	พอใช้ถึงดี	ดี	ดีที่สุด	ดีมากๆ	Shell-ดี CO_2-พอใช้
ความสามารถในการผลิตชิ้นงานรูปร่างซับซ้อน	พอใช้ถึงดี	พอใช้	ดี	ดีที่สุด	ดี
ความสามารถในการเปลี่ยนแบบในการผลิต	ดีที่สุด	แย่	แย่ที่สุด	พอใช้	พอใช้
โลหะผสมที่สามารถขึ้นรูปได้	ไม่จำกัด	Aluminum - base and copper-base preferable	Aluminum - base preferable	ไม่จำกัด	ไม่จำกัด

จากตารางที่ 2.1จะเห็นได้ว่า การหล่อแบบเปลือกให้ความละเอียดที่ผิวสูงที่สุด แต่มีราคาค่อนข้างสูงเนื่องจากราคาสารเคมี และต้องใช้ทรายที่มีความละเอียดสูงดังนั้นหากมีการนำทรายแม่น้ำซึ่งราคาถูกมาใช้ในกระบวนการได้ จะเป็นการลดต้นทุนได้อีกทางหนึ่ง

2.4 ทรายทำแบบหล่อ

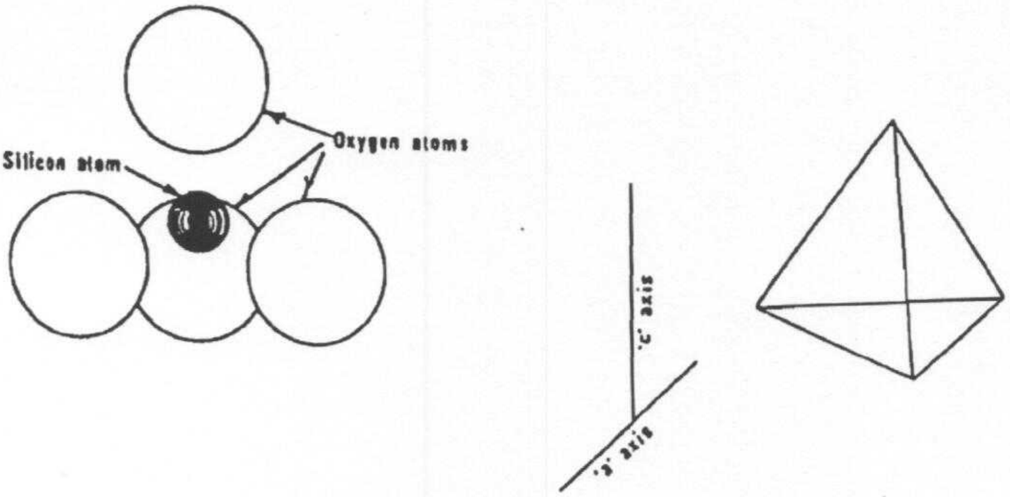
ทรายที่ใช้ทำเป็นแบบหล่อในงานอุตสาหกรรมหล่อโลหะส่วนใหญ่ จะใช้ทรายที่ไม่มีดินปนอยู่ ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ ซิลิกา (SiO_2) ทรายโอลิวีน (Olivine)ทรายเซอร์คอน (Zircon) และ โครไมท์ (Chromite) ซึ่งจะมีราคา แหล่งกำเนิด และคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ดังมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 ทรายซิลิกา (Silica sand)

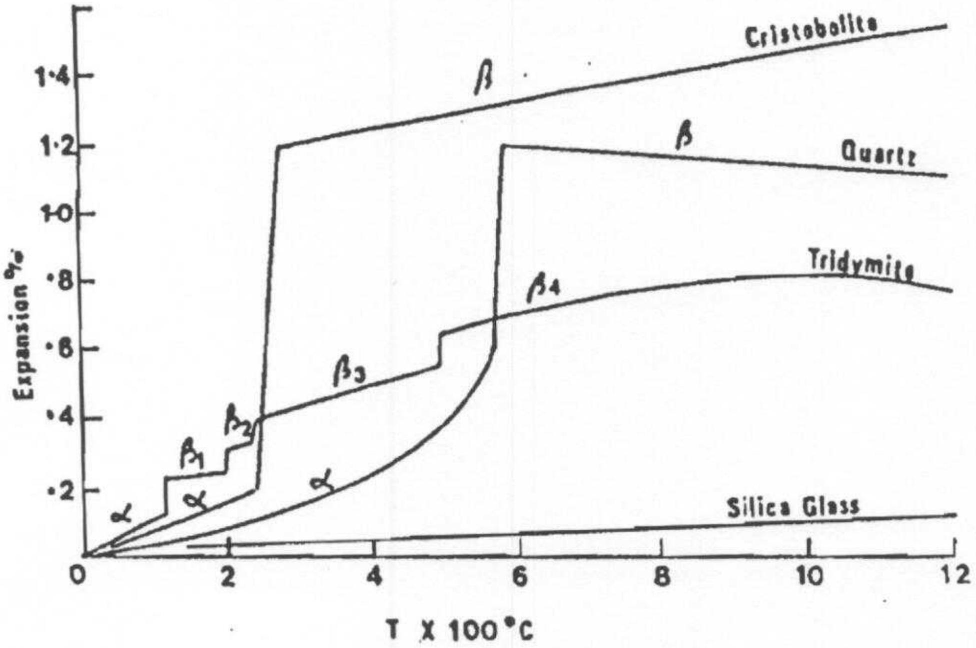
ทรายซิลิกาหรือทรายแก้ว เป็นกลุ่มแร่ที่ประกอบด้วยซิลิคอนและออกซิเจน มีสูตรทางเคมี คือ SiO_2 ซึ่งพบได้ทั่วไปในชั้นเปลือกโลก ซิลิกามีขนาดและโครงสร้างผลึกหลากหลาย และยังพบอยู่ในรูปทรงอื่นๆ ผลึกซิลิกาที่พบมากที่สุดอยู่ในรูปแร่ควอทซ์ ทรายซิลิกาพบได้ทั่วไปบริเวณหน้าดิน ในเหมืองเปิดและเหมืองอุโมงค์ การถลุงแร่ดังกล่าวมีกระบวนการหลายขั้นตอน โดยเริ่มจากการกำจัดสิ่งปลอมปน ทำให้แห้ง และคัดขนาดให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ทรายซิลิกาที่ใช้กันจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ ทรายธรรมชาติ (Natural born sand) มีปริมาณดินมากประมาณ 5% - 20% ส่วนมากจะใช้ทำแบบหล่อสำหรับโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ เช่น อลูมิเนียม และอีกชนิดหนึ่ง คือ ทรายสังเคราะห์ (Synthetic sand) เป็นทรายที่เกิดจากธรรมชาติเช่นกัน แต่มีปริมาณ SiO_2 สูงมากกว่า 98% และมีปริมาณดินอยู่ต่ำ (0-0.15%) หรือไม่มีเลย ทรายชนิดนี้สามารถใช้ตัวประสาน (Binder) และสารเสริมคุณสมบัติ (Additive)ได้ตามต้องการ

ในประเทศไทยพบมากในจังหวัด ระยอง จันบุรี ตราด ชุมพร และสงขลา ข้อดีของทรายซิลิกา คือ ราคาถูก หาง่าย แต่มีข้อเสีย คือ ยิ่งมีเปอร์เซ็นต์ซิลิกาสูงยิ่งทำให้ทรายมีการขยายตัวสูงที่ประมาณ 359°C เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง จาก α ไปเป็น β (บรรเจิด แสงจันทร์, 2541) แต่การขยายตัวของทรายซิลิกาขณะเปลี่ยนเฟสสามารถแก้ไขได้โดยใช้เม็ดทรายรูปร่างเป็นเหลี่ยมไม่ใช้ทรายรูปร่างกลม แต่มีข้อเสียคือทรายแบบมีความแข็งแรงต่ำลง อย่างไรก็ตามการเติมเหล็กออกไซด์ในทรายหรือสารเพิ่มพิเศษในทรายทำไส้แบบ สารเพิ่มพิเศษจะช่วยลดอุณหภูมิ sinter ทำให้เม็ดทรายยึดติดกัน และจะเพิ่มความแข็งแรงขึ้นได้

โครงสร้างผลึกของทรายซิลิกาตามธรรมชาติจะเป็นรูปปิรามิดฐานสามเหลี่ยม ซึ่งอะตอมของซิลิกา 1 อะตอม จะมีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกับออกซิเจน ที่มีประจุลบอีก 4 อะตอม ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างปิรามิดฐานสามเหลี่ยม (tetrahedral structure) ของ silica (บรรเจิด แสงจันทร์, 2541 : 5)



ภาพที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของซิลิกา (บรรเจิด แสงจันทร์, 2541 : 5)

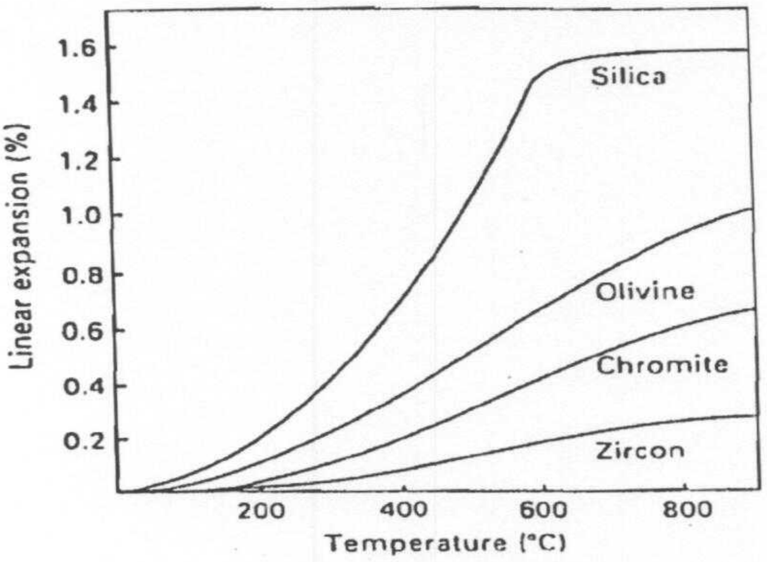
ซึ่งการยึดเกาะกันในลักษณะนี้ ทำให้เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ ร้อนขึ้นหรือหลังจากเย็นลงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางปริมาตรของซิลิกา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงแสดงในภาพที่ 2.3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า α-Phase ของซิลิกาจะเสถียร (Stable) ที่อุณหภูมิต่ำและเปลี่ยนไปเป็น β-Phase ที่อุณหภูมิ 573°C ซึ่งจะทำให้ไปเพิ่มระยะของแกน a และ c ค่าการขยายตัวทางความร้อนเพิ่มจาก 0.6 ไปเป็นประมาณ 1.2 (หรือ 2 เท่า) ดังในภาพที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงนี้จะเปลี่ยนอย่างรวดเร็ว และเปลี่ยนกลับเป็น phase α เหมือนเดิมเมื่อเย็นลง อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงจะไม่เกิดขึ้นทั้งหมด โดยที่อาจจะไม่มีเหลือในส่วนที่ไม่เปลี่ยนแปลง หรือส่วนที่เปลี่ยนได้ช้าซึ่งจะต้องใช้เวลานาน (บรรเจิด แสงจันทร์, 2541)

จากภาพ 2.3 จะเห็นได้ว่า α จะเปลี่ยนเป็น β ที่อุณหภูมิ 573°C และมีแนวโน้มที่จะมีโครงสร้างเป็น คริสโตบาไลท์ (Cristobalite) ที่อุณหภูมิระหว่าง 876°C และ 1,450°C และถ้าอยู่ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลานาน ก็จะมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนเป็นโครงสร้างไทรดิไมท์ (Tridymite) อย่างช้าๆซึ่งโครงสร้างจะกลับมาเย็นตัวอีกครั้งเมื่ออุณหภูมิลดลง

2.4.2 ทรายเซอร์คอน (Zircon sand)

ทรายเซอร์คอนหรือเซอร์โครเนียมซิลิเกต พบมากในออสเตรเลีย อเมริกา อัฟริกาใต้ และอินเดีย ซึ่งมีขนาดเม็ดทรายและการกระจายตัวของเม็ดทรายคล้ายกับซิลิกา มีขนาดเม็ดเล็กโดยเฉลี่ยอยู่ ระหว่าง 115-230 μm AFSGFN (ขนาดของเม็ดทรายตามมาตรฐาน AFS) เท่ากับ 40-65 mesh และปราศจากปริมาณดินเหนียวสำหรับในประเทศไทยพบปนอยู่กับแร่ชนิดอื่น แต่มีปริมาณน้อย ทรายเซอร์คอนมีการขยายตัวเนื่องจากความร้อนที่น้อยมากเพียง 0.2% เมื่อเทียบกับทรายชนิดอื่น ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ทรายชนิดนี้มีความทนทานต่อความร้อนสูงมาก โดยจะเริ่มอ่อนตัวที่ 1,750°C และมีจุดหลอมตัวสูงกว่า 2,400°C ทรายที่นำมาใช้งานหล่อควรมีปริมาณของ ZrO_2 อย่างน้อยที่สุดเท่ากับ 65-66 % (บรรเจิด แสงจันทร์ : 2541) มีความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 4.6 - 4.7 ซึ่งมากกว่าทรายโครไมท์ ทรายโอลิวีน และทรายซิลิก้า ทรายเซอร์คอนมีการนำความร้อนดีเหมาะกับงานที่ต้องการแข็งตัวอย่างรวดเร็ว ในปริมาณบางส่วนของชิ้นงานยิ่งไปกว่านั้น ทรายเซอร์คอนยังไม่ทำปฏิกิริยากับเหล็กออกไซด์ ซึ่งจะทำให้จุดหลอมเหลวต่ำลง ดังนั้นจะไม่มีการเกิดทรายหลอมเหลว หรือทรายไหม้ นอกจากนี้ทรายเซอร์คอนยังมีค่าความต้องการกรด Acid Demand Value (ADV) ที่ต่ำทำให้สามารถใช้ร่วมกับตัวประสานเคมีได้ทุกชนิด แต่ทรายเซอร์คอนบางแหล่งจะปนเปื้อนสารกัมมันตภาพรังสี ซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกาย ดังนั้นในการใช้งานควรมีการตรวจหาระดับของสารกัมมันตภาพรังสีที่แน่นอนเสียก่อน และเนื่องจากทรายชนิดนี้มีราคาค่อนข้างแพง ในอุตสาหกรรมการหล่อโลหะจึงอาจจะใช้เป็นเพียงทรายปะหน้า (Facing sand)

ในบริเวณที่ง่ายต่อการแทรกซึมของน้ำโลหะ (Metal penetration) หรือในบริเวณที่เกิดผิวตกสะเก็ด (Scabs) และในบางกรณีอาจใช้เป็นสารเคลือบผิวแบบหล่อ



ภาพที่ 2.4 การเปรียบเทียบการขยายตัวของทราย (บรรเจิด แสงจันทร์, 2541 : 7)

เนื่องจากทรายเซอร์คอนมีการขยายตัวต่ำ จึงนิยมนำมาใช้ทำแบบหล่อเปลือก ซึ่งต้องมีการผสมเรซิ่น และตัวประสานซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยการอบให้เรซินละลายออก ทรายเซอร์คอนสามารถใช้ร่วมกับดินเหนียว และเรซินทุกชนิดได้ เนื่องจากว่ามีค่า ADV ต่ำ และสามารถใช้ได้ดีกับตัวทำปฏิกิริยา (Catalyst) ที่เป็นกรดที่ใช้กับฟูราน และฟีโนลิคเรซิน สำหรับในการผลิตชิ้นงานที่ต้องการความแน่นอน และความเที่ยงตรงทางด้านขนาดชิ้นงานสูง ควรจะเพิ่มปริมาณการใช้ทรายเซอร์คอนในแบบหล่อหรือไส้แบบให้มากขึ้นทรายเซอร์คอนเคลือบด้วยเรซินมีความเหมาะสมสำหรับทำแบบหล่อเปลือกมาก ข้อควรระวังในการใช้ทรายเซอร์คอนที่ใช้ตัวประสานโซเดียมซิลิเกต คือ การเกิดการหลอมละลายรวมกันบางส่วนทำให้ยากต่อการแกะไส้แบบ

2.4.3 ทรายโครไมท์ (Chromite sand)

ทรายโครไมท์ คือ สินแร่โครเมียมที่เป็นหินแข็งอยู่ในรูป FeO/Cr_2O_3 มีแหล่งกำเนิดอยู่ในอัฟริกาใต้ และฟินแลนด์ มีสูตรทางเคมีว่า $FeOCr_2O_3$ ส่วนผสมที่พบในการใช้งานของทรายโครไมท์ คือ 45% Cr_2O_3, 25% FeO_2O_3 , 10% MgO, 14% Al_2O_3, 2% SiO_2 และมี CaO, MnO และ TiO_2 ในปริมาณที่น้อยมากแต่ในทางปฏิบัติทรายโครไมท์ มีส่วนผสมที่กว้างมาก

ซึ่งพวกที่มีปริมาณของโครเมียมที่สูง จะถูกใช้ในการผลิตเป็นโครเมียมในขณะที่บางส่วนที่มีปริมาณโครเมียมสูงเช่นกัน ก็จะถูกใช้ในอุตสาหกรรมหล่อโลหะ ข้อดีของทรายโครไมท์ คือ มีสภาพเป็นกลาง ดังนั้นจึงสามารถใช้กับงานหล่อโลหะที่มีสภาพเป็นกรด และด่าง นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับตัวประสานได้หลายชนิด การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน เมื่อใช้ตัวประสานเป็นเบนโตไนท์ที่ 100°C จะอยู่ที่ประมาณ 0.007 in/in ในขณะที่ทรายซิลิกา และเซอร์คอนจะมีค่า 0.024 in/in และ 0.003 in/in ตามลำดับ ทรายโครไมท์ทั้งหมดจะถูกผลิตโดยการบดให้เล็กลง ลักษณะของเม็ดจะเป็นเหลี่ยม (Angular shape) มีตั้งแต่ปานกลางจนถึงขนาดละเอียด ขนาดเม็ดทรายโดยเฉลี่ย 170 μm AFSGFN เท่ากับ 45-90 Mesh มีความหนาแน่นสัมพัทธ์ 4.5 และมีคุณสมบัติในการทนต่อความร้อนดี โดยมีจุดหลอมตัวมากกว่า 2,090°C สำหรับสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ที่ติดมากับทรายโครไมท์ คือ พวกทรายซิลิกา ค่า Loss on ignition (LOI) ของทรายชนิดนี้ที่เหมาะสมกับการใช้งาน ควรจะมีค่า 0.5 % ทรายโครไมท์บางเกรดมีค่าความต้องการกรด (Acid Demand Value) สูง ส่งผลทำให้มีการแข็งตัวช้าเมื่อใช้ร่วมกับตัวทำปฏิกิริยา (catalyst) ที่เป็นกรด แต่เวลาการแข็งตัวของทรายแบบที่ใช้กรดอินทรีย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะมีผลกระทบเกิดจากสิ่งสกปรกที่เป็นด่างในทราย เพราะว่าไม่สามารถละลายน้ำได้ ทำให้การหาค่า pH ไม่ถูกต้อง โดยทั่วไปแล้วทรายโครไมท์ถ้าใช้ตัวประสานเคมี จะมีความแข็งแรงน้อยกว่าทรายเซอร์คอน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะรูปร่างของเม็ดทรายที่เป็นเหลี่ยม (บรรเจิด แสงจันทร์, 2541 : 7-8)

2.4.4 ทรายโอลิวีน (Olivine sand)

ทรายโอลิวีน คือ แมกนีเซียมซิลิเกต ซึ่งมีปริมาณของแมกนีเซียมที่เปลี่ยนไปตามปริมาณของเหล็กออกไซด์ ดังนั้นความสามารถในการทนความร้อนจะลดลง เมื่อมีปริมาณของเหล็กออกไซด์เพิ่มขึ้น ทรายชนิดนี้จะพบมากที่ประเทศนอร์เวย์ ลักษณะการเกิดจะไม่เหมือนกับพวกซิลิกาที่เป็นเม็ด แต่จะมีลักษณะเป็นก้อนหินขนาดใหญ่ ซึ่งต้องนำมาบดให้แตกเป็นเม็ดเล็กๆ แล้วคัดขนาดก่อนนำไปใช้งาน ดังนั้นรูปร่างของเม็ดทรายจึงมีลักษณะเป็นเหลี่ยม (Angular shape) มีทั้งขนาดปานกลางไปจนถึงขนาดละเอียด ขนาดของเม็ดทรายโดยเฉลี่ยเท่ากับ 75-150 μm AFSGFN เท่ากับ 50-100 Mesh ทรายชนิดนี้จะเริ่มอ่อนตัวที่อุณหภูมิ 1,800°C ความถ่วงจำเพาะ 3.3-3.4 ซึ่งมากกว่าซิลิกาประมาณ 25% สำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรม ทรายโอลิวีนจะไม่มีฝุ่นเหมือนซิลิกา และการขยายตัวจากอุณหภูมิ 0-1000°C ใกล้เคียงกับซิลิกา และก่อนที่การขยายตัวของทรายโอลิวีนจะเข้าใกล้กับซิลิกาที่อุณหภูมิ 1000°C ก็จะถึงจุดที่ทำให้ดินเหนียว ซึ่งเป็นตัวประสานอ่อนตัวลง ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปขณะร้อน (Hot deformation) ก่อนและเปลี่ยนรูปเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นแบบหล่อที่ใช้ทรายโอลิวีนแทนทรายซิลิกาจึงไม่มีข้อบกพร่องเนื่องจากการขยายตัว (Expansion scabs) นอกจากนี้ทรายโอลิวีนยังใช้กันมากในการทำแบบหล่อ

เหล็กกล้าแมงกานีสสูง เนื่องจากทรายมีคุณสมบัติทางเคมีเป็นด่าง ค่าความต้องการกรดของทรายชนิดนี้สูงมาก จึงไม่เหมาะสมกับการใช้ร่วมกับตัวประสานที่ใช้ตัวทำปฏิกิริยา (Catalyst) ที่เป็นกรดจำพวกฟูราน และฟีโนลิคเรซิน ทรายโอลิวีนที่มีความละเอียดเหมาะแก่การทำแบบหล่อแบบเปลือก (Shell mould) โดยใช้เรซินเป็นตัวประสาน ทรายชนิดนี้สามารถใช้กับโซเดียมซิลิเกต และเอสเทอร์-เคียว อัลคาร์ไลน์ฟีโนลิคเรซิ่น (บรรเจิด แสงจันทร์, 2541 : 8-9)

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของทรายทั้ง 4 ชนิด

ชนิดทราย	**โครงสร้างผลึก**	**สมบัติทางกายภาพ**	**สูตรเคมี**	**ขนาดที่นำมาใช้งาน (Mesh)**
1. ทรายซิลิกา	รูปปิรามิดฐานสามเหลี่ยม	รูปร่างกลม, เม็ดเล็ก	SiO_2	50-100
2. ทรายเซอร์คอน	-	รูปร่างกลม, เม็ดเล็ก	$ZrSiO_4$	40-65
3. ทรายโครไมท์	-	เม็ดเป็นเหลี่ยม	$FeOCr_2O_3$	45-90
4. ทรายโอลิวีน	-	ก้อนหินขนาดใหญ่, เม็ดเป็นเหลี่ยม	$(Mg, Fe)SiO_4$	50-100

2.5 การทดสอบทราย

ในการทดสอบทรายโดยเฉพาะทรายใหม่ (New silica sand) ส่วนใหญ่แล้วแบ่งการทดสอบออกได้ดังนี้ คือ การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และการทดสอบคุณสมบัติของแบบหล่อ (บรรเจิด แสงจันทร์, 2541)

2.5.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของทราย

ในการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทั่วไปของทราย เพื่อที่จะเป็นตัวบ่งชี้ขั้นต้นว่าทรายที่ทำการทดสอบ เหมาะกับการนำไปใช้ทำแบบหล่อหรือไม่ ซึ่งวิธีการทดสอบที่เป็นมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป คือ มาตรฐานของ AFS. (American Foundrymen' s Society) มีการทดสอบดังนี้

2.5.1.1 การวิเคราะห์หาปริมาณดินเหนียว (AFS. clay testing)

มาตรฐาน AFS. (American Foundrymen's Society) ได้กำหนดจากขนาดของอนุภาค โดย “Clay” หมายความถึง อนุภาคที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 20 ไมครอน (หรือเท่ากับ 0.02 mm.) จัดเป็นจำพวกดินเหนียว ทรายที่เสื่อมสภาพ โคลน หรือ ตะกอน และ สิ่งเจือปนอื่นๆ ส่วนผสมของทรายหล่อโดยทั่วไป ประกอบด้วย ทราย สำหรับแบบหล่อทรายชื้น ส่วนมากจะใช้ดินเหนียวเป็นตัวประสาน ซึ่งอนุภาคของดินเหนียวจะมีขนาดเล็กกว่าเม็ดทราย วิธีการคัดแยกเอาอนุภาคเล็กๆ ที่ไม่ใช่ทรายออก โดยใช้น้ำเป็นตัวช่วยชะล้างนำพาออกไป โดยใช้เครื่องกวน ที่ใส่

ทรายผสมน้ำลงในถ้วยแก้ว ตั้งเวลาในการกวนหลังจากนั้นก็หยุดกวนปล่อยทิ้งไว้ให้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 20 ไมครอน ตกลงสู่ก้นถ้วยแก้ว ในการปฏิบัติการทดสอบตามวิธีของ AFS คือ การปั่นล้างความเร็วสูง จะใช้เวลา 5 นาที และขั้นตอนการล้างดินเหนียว จะใช้เวลา 10 นาที (สุริยา โชคสวัสดิ์, 2550)

2.5.1.2 การทดสอบหาขนาดความละเอียดของทราย (Fineness test)

การแบ่งแยกตามขนาดของอนุภาคโดย มาตรฐาน AFS (American Foundrymen's Society) และหลักวิชาการทางธรณีวิทยา ได้กำหนดขนาดไว้ดังตารางที่ 2.3

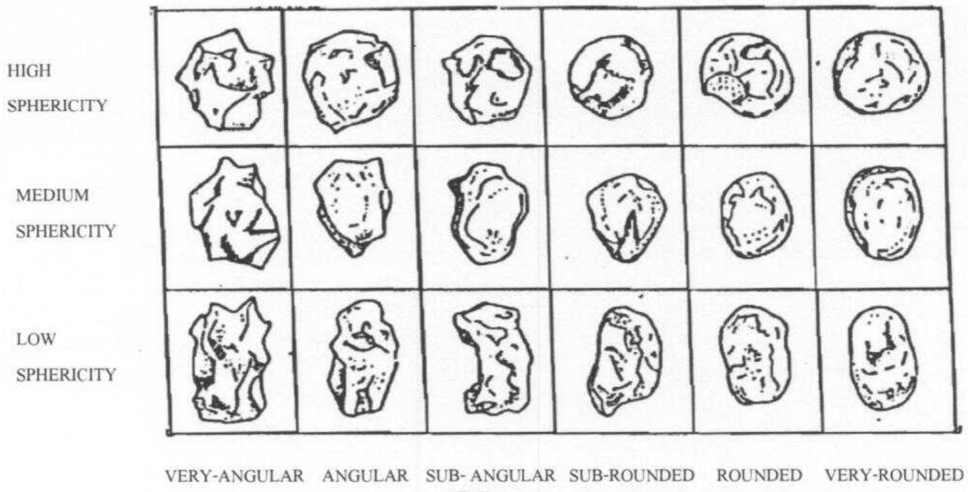
ตารางที่ 2.3 การแบ่งขนาดของอนุภาคเม็ดทรายตามมาตรฐาน AFS

ชนิดของวัสดุ	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง
ดินเหนียว โคลน ตะกอน	น้อยกว่า 0.02 มม.
เม็ดทราย	0.02 – 2 มม.
กรวด (gravel)	มากกว่า 2 มม. - 7.5 ซม.
ก้อนหิน (ston)	มากกว่า 7.5 – 25 ซม.
ก้อนหินโต	มากกว่า 25 ซม.

ขนาดของเม็ดทรายจะเป็นข้อมูลในการนำไปใช้ประโยชน์ในการกำหนดปริมาณส่วนผสมของตัวประสาน และจะส่งผลต่อคุณสมบัติต่างๆของแบบหล่อ เช่น ค่าการซึมผ่านอากาศ ความแข็งแรง เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทดสอบหาขนาดของทรายที่จะนำมาทำแบบหล่อ ในการปฏิบัติการทดสอบอิงตามมาตรฐาน AFS ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางเป็นที่ยอมรับในระดับสากล (สุริยา โชคสวัสดิ์, 2550)

2.5.1.3 การตรวจสอบรูปร่างของเม็ดทราย (Shape)

การตรวจสอบรูปร่างของเม็ดทรายด้วยการวิเคราะห์ภาพ การทดสอบนี้จะบ่งชี้ถึงความสามารถในการไหลตัวของทรายขณะทำแบบ กล่าวคือ ทรายที่มีเม็ดกลม จะสามารถไหลตัวเข้าชิดกัน ได้ดีกว่าเม็ดเหลี่ยม และทรายเม็ดกลมยังมีพื้นที่ผิวที่น้อยกว่ารูปร่างอื่นๆ ดังนั้นทรายเม็ดกลมจะให้ความแข็งแรงที่สูงกว่าทรายรูปร่างอื่น เมื่อใช้ปริมาณตัวประสานเท่ากัน และทรายรูปร่างอื่นๆ ที่ใกล้เคียงกับรูปร่างกลม จะมีคุณสมบัติรองลงไป การจำแนกรูปร่างของเม็ดทรายมีอยู่ด้วยกันหลายลักษณะ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.5 (บรรเจิด แสงจันทร์, 2541)



ภาพที่ 2.5 การจำแนกรูปร่างของเม็ดทราย (บรรเจิด แสงจันทร์, 2541)

รูปร่างของเม็ดทรายมีผลต่อค่าความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability) เพราะขนาดของเม็ดทรายหากใหญ่เกินไป และรูปร่างหลายเหลี่ยมจะทำให้แบบหล่อมีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำลงเนื่องจากมีค่าความสามารถในการซึมผ่านมากเกินไป หรือหากเม็ดทรายเล็กเกินไป และมีรูปร่างกลม จะทำให้แบบหล่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงขึ้น เนื่องจากมีค่าความสามารถในการซึมผ่านน้อย แต่หากว่าค่าความสามารถในการซึมผ่านน้อยเกินไปจะส่งผลเสียต่อชิ้นงาน ทำให้เกิดความเสียหายที่ตัวชิ้นงานได้

2.5.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

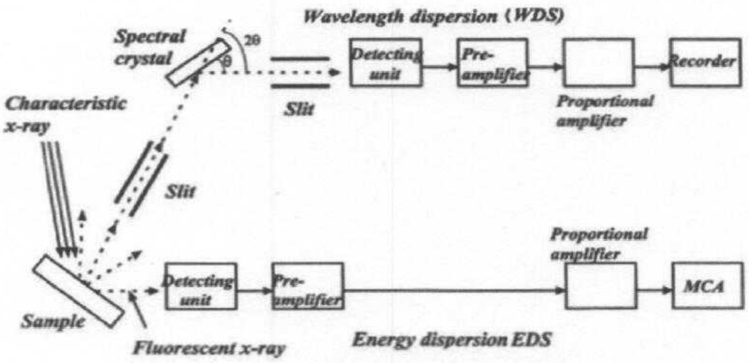
การวิเคราะห์ธาตุโดยการวาวรังสีเอกซ์ (X-ray Fluorescence Spectroscopy: XRFS) เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายตัวอย่าง (Non-destructive analysis) สามารถนำมาใช้วิเคราะห์หาองค์ประกอบต่างๆ ในตัวอย่างทั้งเชิงคุณภาพ (Qualitative analysis) และเชิงปริมาณ (Quantitative analysis) สามารถทำการวิเคราะห์ธาตุได้ทีละธาตุ หรือหลายๆ ธาตุพร้อมๆกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์โปรแกรมของระบบวิเคราะห์ และคอมพิวเตอร์ให้ทันสมัย สะดวกในการใช้งาน ทำให้วิเคราะห์ชิ้นงานที่ให้สเปกตรัมซับซ้อนได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง นอกจากนี้ยังใช้วิเคราะห์ปริมาณธาตุได้ตั้งแต่ระดับความเข้มข้นสูงจนถึงระดับ Trace element (ppm) จึงทำให้เทคนิคนี้ได้รับความนิยมมากขึ้นทั้งในด้านอุตสาหกรรม การแพทย์ ธรณีวิทยา สิ่งแวดล้อมและการเกษตร (ศศิพันธุ์ คะวีรัตน์, 2550) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRFS ประกอบด้วย 2 ระบบ คือ

2.5.2.1 ระบบที่วัดความยาวคลื่น (Wavelength Dispersive System: WDX)

หลักการทำงานของเครื่อง XRF ชนิดนี้คือรังสีเอ็กส์ ที่ได้จากเครื่องกำเนิดรังสีรังสีเอ็กซ์ ถูกส่งไปยังสารตัวอย่าง แล้วเกิดอันตรกิริยากับธาตุต่างๆ ในสารตัวอย่างแล้วเกิดเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ขึ้น ให้เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ผ่านคอลลิเมเตอร์ เพื่อให้ลำรังสีรังสีเอกซ์ เป็นลำขนาน และไปในทิศทางที่ต้องการ คือให้ไปกระทบกับผลึกวิเคราะห์ เพื่อทำหน้าที่กระจายหรือแยกรังสีเอกซ์ออกไปให้มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน รังสีเอกซ์ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ กันนี้จะถูกวัดความเข้มด้วยการสแกน (Scan) ของดีเทคเตอร์สัญญาณที่วัดได้จะถูกส่งไปยังเครื่องเก็บข้อมูลแล้วถ่ายทอดออกมาเป็นสเปกตรัม ด้วยปริ้นเตอร์ (Printer)หรือเครื่องบันทึก (Recorder) จากข้อมูลที่เก็บได้ทั้งของมาตรฐานและสารตัวอย่างสามารถนำไปใช้วิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative analysis) และเชิงปริมาณ (Quantitative analysis) ได้

2.5.2.2 ระบบที่วัดพลังงาน (Energy Dispersive system : EDX)

หลักการทำงานของเครื่อง XRF ชนิดนี้คือ รังสีเอกซ์ที่ได้จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์จะถูกส่งไปยังสารตัวอย่าง เพื่อให้เกิดอันตรกิริยากับธาตุต่าง ๆ ในสารตัวอย่างแล้วเกิดเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์ขึ้นให้เอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์ผ่านคอลลิเมอร์ เพื่อให้ลำรังสีเอกซ์เป็นลำขนานไปในทิศทางที่ต้องการ จากนั้นรังสีเอกซ์จะผ่านเข้าไปในดีเทคเตอร์ ทำให้เกิดสัญญาณ ขนาดของสัญญาณจะเป็นสัดส่วนกับพลังงานของรังสีเอกซ์ และสัญญาณที่ได้จะถูกขยายสัญญาณให้ใหญ่พอที่จะวัดได้ถูกต้องด้วยเครื่องขยายกำลังสัญญาณ (Preamplifier) และเครื่องขยายเสียง(Amplifier) หลังจากนั้นจะถูกส่งไปยังส่วนวิเคราะห์สัญญาณ (Multichannel analyzer) สัญญาณที่ได้จะถูกส่งไปยังระบบข้อมูล (Data system) เพื่อประมวลผลต่อไป



ภาพที่ 2.6 แผนผังการวิเคราะห์ธาตุโดยการวาวรังสีเอกซ์ (XRF)

(ศศิพันธุ์ คะวีรัตน์, 2550)

ตัวอย่างการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคการวาวด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray Fluorescence Spectroscopy:XRF) ซึ่งจากการศึกษาโครงงานเรื่อง"การศึกษาเครื่องปั้นดินเผาจากแหล่งโบราณสถานบ้านคูเมือง ตำบลคูเมือง อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี โดยเทคนิคการวาวด้วยรังสีเอกซ์" (นิรันดร์ ลาภสาร และนายศุภชัย ชัยโยชน์, 2555) ได้นำตัวอย่างของงานวิจัยมี 5 ตัวอย่าง คือ ดินเหนียว แท่งดินเผา ดินเทศ ดินทราย ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการทำเครื่องปั้นดินเผา และเศษหม้อดินเผาที่ขุดพบ ไปทำการวิเคราะห์ธาตุโดยการวาวรังสีเอกซ์ (X-ray Fluorescence Spectroscopy:XRF) จากผลการวิเคราะห์พบว่า ธาตุที่พบมากที่สุดในตัวอย่างคือ ธาตุออกซิเจน และธาตุซิลิคอน ซึ่งคิดปริมาณเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก โดยดินเหนียวพบออกซิเจน และซิลิกอน ร้อยละ 51.5837 และ 36.8950 แท่งดินเผาพบออกซิเจน และซิลิกอน ร้อยละ 50.7416 และ 32.2596 ดินเทศมีออกซิเจน และซิลิกอน ร้อยละ 50.7418 และ 33.4527 ดินทรายพบออกซิเจน และซิลิกอนร้อยละ 52.3613 และ 41.2981 และเศษหม้อดินเผามีออกซิเจน และซิลิกอนร้อยละ 51.0964 และ33.1221 สำหรับธาตุอื่น ๆ พบในปริมาณน้อย คือ อลูมิเนียม ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม ไททาเนียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ในการเปรียบเทียบปริมาณธาตุแต่ละชนิดในวัตถุดิบตัวอย่างที่ใช้ในการทำเครื่องปั้นดินเผาทั้ง 4 ตัวอย่าง กับปริมาณธาตุในหม้อดินเผาพบว่า ปริมาณธาตุมีค่าใกล้เคียงกัน

ซึ่งจากตัวอย่างงานวิจัยดังกล่าวจะเห็นได้ว่า การใช้เทคนิคการวิเคราะห์ธาตุด้วยการวาวรังสีเอกซ์ (X-ray Fluorescence Spectroscopy: XRF) นี้ทำให้ได้ความถูกต้องและความแม่นยำสูง

ข้อดีของการวิเคราะห์ธาตุโดยการวาวรังสีเอกซ์ (XRF)

(1) เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากไม่ต้องทำลายตัวอย่าง (Non-destructive analysis)

(2) สามารถวิเคราะห์หาองค์ประกอบต่างๆ ได้ทั้งในเชิงคุณภาพ (Qualitative analysis) และเชิงปริมาณ (Quantitative analysis)

(3) สามารถทำการวิเคราะห์ธาตุได้ทีละธาตุ หรือหลายๆ ธาตุพร้อมๆ กัน

(4) มีความรวดเร็ว สะดวก และให้ความแม่นยำสูง

ข้อเสียของการวิเคราะห์ธาตุโดยการวาวรังสีเอกซ์ (XRF) คือ ต้องเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ในการนำตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์แต่ละตัวอย่าง

2.5.3 การทดสอบความแข็งแรงของทราย (Sand strength test)

(พรศิลป์ พิเศษ แล มณีรัตน์ พิมพ์พิทักษ์, 2547) ได้กล่าวไว้ว่า การทดสอบความแข็งแรงของทรายแบบ มีวิธีการวัดได้ 3 ประเภท

2.5.3.1 วัดความแข็งแรงโดยใช้แรงดึง (Tensile strength)

2.5.3.2 วัดความแข็งแรงโดยใช้แรงอัด (Compressive strength)

2.5.3.3 วัดความแข็งแรงโดยใช้แรงเฉือน (Shearing strength)

การทดสอบทั้ง 3 วิธีที่กล่าวมาแล้ว ส่วนมากจะวัดความแข็งในลักษณะการใช้แรงอัดมากที่สุด โดยเฉพาะแบบหล่อทรายชื้นเนื่องจากทรายจะต้องรับแรงอัดมากกว่าแรงประเภทอื่น ๆ วัตถุประสงค์ของการวัดความแข็งแรง คือ เพื่อทราบความแข็งแรงของแบบหล่อในการรับแรงอัดของน้ำโลหะขณะเท และระหว่างการขนย้าย ส่วนการวัดแรงดึงและแรงเฉือนจะใช้ในกรณีที่ทำแบบหล่อในลักษณะพิเศษ ทรายตัวอย่างจะถูกบรรจุลงในกระบอกมาตรฐาน Ø = 2 นิ้ว (5.08 ซ.ม.) ใช้น้ำหนักกระแทก (Ramming devices) ซึ่งหนัก 14 ปอนด์ ยกให้สูงจากระดับผิวด้านบนของทรายแบบตัวอย่างในกระบอกเป็นระยะ 2 นิ้ว ปล่อยน้ำหนัก 14 ปอนด์ ตกกระแทกเป็นจำนวน 3 ครั้ง ทรายแบบตัวอย่างในกระบอกจะต้องอัดตัวกันแน่น และมีความสูง 2 นิ้ว หรือ 1/32 นิ้ว ดังนั้นการทำตัวอย่างทรายมาตรฐานให้ได้ความสูง 2 นิ้ว จะต้องชั่งน้ำหนักให้พอดี อาจจะต้องทำหลายครั้งเพื่อให้ได้น้ำหนักทรายที่พอดี เมื่อปล่อยน้ำหนัก 14 ปอนด์ ตกลงมาจากความสูง 2 นิ้ว จำนวน 3 ครั้ง และให้ได้ความสูงของทรายตัวอย่าง 2 นิ้ว หลังจากนั้นนำทรายก้อนที่ได้เข้าเครื่องวัดแรงดัน ที่มีบ่าทรงกระบอกรองรับขนาดพอดีกับก้อนทรายทรงกระบอกดิน

2.6 คุณสมบัติที่ดีของทรายที่ใช้ทำแบบหล่อ

2.6.1 การกระจายตัวของเม็ดทราย (Sieve mesh Number)

คือ ค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายตัวของขนาดเม็ดทราย ซึ่งโดยทั่วไปทรายสำหรับทำแบบหล่อที่ดีควรมีการกระจายตัวที่ 3 ตะแกรงหลัก (Mesh no. 35, 48 และ 70) รวมกันไม่ต่ำกว่า 75 % นั่นคือขนาดเม็ดทรายควรอยู่ระหว่างค่า 35 – 70 AFS. ซึ่งขนาดเม็ดทรายจะมีขนาดไม่เล็กหรือใหญ่เกินไป

2.6.2 ความแข็งแรงเมื่อถอดแบบ (Strength at the stripping)

คือ ค่าความแข็งแรงที่เหมาะสมหรือเพียงพอต่อการถอดแบบทรายออกจากแม่แบบหรือกระสวน โดยที่ไม่เกิดการแตกหักของแบบทราย ซึ่งโดยทั่วไปควรมีค่าระหว่าง 5 – 8 kg/cm^2 อย่างไรก็ตามหากทิ้งไว้นานจนความแข็งแรงขึ้นไปสูงเกินไปก็จะทำให้ถอดแบบทรายได้ยาก

2.6.3 ความแข็งแรงเมื่อเทน้ำโลหะ (Strength at the Pouring)

คือ ค่าความแข็งแรงที่เหมาะสมหรือเพียงพอต่อการเทน้ำโลหะโดยที่แบบทรายไม่แตกเสียหาย โดยสำหรับเหล็กหล่อเทา และเหล็กหล่อเหนียว ควรมีความแข็งแรงไม่ต่ำกว่า 25 kg/cm^2 ที่ 24 ชั่วโมง เหล็กเหนียวควรมีความแข็งแรงไม่ต่ำกว่า 30 kg/cm^2 ที่ 24 ชั่วโมง (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของแบบทรายและมีการใช้หีบเหล็กหรือไม่)

2.6.4 ปริมาณสารเจือปน (Loss On Ignition : L.O.I)

คือ ค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณสิ่งเจือปนในทราย ที่สามารถถูกเผาไหม้กลายเป็นแก๊ส ได้ในขณะที่เทน้ำโลหะ ซึ่งส่งผลให้เกิดรูพรุนจากแก๊ส หรือตามดในชิ้นงานหล่อได้โดยสำหรับ เหล็ก หล่อเทากำหนดไว้ไม่ควรมากกว่า 2.5% เหล็กหล่อเหนียวกำหนดไว้ไม่ควรมากกว่า 2.0% และเหล็ก SC กำหนดไว้ไม่ควรมากกว่า 2.0%

2.6.5 ความชื้นของทราย (Sand moisture)

คือ ค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำหรือความชื้นที่เจือปนอยู่ในทราย ซึ่งในทรายที่ใช้ทำ แบบหล่อ ไม่ควรมีน้ำหรือความชื้นเจือปนอยู่เลย เนื่องจากน้ำหรือความชื้นจะกลายเป็นแก๊ส (ไอ) อย่างรวดเร็วในขณะที่เทน้ำโลหะซึ่งอาจทำให้แบบทรายแตก เสียหาย เกิดอันตราย หรือส่งผลให้ ชิ้นงานหล่อเกิดรูพรุนจากแก๊ส (Gas defect) หรือตามด (Pin hold) ได้เช่นเดียวกัน

2.6.6 ปริมาณฝุ่น (Dust content)

คือ ค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณฝุ่นซึ่งควรมีไม่เกิน 1.5% ที่ระหว่าง Mesh 150 ถึง Pan โดยปริมาณฝุ่นที่มากเกินไปจะทำให้ต้องใช้น้ำยาเคมีในปริมาณที่สูงเนื่องจากฝุ่นจะเข้าไปจับกับ น้ำยาเคมีก่อน รวมทั้งทำให้ได้ความแข็งแรงของแบบทรายที่ต่ำ

2.6.7 ปริมาณผงเหล็ก (Magnetic content)

คือ ค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณผงเหล็กที่ปนอยู่ในทราย (โดยเฉพาะทรายรีเคลม) ซึ่ง ควรมีไม่เกิน 1.0 % โดยผงเหล็กจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำยาคะตะลิส ก่อนทำให้ได้ความแข็งแรง ของแบบทรายที่ต่ำและมีอัตราการแข็งตัวของแบบทรายที่ช้า

2.6.8 ค่าความต้องการกรด (Acid Demand Value : ADV)

คือ ค่าที่บอกถึงความต้องการกรดของทรายโดยทรายสำหรับ Furan resin กำหนดไว้ไม่ควรเกิน 10 ทรายสำหรับ Alkaline phenolic resin กำหนดไว้ไม่ควรเกิน 25 โดยเฉพาะ ทรายสำหรับฟูรานเรซิ่น นั้นถ้าทรายมีค่าความต้องการกรดสูงจะยิ่งทำให้ทรายเมื่อผสมน้ำยาเคมี แล้วจะมีอัตราการแข็งตัวที่ช้า ส่งผลให้จำเป็นต้องใช้ปริมาณน้ำยาคะตะลิสที่สูง

2.6.9 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

คือ ค่าที่บ่งบอกถึงความเป็นกรดหรือด่างของทรายในกรณีของการหล่อแบบฟูราน ทรายที่มี pH เป็นด่างมากๆก็จะส่งผลให้เมื่อผสมน้ำยาเคมี (ฟูราน) แล้วจะมีอัตราการก่อตัวของแบบหล่อที่ช้า

ดังนั้นสำหรับทรายที่จะนำมาทำแบบหล่อด้วยวิธีแบบหล่อเปลือก ควรมีสมบัติตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สมบัติที่เหมาะสมของทรายสำหรับแบบหล่อเปลือก

สมบัติ	ค่า	อ้างอิง
1. ความละเอียดของทราย	50-60 Mesh	- การเปรียบเทียบคุณสมบัติของทรายหล่อแต่ละแหล่งในประเทศไทย, 2547
2. รูปร่างของเม็ดทราย	เม็ดกลมและเม็ดเหลี่ยม	- เทคโนโลยีการผลิตเหล็กหล่อเบื้องต้น, 1989 : 3-36
3. % เรซิ่น	4-10 %	- Mould & Core Material for the steel foundry, 1967
4. ค่า PH	8-10	- เทคโนโลยีการผลิตเหล็กหล่อเบื้องต้น, 1989 : 3-47
5. อัตราลมผ่าน (Permeability)	80-150	- เทคโนโลยีการผลิตเหล็กหล่อเบื้องต้น, 1989 : 3-47
6. ค่าความแข็งแรง (strength)	40 kg/cm^2	- เทคโนโลยีการผลิตเหล็กหล่อเบื้องต้น, 1989 : 3-47

นอกจากนี้ถ้าใช้ทรายที่ไม่มีคุณภาพยังส่งผลกระทบไปสู่ชิ้นงานหล่อ ทำให้เกิดตำหนิงานหล่อ (Casting defects) เกิดขึ้นได้ และการใช้ทรายที่ส่วนผสมเคมีหรือมีขนาดเม็ดทรายเฉลี่ยไม่ถูกต้องเหมาะสมกับน้ำโลหะที่จะนำมาเท เม็ดทรายอาจจะเยิ้มตัวติดกันเองหรือหลอมละลายติดผิวโลหะ (Burn on) หรือหลอมติดปนในเนื้อโลหะ (Burn in) หรือเม็ดทรายอาจจะขยายตัวเนื่องจากความร้อนจากน้ำโลหะทำให้เกิดตำหนิงานหล่อจากการขยายตัว พร้อมไปกับการเกิดตำหนิเนื่องจากเม็ดทราย (สุภชัย ประเสริฐสกุล, 2545 : 237)

ตัวอย่างการเกิดตำหนิงานหล่อ เช่น เกิดโพรงรูพรุน (Blowhole) ซึ่งจะมีลักษณะกลมอาจจะอยู่เดี่ยวหรือแยกอยู่เป็นกลุ่ม ในบริเวณผิวหน้าหรือใกล้ผิวหน้าชิ้นงานหล่อ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการใช้เม็ดทรายทำแบบที่มีอัตราการซึมผ่าน (Permeability) ต่ำไป โดยทั่วไปแล้วได้จัดแบ่งรูปแบบของตำหนิงานหล่อที่เกิดขึ้นทั้งภายนอกและภายในเนื้อโลหะ ที่สามารถสำรวจตรวจพบได้ด้วยตาเปล่ามีดังนี้ คือ

(1) เนื้อโลหะส่วนเกินชิ้นงาน

(2) โพรงและรูพรุนทั้งผิวนอกและเนื้อโลหะ

(3) ความไม่สม่ำเสมอต่อเนื่องของเนื้อโลหะ

(4) ผิวนอกเนื้อโลหะมีตำหนิ

(5) ลักษณะชิ้นงานไม่สมบูรณ์เต็มตามรูปร่างที่ต้องการ

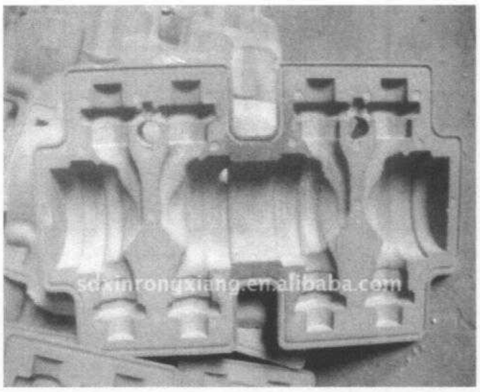
(6) ขนาดหรือรูปร่างชิ้นงานไม่ถูกต้อง

(7) โครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะผิดปรกติและมีสารแทรกฝังในเนื้อโลหะ

2.7 การหล่อเปลือก (Shell moulding)

เป็นกระบวนการทำแบบด้วยทรายหล่อ ที่มียางสังเคราะห์ชนิดเทอร์โมเซทติ้ง เรซิ่น (thermosetting resin) เป็นตัวประสาน โดยให้ทรายหล่อสัมผัสกับกระสวนโลหะซึ่งเผาจนร้อน ยางสังเคราะห์จะหลอมและยึดทรายแต่ละเม็ดให้ติดกันเป็นเปลือกแข็งตามลักษณะกระสวน หลังจากนั้นจึงแยกแบบเปลือกบางนี้ออกจากกระสวน ประกอบไส้แบบ (ถ้ามี) แล้วประกอบแบบหล่อซีกบนและล่างเข้าด้วยกัน และนำไปฝังในหีบหรือพื้นโรงหล่อพร้อมที่จะเทน้ำโลหะลงไปได้ทันที

แบบหล่อเปลือกบางใช้ผลิตงานเป็นจำนวนมากที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 1 กิโลกรัม จนถึง 200 กิโลกรัม ขึ้นรูปได้ทั้งเหล็กและโลหะเบา ดังแสดงในภาพที่ 2.7



(ก) แบบหล่อ

(ข) ชิ้นงานหล่อ

ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างชิ้นงานเหล็กหล่อ จากการหล่อแบบเปลือกบาง

แบบหล่อเปลือกบางเหมาะกับงานดังต่อไปนี้

(1) ต้องการขนาดเที่ยงตรงกว่าเมื่อหล่อในแบบทรายแห้งและทรายชื้นช่วยประหยัดเวลาตกแต่ง

(2) ต้องการผิวเรียบ

(3) เปลืองทรายน้อยกว่าแบบชนิดอื่น

(4) ออกแบบงานหล่อได้ง่ายกว่า

ข้อเสียของแบบหล่อเปลือกบางมีดังนี้

(1) ผลิตงานขนาดใหญ่ๆ ไม่ได้

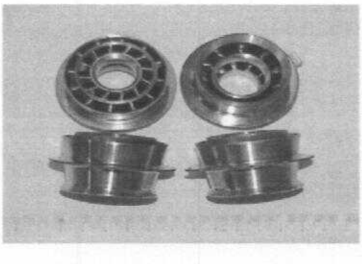
(2) กระสวนและตัวประสานราคาแพง

(3) ใช้พลังงานมากในการให้ความร้อน

(4) ใช้อุปกรณ์และเครื่องมือมากกว่า

(5) ทำให้เกิดมลภาวะโดยส่งกลิ่นออกมาในขณะที่เผาแบบ และเทน้ำโลหะ

ตัวอย่างงานวิจัยที่ได้จากการศึกษาเกี่ยวกับการหล่อโลหะแบบเปลือก ได้มีการศึกษาคุณสมบัติของไททาเนียมอะลูมิไนด์ (TiAl-based alloys) โดยใช้กรรมวิธีการหล่อแบบเปลือก (Shell mould) ในห้องปฏิบัติการ โดยจำกัดส่วนผสมของโลหะผสมอลูมิเนียมที่ 44.2 - 47at% และไนโอเบียมที่ 0 – 8 at% ชิ้นงานจะถูกทดสอบความต้านทานการออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 900°C และพฤติกรรมการแตกร้าวด้วยการทดสอบการล้าที่อุณหภูมิ 900-15°C พบว่าโลหะที่ผสม 5 at% Nb จะให้สมบัติที่สมดุลที่สุด สามารถขึ้นรูปด้วยการหล่อเปลือกโดยใช้แบบหล่อเปลือกขึ้นรูปจากเซอโคเนีย ได้ชิ้นงานที่มีชั้นความหนาของสิ่งเจือปนที่ผิวมีความหนาน้อยกว่า 80 μm ตัวอย่างชิ้นงานไททาเนียมอะลูมิไนด์ แสดงในภาพที่ 2.8 (R. Yang. et al., 2003)



ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างชิ้นงานหล่อแบบเปลือกบางด้วยวัสดุแกมม่า TiAl (R. Yang. et al., 2003)

นอกจากนี้ ยังได้มีการศึกษาการหล่อวัสดุสองชนิด (Bimetal) หรือ Metal-Metal composite ประกอบด้วย เหล็กกล้าไร้สนิม 316L และเหล็กโครงสร้าง (30CrNiMo8) ด้วยการหล่อแบบเปลือก พบว่า ที่ผิวรอยต่อระหว่างโลหะทั้งสองชนิดมีโครงสร้างผสมระหว่างมาร์เทนไซท์และเบนไนท์ มีการแพร่ของอะตอมคาร์บอนจากเหล็กโครงสร้างเข้าสู่ผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม ส่วนโครเมียมและนิกเกิลจะแพร่จากเหล็กกล้าไร้สนิม เข้าสู่ผิวเหล็กโครงสร้าง (Mehrnet Simsir. และคณะ, 2003)

ซึ่งจากตัวอย่างงานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการหล่อแบบทรายเปลือก สามารถนำไปใช้ได้กับโลหะที่เป็นเหล็ก และที่ไม่ใช่เหล็ก และโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูง

2.8 คุณสมบัติของการเลือกทรายหล่อแบบเปลือก

ทรายที่ปราศจากสารอินทรีย์ และดินเหนียวอาจล้างออกถ้าจำเป็น ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองตัวประสานน้อย ถ้ามีสารอินทรีย์และดินเหนียวมาก จะทำให้ต้องใช้ตัวประสานมากขึ้น นอกจากนี้ความสิ้นเปลืองของตัวประสานยังขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดทราย ทรายที่ละเอียดยิ่งเปลืองตัวประสานมาก ดังนั้นจึงควรพยายามใช้ทรายที่ไม่เล็กหรือไม่ใหญ่เกินไป ซึ่งถ้าใหญ่เกินไปผิวแบบหล่อจะไม่เรียบละเอียด และเวลาทำแบบเมื่อแบบแข็งตัวมักมีเม็ดทรายหลุดออกมาเป็นเม็ดๆ เนื่องจากมีความหยาบของเม็ดทรายมากเกินไป

2.8.1 ขนาดและรูปร่างของเม็ดทราย

แบบหล่อเปลือกบางสามารถใช้ทรายละเอียดกว่าแบบทรายชนิดอื่นได้ โดยที่ความแข็งแรงไม่ลดลงและอาจจะเพิ่มขึ้นเป็นบางครั้ง แต่งานหล่ออลูมิเนียมควรใช้ทรายเม็ดมุมมนที่มีการกระจายตัวอยู่ในช่วงแคบๆ

การทำแบบหล่อเปลือกบางอาจจะใช้ทรายเม็ดกลม เม็ดมุม หรือมุมแหลมก็ได้ ทรายเม็ดกลมต้องการตัวประสานน้อยที่สุด มีอัตราลมผ่านและความแข็งแรงขณะเย็น (Cold strength) สูง แต่จะทำให้ความแข็งแรงขณะร้อนต่ำ ดังนั้นทรายเม็ดกลมจึงเหมาะในการทำไส้แบบ (Core) ทรายเม็ดมุมแหลมมีความแข็งแรงขณะร้อนสูง จึงนิยมใช้ทำแบบหล่อ (Mould) ส่วนทรายเม็ดมุมมนมีคุณสมบัติอยู่ระหว่างทรายเม็ดกลมและทรายเม็ดมุมแหลม ส่วนมากนิยมใช้เฉพาะทำแบบหล่อ

2.8.2 ปริมาณความชื้น

การผสมทรายหล่อเปลือกบางขณะเย็นควรใช้ทรายที่แห้งสนิท เพราะถ้ามีความชื้นอยู่ จะทำให้ตัวประสานจับตัวกันเป็นก้อน ซึ่งตัวประสานที่จะห่อหุ้มตัวเม็ดทรายมีน้อยลงส่วน

กระบวนการที่ใช้ยางสังเคราะห์เคลือบผิวเม็ดทรายโดยใช้ความร้อน ซึ่งความชื้นจะสามารถระเหยออกไปได้

2.8.3 การแตกร้าวของแบบและไส้แบบ

ถ้าหากแบบหรือไส้แบบมีความแข็งแรงขณะร้อนต่ำ จะเกิดการแตกร้าวได้ง่าย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากใช้ทรายละเอียดกว่าเดิม แต่ไม่เพิ่มปริมาณตัวประสาน มีสารอินทรีย์และดินเหนียวมากเกินไป และเมื่อใช้ทรายเม็ดกลม หรือถ้าหากควบคุมกระบวนการทำแบบหรือไส้แบบไม่ดีพอ อาจจะเกิดการแตกร้าวได้ขณะเย็นตัวหรือขณะขนย้ายได้

2.9 วัสดุทำแบบหล่อเปลือกและไส้แบบ

ทรายทำแบบหล่อเปลือกมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดทรายเรซิน (Resin sand) และทรายเคลือบ (Coated sand) ดังมีรายละเอียดดังนี้

(1) ทรายเรซิน (Resin sand)

ได้จากการผสมทางกลของฟีโนลิคเรซิน (Phenolic resin) เข้ากับทรายซิลิกา ทรายชนิดนี้มีเรซินประมาณ 4-7% ความถ่วงจำเพาะของผงเรซินและทรายซิลิกาต่างกันมาก ทำให้ผสมอย่างสม่ำเสมอได้ยาก ดังนั้นจึงมีการเติมเมธิลแอลกอฮอล์ (Methylalcohol) ลงไปเล็กน้อย

(2) ทรายเคลือบ (Coated sand)

คือ ทรายที่เม็ดทรายมีฟีโนลิคเรซินหุ้มอยู่โดยรอบ ทรายเคลือบดีกว่าทรายเรซินตรงที่ไม่จำเป็นต้องใช้เรซินมาก ทรายเคลือบต้องการเรซินเพียง 2.5-3.5% นอกจากนั้นทรายเคลือบยังต่างจากทรายเรซิน ตรงที่ทรายเคลือบมีส่วนผสมฟีโนลิคเรซินสม่ำเสมอ ทำให้ได้แบบหล่อเปลือกที่มีเนื้อสม่ำเสมอและแข็งแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทำแบบหล่อเปลือกโดยวิธีเป่า ควรใช้ทรายเคลือบ เพราะถ้ามิฉะนั้นทรายและเรซินจะแยกกันในตอนเป่า (หริส สูตะบุตร และเคนจิ จิยิอิวา, 2527 : 114)

2.9.1 เรซิ่น

สารที่เป็นตัวสร้างพันธะยึดทรายทำแบบ และไส้แบบ คือ เรซิ่น ซึ่งถูกผสมกับทรายซิลิกา และทรายแบบ จะถูกเทลงบนแผ่นกระสวนร้อน หรือ พ่นเข้าไปในหีบทำไส้แบบ เรซิ่นจะหลอมและยึดเม็ดทรายไว้เรซิ่นมี 2 ประเภท คือ 1) เทอร์โมพลาสติก และ 2) เทอร์โมเซทติ้ง เทอร์โมพลาสติก เช่น พอลิไวนิลคลอไลด์ เมื่อร้อนจะหลอมละลาย และเมื่อเย็นจะแข็งตัว สามารถหลอมละลายได้หลายครั้ง เทอร์โมเซทติ้ง เช่น ยูเรีย หรือ- Phenol formaldehyde เมื่อร้อนจะหลอมละลายและแข็งตัว เมื่อเย็นจะไม่สามารถหลอมละลายได้อีกเป็นครั้งที่สอง

เรซิ่นสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มหลัก เช่น 1) Phenolic resins และ 2) Amino resins ตัวอย่างของฟีโนลิค เรซิ่น (Phenolic resins) คือ ฟีนอล ฟอร์มาดีไฮด์ (Phenol formaldehyde), ฟีนอล ฟอร์ฟูราล (Phenol furfural) และ รีซอซินอล ฟอร์มาดีไฮด์ (Resorcinol formaldehyde) อะมิโนเรซิ่น คือ ยูเรีย ฟอร์มาดีไฮด์ (Urea formaldehyde) และ เมลามีน ฟอร์มาดีไฮด์ (Melamine formaldehyde)

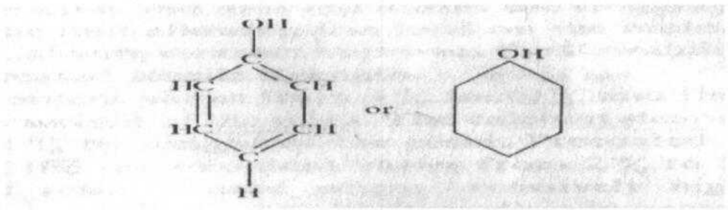
การผลิตพอลิเมอร์ได้จากปฏิกิริยาหนึ่งในสองนี้ คือ ปฏิกิริยาพอริเมอร์ไลด์แบบตัวเติม และปฏิกิริยาพอริเมอร์ไลด์แบบควบแน่น ดังแสดงในภาพที่ 2.9

$$nCH_2 = CHCl \rightarrow \left[\begin{array}{c} -CH_2CH- \\ | \\ Cl \end{array} \right]_n$$

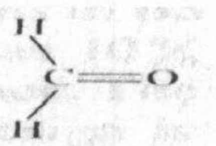
ภาพที่ 2.9 การเกิดปฏิกิริยาพอริเมอร์ไลด์แบบตัวเติมและแบบควบแน่น
(Robert Maxwell, 1967 : 76)

ปฏิกิริยาพอริเมอร์ไลด์เซชั่นแบบควบแน่น ไม่เหมือนกับปฏิกิริยาพอริเมอร์ไลด์เซชั่นแบบตัวเติม ที่เกิดจากมอนอเมอร์ที่มีคาร์บอนพันธะคู่ ปฏิกิริยาควบแน่นจะสามารถผลิตพอลิเมอร์ได้ทั้งชนิด เทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซทติ้ง จะเป็นชนิดใดขึ้นอยู่กับมอนอเมอร์ที่มาต่อกัน ถ้ามีตำแหน่งที่สามารถมาต่อกันได้ เกิน 3 ตำแหน่ง จะได้พอลิเมอร์แบบตาข่ายควบแน่น

ฟีนอล ฟอร์มาดีไฮด์เรซิ่น ใช้เป็นตัวสร้างพันธะกับทรายทำไส้แบบ และทรายทำแบบหล่อเปลือก ผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างฟีนอล (Phenol) กับฟอร์มาดีไฮด์ (formaldehyde) โครงสร้างตามภาพที่ 2.10 และ 2.11

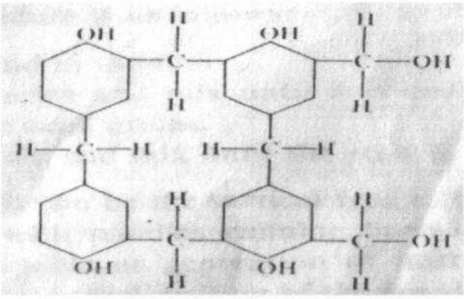


ภาพที่ 2.10 โครงสร้างของฟีนอล (Phenol) (Robert Maxwell, 1967 : 77)



ภาพที่ 2.11 โครงสร้างของฟอร์มาดีไฮด์ (formaldehyde) (Robert Maxwell, 1967 : 77)

ตำแหน่งที่คาร์บอนมีพันธะสอง จะเป็นจุดต่อโดยใช้กรด (H^+) หรือ ด่าง (OH^-) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี การเกิดเป็นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชั่นแบบควบแน่น ผลลัพธ์จะได้ฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์ (Phenol formaldehyde) และน้ำ ตามภาพที่ 2.12 อัตราส่วนฟีนอล (Phenol) ต่อฟอร์มาดีไฮด์ (formaldehyde) คือ 1 : 50



ภาพที่ 2.12 อัตราส่วนฟีนอล (Phenol) ต่อฟอร์มาดีไฮด์ (formaldehyde)
(Robert Maxwell, 1967 : 77)

2.9.1.1 เรซิ่นชนิดขั้นตอนเดียว

จะใช้อัตราส่วนตามอัตราส่วน 1 : 50 และเติมด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย เรียกว่า Resole เป็นชนิดที่ไม่แข็งตัวเมื่อได้รับความร้อน

2.9.1.2 เรซิ่นชนิด 2 ขั้นตอน

เป็นเรซิ่นที่ใช้ทำแบบหล่อเปลือก และทำไส้แบบ เรียกว่าโนวาแลค (Novalac) ผลิตจากฟีนอล (Phenol) กับฟอร์มาดีไฮด์ (Formaldehyde) ในอัตราส่วนที่ต่ำกว่า และใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีปริมาณตาข่ายต่ำกว่า หลังเสร็จสิ้นจากปฏิกิริยาขั้นตอนแรกจะได้ผงเรซิ่นเทอร์โมพลาสติกนำไปผสมกับทรายซิลิกา และผสมกับเฮกซามีน (hexamine) เพื่อเป็นทรายสำหรับหล่อเปลือก

2.9.2 การผสมทราย (sand mixes)

นอกจากจะผสมสารสร้างพันธะคือโนวาแลคและเฮกซามีนแล้ว ยังผสมสารละลายซิลิโคน เพื่อให้ถอดแบบได้ง่าย การทำแบบหล่อเปลือกจะทำโดยเททรายแบบที่ผสมแล้วลงบนแผ่นกระสวน ที่ให้ความร้อนคงที่ ระหว่าง 200 - 250°C ความหนาของเปลือกแบบหล่อจะขึ้นกับเวลาที่ทรายสัมผัสกับกระสวนร้อน เปลือกแบบจะปลดออกจากกระสวนโดยใช้แท่งกระทุ้ง (Ejector pins) สารเติมแต่ง (Additive) คือ Calcium stearate เพื่อช่วยให้เรซิ่นกระจายตัวในทรายได้ดีขึ้น และยังเพิ่มความแข็งแรงให้กับทรายเปลือกแบบ ส่วนผสมของทรายหล่อมีดังนี้

(1) เรซิ่น (Novalac) ใช้ 4 – 10%

(2) เฮกซามีน (Hexamine) ใช้ประมาณ 10% โดยน้ำหนักของเรซิ่น

(3) แคลเซียม สเตียเรท (Calcium stearate) เติมประมาณ 1% ของน้ำหนักของเรซิ่น

(4) ทรายที่ใช้ผ่านตะแกรงเบอร์ 100, 120, 150 และ 170 ถ้าผสมเรซิ่น 10% จะได้งานหล่อใกล้เคียงขนาดจริง แต่ถ้างานหล่อเกิดรูพรุนมากก็ต้องลดปริมาณเรซิ่น

การเตรียมทรายแบบหล่อเปลือก จะเหมือนกับการผสมดินกับทรายทำแบบหล่อ คือ เรซิ่นและสารเติมแต่งต้องกระจายตัวรอบ ๆ เม็ดเทรายอย่างสม่ำเสมอโดยผสมในสภาพแห้ง การผสมแห้งโดยใช้เครื่องบดชนิดใบพัด (impeller type mill) การผสมมีขั้นตอนดังนี้

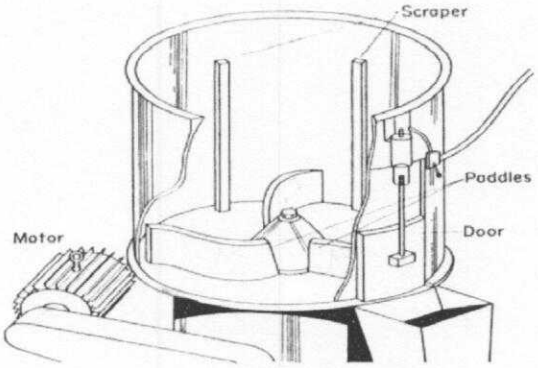
(1) ใส่ทรายในเครื่องบด

(2) เติมเฮกซามีน (Hexamine) แล้วบดผสมให้เข้ากันกับทราย

(3) เติมโนวาแลค (Novalac) แล้วบดผสมให้เรซิ่นกระจายตัวโดยทั่ว

เครื่องบดชนิดใบพัด (Impeller type mill) ตามภาพที่ 2.13 หรือจะเป็นเครื่องบดชนิดนอน (Rotating drums with paddles) เครื่องบดชนิด Roller type ไม่เหมาะที่จะใช้เพราะเกิดความร้อน ทำให้ความแข็งแรงของทรายแบบลดลง

ข้อเสียอย่างหนึ่งของการผสมแบบแห้ง คือ เวลาการบดนานกว่าครึ่งชั่วโมง เพื่อให้การผสมทั่วถึงกัน ยิ่งกว่านั้นขณะบดจะเกิดหมอกฝุ่นที่เป็นอันตราย (Toxic)



ภาพที่ 2.13 เครื่องบดชนิดใบพัด (Impeller type mill) (Robert Maxwell, 1967 : 67)

2.9.3 กระบวนการเคลือบร้อน (Hot – coating process)

ฝุ่นสามารถป้องกันได้โดยเติม 0.4% ของน้ำมันแร่ (Mineral oil) และยังป้องกันการเกิดการแยกตัว (Segregation) การแยกตัวจะพบที่เปลือกแบบหล่อ มีลักษณะเป็นหลุม (Pockets) เพราะว่าขาดเรซิ่นยึดเม็ดทรายในกระบวนการเคลือบร้อเรซิ่นจะหลอมละลายบางส่วนและหุ้มรอบเม็ดทรายไว้ เครื่องบดจำเป็นต้องใช้แบบชนิดใบพัด นำทรายใส่เข้าเครื่องบดก่อน และตามด้วยโนวาแลคและเฮกซามีน ขณะกำลังบดให้พ่นลมร้อน อุณหภูมิ 150°C ผ่านทรายแบบที่ผสมกับโนวาแลคและเฮกซามีน เรซิ่นจะหลอมบางส่วนและไหลหุ้มรอบเม็ดทราย จึงสำคัญมากที่จะต้องควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนอย่างระมัดระวัง เพื่อไม่ให้เรซิ่นละลายอย่างสมบูรณ์กลายเป็นเทอร์โมเซทติ้งที่ไม่เกิดพันธะยึดเม็ดทรายทำแบบหล่อเปลือก หรือทรายทำไส้แบบ

เครื่องบดต้องมีกำลังแรงม้าสูง เพราะว่าขณะเรซิ่นหลอมละลายบางส่วน จะทำให้ทรายแบบมีสภาพเหนียวหนืด และเพิ่มแรงต่อการเคลื่อนที่ของตัวลูกกลิ้ง (Rollers) อาจจะใช้น้ำพ่นเพื่อลดอุณหภูมิเรซิ่น บดจนกว่าจะละเอียด เปิดที่กั้นให้ทรายแบบออกจากเครื่องโม่ วิธีการเคลือบร้อนจะทำให้เวลาการแข็งตัวของเปลือกทรายแบบหล่อ นานกว่าแบบผสมทรายแห้งเล็กน้อย

2.9.4 กระบวนการเคลือบเย็น (Cold - coating process)

เรซิ่นจะละลายในตัวทำละลายที่ระเหยง่าย เติมผสมทรายแบบกับเฮกซามีนขณะทำการบด เครื่องบดชนิดใบพัดที่ใช้กับทรายแบบผสมกัน จะให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด การผสมคือ ต้องใส่ทรายซิลิกาในเครื่องบดกับเฮกซามีน บดให้เข้ากันแล้วจึงเติมสารละลายเรซิ่นแล้วบดต่อไป ทรายผสมจะมีสภาพเหนียวหนืด และต้องใช้แรงบดมากขึ้น ขณะที่ตัวทำละลายระเหยออกไปทรายแบบผสมจะร่วน จึงเปิดที่กั้นให้ทรายแบบออกมา กระบวนการเคลือบเย็นทำได้ง่ายและไม่ต้องใช้เครื่องมือที่พิเศษ ข้อจำกัดคือ เวลาที่ใช้ในการแข็งตัวของเปลือกทรายจะนานกว่า แก้

ได้โดยเพิ่มอุณหภูมิกระสวนร้อน และอาจมีปัญหาเรื่องทรายทำแบบเปลือกไม่เกาะตัว (Peel-back) ถ้าการผสมทรายกับเรซิ่นไม่ดีพอ ตัวทำละลายจะระเหยออกไปไม่หมด

2.9.5 กระบวนการเคลือบอุ่น (Warm - coating process)

เหมือนกับกระบวนการเคลือบเย็น (Cold - coating process) แตกต่างที่ว่ามีการพ่นลมอุ่นผ่านเข้าไปในทรายผสมเรซิ่น เพื่อช่วยละเหยตัวทำละลาย ทำให้เวลาการบดลดลง และเปลือกแบบหล่อทรายมีความแข็งแรงสูง การบดทำดังนี้

2.9.5.1 ใส่ทรายในเครื่องบด อุณหภูมิของทรายไม่ควรเกิน 70° C

2.9.5.2 เติมเฮกซามีนในปริมาณที่พอเหมาะกับสารเติมแต่ง เช่น ซิลิโคน บดนานครึ่งนาทีให้เข้ากัน

2.9.5.3 เติมเรซิ่นและบดต่อ 2 นาที

2.9.5.4 พ่นลมร้อน อุณหภูมิ 200 – 230° C เข้าไปในทรายผสมเรซิ่น

2.9.5.5 บดต่อไปจนกว่าจะเกิดแรงต้านสูงสุด ก่อนที่ทรายจะแตกร่วนขึ้น

2.9.5.6 เปิดที่กั้นให้ทรายไหลออกและให้เย็นตัว เพื่อเตรียมทำแบบหล่อเปลือก

เวลาการผสมและบดอยู่ใน 10 นาที ไม่เกิน 20 นาที

2.9.6 ธรรมชาติของการจับยึด (The nature bond)

หลักของการจับยึดจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขระหว่างเม็ดทรายสองเม็ด เกิดจากการหลอมละลายของเรซิ่นขณะได้รับความร้อน และเย็นตัวลงเคลือบเม็ดทรายทั้งสองไว้ จะวัดเป็นงานของการยึดติด Work of adhesion W_{AD} (หน่วยเป็น dynes / cm) คำนวณจากสมการที่ 2.1

$$W_{AD} = \gamma(1 + \cos\theta), \tag{2.1}$$

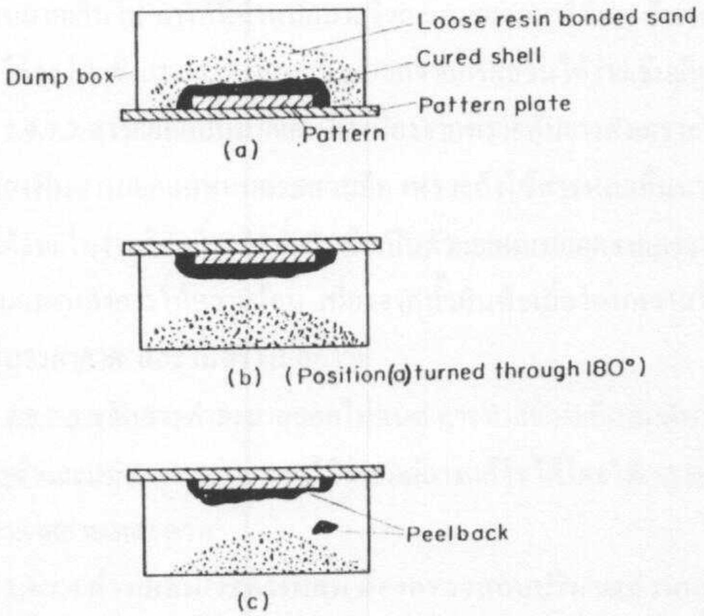
เมื่อ γ = แรงดึงผิวของเรซิ่นเหลวที่อุณหภูมินั้น

θ = มุมสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลว

ทรายเซอร์คอนผสมเรซิ่น มีความแข็งแรงสูงกว่าทรายซิลิก้าผสมเรซิ่น ความแข็งแรงของพันธะยึดเม็ดทราย จะขึ้นกับความสะอาดของเม็ดทรายที่ใช้ ถ้ามีสิ่งสกปรก เช่น ดิน, สนิมเหล็ก หรือ ฝุ่น จะทำให้ความแข็งแรงของทรายแบบลดลง ความแข็งแรงของทรายแบบหล่อเปลือกจะเพิ่มขึ้น ถ้าปริมาณของเรซิ่นมากขึ้น และเวลาการบ่มตัวของเรซิ่นยังขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดทรายด้วย เม็ดทรายละเอียดต้องการปริมาณเรซิ่นมากกว่าเม็ดทรายหยาบ

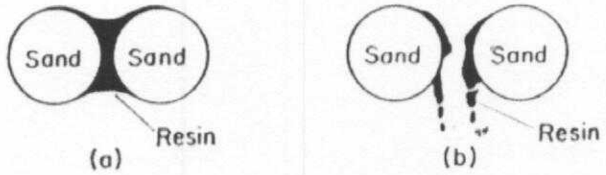
2.9.7 การหลุดจากเปลือก (Peel – back)

เรซิ่นจะสร้างพันธะกับทรายแบบเพื่อสร้างเปลือกแบบหล่อที่แข็งบนแผ่นกระสวน ข้อ บกพร่องแบบ Peel - back ก็คือ บางส่วนของทรายที่กลายเป็นแบบหลุดออกไป ซึ่งแสดงได้ตามภาพที่ 2.14 จากภาพ 2.14 (a) เรซิ่นเกิดการบ่มตัวบนแผ่นกระสวนร้อน กลายเป็นเปลือกแบบหล่อ 2.14 (b) ขณะที่ถังใส่ทรายแบบถูกคว่ำกลับ เกิดเปลือกทรายแบบเกาะติดบนแผ่นกระสวน และทรายที่กลายเป็นเปลือกบางส่วนจะหลุดออกไป 2.14 (c) ส่วนของทรายแบบที่หลุดจากเปลือก เรียกว่า peel - back



ภาพที่ 2.14 ทรายเปลือกแบบหล่อหลุด (Robert Maxwell, 1967 : 83)

การหลุดของทรายสามารถอธิบายในส่วนของการไหลของเรซิ่นที่ใช้สร้างพันธะ ในกรณีที่ใช้ฟีนอล ฟอร์มาดีไฮด์ หรือ โนวาแลค (Novalac) ขณะหลอมละลายจะเกิดปฏิกิริยากับเฮกซามีนระยะของการไหลของมัน คือ ระยะยาว, ปานกลาง หรือสั้น ถ้าไหลสั้นจะสร้างพันธะกับเม็ดทรายได้ดีกว่าไหลยาว ดังภาพที่ 2.15 (a) ถ้าไหลยาวจะไม่เคลือบเม็ดทราย ดังภาพที่ 2.15 (b) ทำให้เกิดทรายบางส่วนที่กลายเป็นเปลือกหลุดออกไป (peel - back)



ภาพที่ 2.15 การไหลสั้นและยาวของเรซิ่นรอบๆ เกรนของเม็ดทราย (Robert Maxwell, 1967 : 84)

สาเหตุที่ทำให้ทรายแบบกะเทาะ ได้แก่

2.9.7.1 ปริมาณยางสังเคราะห์มากหรือน้อยเกินไป ถ้ายางสังเคราะห์มากทรายจะติดบนแผ่นกระสวนมากเกินไป ทำให้มีน้ำหนักมากจึงกะเทาะออกมาได้ง่าย ถ้ายางสังเคราะห์น้อยเกินไปแบบหล่อที่ได้จะไม่แข็งแรงและอาจกะเทาะออกจากกระสวนได้ง่ายเช่นเดียวกัน

2.9.7.2 สารแยกแบบมากเกินไป เนื่องจากทรายหุ้มยางสังเคราะห์มีสารหล่อลื่นอยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องพ่นสารแยกแบบบนกระสวนอีก เพราะถ้าใช้สารหล่อลื่นมากเกินไปจะทำให้แบบกะเทาะออกได้ง่าย ในงานวิจัยนี้จะใช้น้ำมันพืชเป็นตัวแยกแบบออกจากกระสวนโดยทาลงบนกระสวนโลหะก่อนและหลังการให้ความร้อน เนื่องจากน้ำมันพืชเมื่อโดนความร้อนแล้วจะระเหยกลายเป็นไอออกสู่บรรยากาศ และไม่สร้างมลภาวะ

2.9.7.3 ขจัดสารทำละลายออกไม่หมด สารทำละลายที่ผสมกับทรายจะทำให้เกิดแก๊ส ทรายจะยึดตัวช้าและแบบจะกะเทาะออกได้ง่าย แต่อาจแก้ไขได้โดยใช้เวลาอบนานขึ้นใช้เครื่องผสมที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก

2.9.7.4 ส่วนผสม/วิธีการผสม ต้องตรวจสอบปริมาณส่วนผสมและวิธีการให้ถูกต้อง เครื่องผสมต้องไม่มีน้ำมันหรือสารมลทินอื่นๆติดอยู่

2.9.7.5 ทรายชื้นเกินไป ถ้าทรายมีความชื้นอยู่มากกว่า 1% ยางสังเคราะห์จะเคลือบผิวทรายไม่ดี เนื่องจากมีน้ำผสมอยู่ทำให้แบบหล่อยึดตัวช้าลง

2.9.7.6 อุณหภูมิกระสวนสูงเกินไป เมื่อกระสวนมีอุณหภูมิสูงเกินไปทำให้ผนังแบบหรือไส้แบบหนาและหนักเกินไปจึงอาจกะเทาะออกจากกระสวนได้ง่ายงานวิจัยนี้มีการควบคุมอุณหภูมิกระสวนโลหะด้วยตัวควบคุมอุณหภูมิ คือ เทอร์โมคัปเปิล จึงมีความแม่นยำก่อนเททรายลงบนกระสวน

2.9.7.7 เวลาสัมผัสกับกระสวน ถ้าทรายสัมผัสกระสวนนานแบบจะหนาและมีน้ำหนักมากอาจทำให้กะเทาะได้ง่าย

2.9.7.8 การออกแบบกระสวน กระสวนที่มีรูปร่างซับซ้อนทำให้อุณหภูมิของแต่ละส่วนแตกต่างกัน ความหนาของแบบหรือไส้แบบไม่เท่ากัน ทำให้กะเทาะได้ง่าย แก้ไขโดยใช้แท่งโลหะที่นำความร้อนได้ดี สอดไว้ตามลักษณะส่วนยื่นของกระสวน

2.9.7.9 แบบเลื่อน แม้ว่ากระสวนไม่ใช่ต้นเหตุสำคัญที่จะทำให้แบบเลื่อน แต่ก็ควรตรวจสอบดูก่อนเสมออันดับต่อไปจึงตรวจสอบอุณหภูมิแตกต่างระหว่างแบบทั้งสองซีกขณะที่ยึดติดเข้าด้วยกันอุณหภูมิแตกต่างอาจสูงถึง 37°C ซึ่งทำให้แบบเลื่อนได้ง่าย จึงต้องควบคุมอุณหภูมิของแบบทั้งสองซีกให้เท่ากันขณะประกอบติดเข้าด้วยกัน หรืออาจเพิ่มปุ่มสลักนำร่อง

2.10 การตรวจสอบคุณสมบัติของทรายผสมยางสังเคราะห์

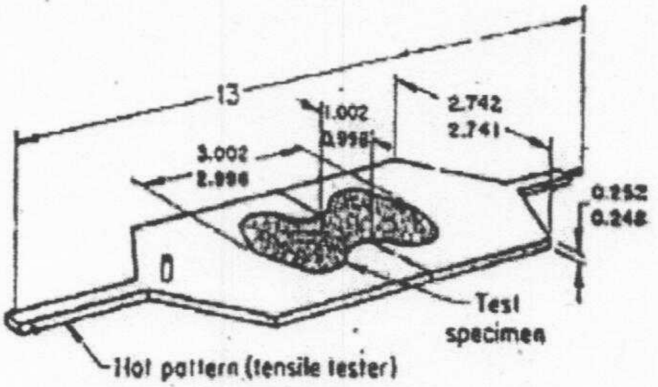
ทรายที่ใช้ยางสังเคราะห์ผสมหรือห่อหุ้มผิว จะสามารถตรวจสอบคุณสมบัติด้านต่างๆ ได้ดังนี้ คือ หาความต้านทานแรงดึงขณะเย็น (Cold tensile strength) พร้อมทั้งความแข็งแรงของผิวแบบ และความเบี่ยงเบน (Deflection)

ความต้านทานแรงดึงขณะเย็นพร้อมทั้งความแข็งแรงของผิวแบบ แสดงถึงความสามารถของแบบที่ Set ตัวแล้วที่จะทำการเคลื่อนย้าย หยิบยกและเก็บไว้ได้โดยไม่เสียหาย ความหนา และความต้านทานแรงดึงขณะเย็นของแบบ ต้องมีมากพอที่จะต้านความดันของน้ำโลหะได้

การทดสอบความต้านทานแรงดึงขณะเย็นทำได้โดยการพ่น หรือเททรายผสมยางสังเคราะห์ลงบนกระสวนร้อนเพื่อทำชิ้นงานทดสอบหนา ¼ ยาว 3 นิ้ว ดังแสดงในภาพ 2.16 หลังจากนั้นใช้แท่งให้ความร้อนประกบทั้งผิวล่าง-บน เป็นเวลา 2-10 นาที (เวลาเซ็ทตัวให้หาความแข็งแรงสูงสุดที่จะเป็นไปได้ และความแข็งแรงที่เป็นจริงในการผลิตแบบหล่อเปลือกบาง) หลังจากนั้นแล้วจึงแยกเอาชิ้นงานทดสอบออกมาและปล่อยให้เย็นตัว แล้วนำไปเข้าเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile tester) ชิ้นทดสอบรูปเลขแปดที่ทดสอบแรงดึงแล้วสามารถนำไปใช้หาค่าความซาบซึมและความแข็งต่อไปได้อีก ขนาดสำหรับความแข็งแรงขณะเย็น (Cold strength) และความแข็ง (Hardness) เป็นผลจากการสังเคราะห์ฟีนอลิค และแรงยึดเหนี่ยวของยางสังเคราะห์ชนิดเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

จะหาความต้านทานแรงดึงขณะเย็น (Cold tensile strength) หาได้จากชิ้นงานแท่งขนาด $1/4 \times 1 \times 4$ ซึ่งผลิตได้เช่นเดียวกับชิ้นงานทดสอบแรงดึง แต่ส่วนมากนิยมทดสอบหาความต้านทานแรงดึงขณะเย็น และวัดระยะเบี่ยงเบนขณะเย็น (Cold deflection) เพื่อหาความโค้ง (Flexibility) ของแบบขณะเย็น ค่าของความแข็งแรงตามแนวขวาง (Transverse strength) และระยะเบี่ยงเบน (deflection) จะสามารถอ่านได้จากเครื่องเดียวกับที่ใช้ทดสอบหาความต้านแรงดึง

(Tensile strength) จากภาพที่ 2.16 ชิ้นงานทดสอบที่อยู่บนกระสวน และแรงดึงกระสวนออกไปทั้งสองข้าง ชิ้นงานทดสอบจะถูกดึงออกไปด้วยจนขาดออกจากกัน แล้วอ่านค่าจากหน้าปัด



ภาพที่ 2.16 การทดสอบความแข็งแรงดึงขณะร้อน (หน่วย:นิ้ว)
(สุทน พัฒนศิริ และ บัณฑิต ใจชื่น, 2528)

2.11 กระสวนและกล่องไส้แบบ

ขบวนการทำแบบหรือไส้แบบหล่อเปลือก ต้องใช้กระสวนหรือกล่องไส้แบบทำด้วยโลหะแต่นิยมใช้เหล็กหล่อสีเทาซึ่งใช้งานได้ดี และเสถียรต่ออุณหภูมิระดับที่ใช้งาน หากผ่านการคายความเค้นมาแล้วโอกาสที่จะเกิดการบิดตัวมีน้อยมาก เหล็กหล่อสีเทาตกแต่งง่ายและราคาถูก บรอนซ์ทนต่อการเสียดสี และเสถียรต่ออุณหภูมิที่สูงกว่าปกติ แต่ราคาแพงและใช้งานยุ่งยากกว่า อลูมิเนียมใช้งานได้ง่ายแต่จะต้องดูแลรักษาเป็นอย่างดี และมักจะขยายตัวเมื่อใช้งานไปนานๆ ส่วนเหล็กกล้าไม่นิยมใช้ทำเพราะใช้งานยุ่งยากและเกิดการบิดงอได้ง่าย

การสร้างกระสวน (Pattern construction) ส่วนประกอบที่สำคัญของกระสวนแบบหล่อเปลือกบางได้แก่ แผ่นติดกระสวน กระสวนรูเท รูล้น ระบบจ่ายน้ำโลหะ สลักคัน หรือ Rim

การออกแบบกระสวนแบบหล่อเปลือกบาง มีหลักการเหมือนกับการออกแบบกระสวนโดยทั่วไป แต่งานหล่อจะแข็งตัวช้ากว่าในแบบหล่อทรายชื้นหรือทรายแห้ง (เพราะปริมาณความชื้นน้อยกว่า) จึงจำเป็นต้องเพิ่มขนาดรูล้นให้โตขึ้นเล็กน้อย แต่ในกรณีที่เทเหล็กหล่อสีเทาและทองเหลือง อาจจะไม่จำเป็นต้องใช้รูล้นก็ได้

โลหะที่ใช้ทำส่วนประกอบต่างๆ ของกระสวนควรเป็นชนิดเดียวกัน แต่อาจใช้

เบอริลเลียม ทองแดง หรือทองเหลืองทำระบบจ่ายและป้อนเติมน้ำโลหะ เพราะนำความร้อนได้ดี ส่วนสลักดันนิยมใช้เหล็กไร้สนิม ในงานวิจัยนี้ใช้กระสวนโลหะรูปหัวเตาแก๊สสำหรับเททราย ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญของกระสวน คือ รูเท และ รูล้น

2.12 การทำแบบและไส้แบบ

การทำแบบและไส้แบบเปลือกบางจะต้องอาศัยเครื่องจักรซึ่งมีหลายชนิด ตามลักษณะการทำงานและระบบอัตโนมัติ กล่าวคือ ต้องสามารถควบคุมเวลาและอุณหภูมิได้ ในทางปฏิบัติจะสามารถทำแบบหล่อ (Mould) หรือไส้แบบดังนี้

(1) ใส่ทรายผสมยางสังเคราะห์ลงไปบนกระสวนร้อน ซึ่งอาจทำได้โดยการพ่นหรือเททรายให้ไหลลงไปเองโดยใช้กล่องเก็บทรายก็ได้ ถ้าใช้กล่องเก็บทรายจะต้องใช้ทรายหล่อมากกว่าวิธีพ่นยางสังเคราะห์ ทรายที่ติดอยู่กับกระสวนจะหลอมยึดเม็ดทราย และกระสวนเอาไว้ ส่วนที่ยึดติดกับกระสวนเรียกว่า Investment ดังนั้นจึงเรียกขั้นตอนนี้ว่า Investment cycle

(2) เมื่อได้แบบที่มีเปลือกหนาตามต้องการแล้วก็กลับกระสวน เพื่อให้ทรายที่เหลือไหลกลับลงในกล่องตามเดิม

(3) นำกระสวนและทรายที่ติดอยู่บนกระสวน (ขั้นตอนที่ 1 เรียกว่า Investment ขั้นตอนนี้เรียก Shell) ออกมา

(4) แยกแบบหล่อออกจากกระสวน

(5) ประกอบไส้แบบ (ถ้ามี) และนำแบบทั้งสองซีกมาประกบยึดติดกัน (ด้วยกาว) และพร้อมที่จะนำไปใช้งานได้

การให้ความร้อนแก่กระสวน เครื่องทำแบบหล่อเปลือกบางมีอุปกรณ์เพื่อให้ความร้อนแก่กระสวน อาจใช้ไฟฟ้าหรือใช้แก๊ส ถ้าใช้ไฟฟ้าจะติดตัวให้ความร้อนไว้ที่ด้านหลังกระสวน การให้ความร้อนกระสวนด้วยไฟฟ้ามักประสบปัญหาหลายอย่าง เช่น

(1) ต้องเจียระไนด้านหลังของแผ่นกระสวนให้เรียบ เพื่อให้ตัวให้ความร้อนสัมผัสอย่างทั่วถึง และให้ความร้อนแก่กระสวนอย่างสม่ำเสมอ

(2) ถ้ากระสวนเป็นซอกต่ำกว่าหน้าผ่าซึ่งต้องให้ความร้อนสูงกว่าปกติ บริเวณในซอกจึงจะมีอุณหภูมิพอเพียง แต่ทำให้บริเวณภายนอกร้อนเกินไป

(3) ถ้าตัวให้ความร้อนกระสวนเกิดการชำรุดต้องเสียเวลาเปลี่ยนนาน การใช้ตัวให้ความร้อนติดเข้าไปกับแผ่นกระสวนมักจะมีปัญหาเกี่ยวกับสลักดันเสมอ
(สุทน พัฒนศิริ และ บัณฑิต ใจชื่น, 2528)

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้การให้ความร้อนแก่กระสวนโดยใช้เตาไฟฟ้า แล้วนำกระสวนโลหะเข้าไปอบ แล้วมีการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลตรวจสอบอุณหภูมิของกระสวนโลหะ ที่อุณหภูมิ 250°C ก่อนเททราย

2.13 การประกอบแบบหล่อเปลือกบาง

แบบหล่อที่ทำด้วยเครื่องทำแบบอัตโนมัติมักจะยึดหน้าผ่าให้ติดกันโดยใช้กาวทาทั้งสองซีกแล้วใช้ที่หนีบบีบเข้าด้วยกันประมาณ 20 - 40 วินาที หรือจนกว่าจะแห้ง

เวลาที่ใช้ประกอบแบบขึ้นอยู่กับว่าต้องใช้ไส้แบบหรือไม่ แบบหล่อเปลือกบางอาจไม่ต้องใช้ไส้แบบเหมือนทำแบบทรายขึ้น เมื่อยึดแบบทั้งสองซีกเข้าด้วยกันแล้วอาจเทน้ำโลหะลงไปโดยไม่ต้องยึดหรือรองหลังแบบ แต่เนื่องจากน้ำโลหะมีแรงดันซึ่งอาจทำให้แบบหล่อแยกออกจากกันได้ซึ่งจะทำให้งานเสียหาย หากทำการยึดหลังแบบไว้ก็จะป้องกันการเกิดปัญหาดังกล่าวได้

ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการประกอบแบบหล่อ โดยใช้ผงกราไฟท์และดินเหนียวในอัตราส่วน 1:1 ผสมกับน้ำพอให้ปั้นได้อุดตรงบริเวณรอยต่อทั้งสองซีกของแบบหล่อโดยก่อนที่จะอุดจะทำการบากร่องให้เป็นรูปตัว V ซึ่งจะทำให้มีร่องและพื้นที่ยึดได้ดี แล้วทำการฝังแบบหล่อลงไปในรางทราย เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำโลหะไหลออกหลังจากการเททำการยึดหรือรองหลังแบบด้วยวิธีการกดทับด้วยวัสดุที่มีน้ำหนัก เช่น แท่งเหล็กหรือวัสดุชนิดเดียวกันกับที่เท

2.14 สาเหตุและการป้องกันข้อบกพร่องของแบบหล่อเปลือกบาง

2.14.1 แบบแตกร้าว (Mold cracking)

เป็นผลจากความเค้นเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อเทน้ำโลหะลงในแบบที่เย็น ถ้ารอยแตกร้าวเกิดขึ้นจะทำให้น้ำโลหะรั่วออกมา ขนาดงานไม่ถูกต้องและชิ้นงานเกิดการบิดงอจะสามารถป้องกันและควบคุมการแตกร้าวของแบบได้โดย

2.14.1.1 เติมสารพิเศษจำพวกเทอร์โมพลาสติก

2.14.1.2 ใช้ทรายที่มีการขยายตัวน้อยที่สุด

2.14.1.3 อุดรอยแตกร้าวให้สนิท

วิธีที่นิยมใช้คือควบคุมการขยายตัวของแบบหล่อ และเติมเทอร์โมพลาสติกลงไปในทรายทำแบบแต่วิธีอุดรอยแตกร้าวทำได้ง่ายกว่า (สุทน พัฒนศิริ และบัณฑิต ใจชื่น, 2528)

2.14.2 แบบอ่อน

แบบหรือไส้แบบชนิดนี้บางครั้งจะอ่อนเกินไป สาเหตุของการเกิดแบบอ่อน คือ

2.14.2.1 ปริมาณยางสังเคราะห์ ถ้าปริมาณยางสังเคราะห์น้อยจะทำให้แบบหรือไส้แบบอ่อน ปริมาณยางสังเคราะห์ที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ และชนิดของทราย

2.14.2.1 ปริมาณเฮ็กซ่า เมื่อปริมาณเฮ็กซ่าน้อย (ส่วนผสมอื่นคงที่) แบบหรือไส้จะอ่อนลง ปริมาณเฮ็กซ่าที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะของงาน

2.14.2.1 ปริมาณสารเติมพิเศษ ถ้าเติม Vinsol เหล็กออกไซด์และผงซิลิกามากเกินไปจะทำให้แบบอ่อนและไม่แข็งแรง

2.14.2.1 อุณหภูมิ ถ้ากระสวนมีอุณหภูมิต่ำเกินไปยางสังเคราะห์จะเซ็ทตัวไม่สมบูรณ์ (Under cured) ปกติเครื่องทำแบบหล่อเปลือกบางจะมีอุณหภูมิ 425-474°C และเครื่องทำไส้แบบเปลือกบางมีอุณหภูมิ 475-525°C

2.14.2.1 การกระจายตัวของเม็ดทราย ทรายที่มีขนาดแตกต่างกันมากจะทำให้แบบอ่อน นอกจากนี้แบบจะอ่อนตัวได้ในขณะที่เทน้ำโลหะลงไปเนื่องจากอุณหภูมิสูงหรือรูไอไม่พอ เมื่อแบบอ่อนตัวทำให้ขนาดผิดพลาดและมีผิวหยาบ

2.15 การตรึงแบบหล่อ (Mold backup)

แบบหล่อเปลือกบางที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว ควรนำไปฝังในพื้นโรงงานในแนวดิ่งหรือใช้วัสดุของแข็งดันภายนอกแบบเอาไว้ เพื่อควบคุมขนาดของงานให้ถูกต้อง ตรึงแบบให้มั่นคงอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม และป้องกันไม่ให้น้ำโลหะรั่วออกมาจากแบบขณะเท

วิธีการตรึงแบบหล่อเปลือกบางที่ได้ผลที่สุดตามหลักทฤษฎี ได้แก่ การใช้วัสดุแข็ง (เช่น ปลาสเตอร์หรือเหล็กอ่อน) ทำเป็นแผ่นประกบหลัง แต่มีราคาแพงและเสียเวลามาก ในทางปฏิบัติจึงนิยมใช้เม็ดเหล็ก เม็ดกรวด หรือทรายหยาบ หรือจะเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติกึ่งของเหลวมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับความหนาแน่นของโลหะที่จะเทอัดลงไปรอบๆ แบบหล่อ เม็ดเหล็กสามารถนำความร้อนได้ดีทำให้งานหล่อเย็นตัวได้เร็วกว่าแต่ราคาแพง ส่วนเม็ดกรวดนั้นราคาถูกและหาง่ายแต่นำความร้อนไม่ดี ดังนั้นจึงต้องพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสม

2.16 การรื้อแบบ

งานหล่อที่ผลิตโดยแบบหล่อเปลือกบางโดยทั่วไป จะมีขนาดเล็กต้องการผิวเรียบและขนาดเที่ยงตรง ดังนั้นการรื้อแบบต้องกระทำอย่างระมัดระวังโดยใช้ขอเกี่ยวรูล้นหรือรูเทของงาน

หล่อแล้วเคาะให้แบบกะเทาะออกไป แต่นิยมใช้สายพานลำเลียงซึ่งสายพานจะลำเลียง งานหล่อ แบบหล่อ ทรายรองแบบ และวัสดุตรึงแบบหล่อไปยังบริเวณแยกชิ้นส่วน ซึ่งงานหล่อจะแยกตัวออกไป ถ้าเป็นงานหล่อเหล็กเหนียวความร้อนสูงพอที่จะเผาไหม้ตัวประสานจนหมด ทรายจะแยกออกจากงานหล่อได้ง่ายขณะเคลื่อนที่ไปบนสายพาน แต่งานหล่ออลูมิเนียม แมกนีเซียมหรือโลหะชนิดอื่นที่มีอุณหภูมิต่ำทรายจะยังคงติดอยู่ตามผิวงานหล่อ

2.17 ปฏิกิริยาระหว่างโลหะแบบหล่อ

เนื่องจากทรายที่ใช้ทำแบบหล่อ หรือไส้แบบเปลือกบางมีปริมาณตัวประสานยางสังเคราะห์ (Phenolic resins) อยู่ค่อนข้างสูง แก๊สทีเกิดขึ้นได้แก่แก๊สไฮโดรคาร์บอน ไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนน็อคไซด์ นอกจากนี้ยังมีไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ปะปนอยู่ด้วย

กระบวนการหล่อแบบหล่อเปลือก สามารถเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาได้โดยพิจารณาจากอุณหภูมิในการให้ความร้อน อุณหภูมิในการเท และปริมาณความจุของไฮโดรเจน ซึ่งทั้งสามตัวแปรนี้จะมีผลต่อคุณสมบัติทางกล (Y.M.Li and R.D.Li, 1999)

แก๊สต่างๆ เหล่านี้ไม่มีผลต่องานประเภทเหล็กหล่อ เหล็กคาร์บอนปานกลางและเหล็กคาร์บอนสูงแต่อย่างใด แต่จะมีผลอย่างรุนแรงต่องานหล่อจำพวกเหล็กคาร์บอนต่ำและเหล็กผสมที่มีธาตุที่ทำให้เกิดคาร์ไบด์ (เช่นเหล็กไร้สนิม) โดยจะทำให้เกิดข้อบกพร่องขึ้นที่ผิวงานและมีคาร์บอนเพิ่มขึ้นถ้าหล่องานจำพวกเหล็กคาร์บอนธรรมดา และเหล็กกล้าผสมต่ำ โดยใช้แบบหล่อเปลือกบาง งานหล่อที่ได้มักจะมีตามดเกิดขึ้นตามผิวงานเสมอ โดยมีความลึกจนถึงความ 0.050-0.100 นิ้ว และอาจจะมีคาร์บอนเพิ่มขึ้นเป็น 0.03% และตามผิวงานอาจมีช่องว่างเล็กๆ ปรากฏอยู่ เนื่องจากเมื่อเทน้ำโลหะแล้วแต่ยังไม่ทันที่จะแข็งตัว แก๊สที่เกิดขึ้นจะดันผ่านผนังงานหล่อออกไป จึงทำให้เกิดเป็นช่องขึ้น

ถ้าเหล็กมีธาตุที่ทำให้เกิดคาร์ไบด์อยู่ เช่น โครเมียมทังสเตน โมลิบดินัม และวาเนเดียม เมื่อหล่อโดยใช้แบบเปลือกบางจะทำให้เกิดคาร์ไบด์รอบๆ ขอบเกรน ซึ่งไม่สามารถขจัดคาร์ไบด์ดังกล่าวนั้นได้ เพราะต้องใช้อุณหภูมิสูงและอาจใช้เวลานานด้วย ปัญหาดังกล่าวจะแก้ไขได้โดย

2.17.1 การลดแก๊สภายในแบบหล่อ

ปริมาณแก๊สภายในแบบหล่อขึ้นอยู่กับปริมาณตัวประสาน ดังนั้นจึงควรใช้ตัวประสานให้เหมาะสมเพื่อให้แบบมีความแข็งแรงมีคุณสมบัติตามต้องการ โดยทั่วไปนิยมใช้ตัวประสานประมาณ 3% ถ้าต่ำกว่านี้แบบจะมีความแข็งแรงต่ำแตกร้าวได้ง่ายขณะเคลื่อนย้าย ถ้าใช้ตัวประสานมากกว่า 3% จะเกิดข้อบกพร่องบนผิวงานการลดแก๊สในแบบหล่ออีกวิธีหนึ่งทำได้โดยการ

เพิ่มค่าความซาบซึม หรือมีรูระบายอากาศของแบบหล่อให้มากขึ้นซึ่งจะทำให้ความดันอากาศภายในแบบหล่อลดลง

2.17.2 เพิ่มอัตราการเย็นตัว เพื่อให้ผิวงานหล่อแข็งตัวเร็วขึ้น

เพื่อให้ผิวงานแข็งตัวเป็นเปลือกแข็งได้เร็ว จะต้องใช้ทรายที่มีความสามารถนำความร้อนได้ดี เช่น ทรายเซอร์โคไนท์ ทรายโครไมท์ ทรายโอลีวีน (มี Magnesite และ Forserite) กรณีงานหล่อเหล็กผสมต่ำนิยมใช้ทรายโอลีวีน แบบหล่อที่ทำด้วยทรายซิลิกาจะทำให้งานหล่อเย็นตัวเร็วและเกิด Thermal shock น้อยกว่า ในกรณีที่จำเป็นอาจเติมหินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต $CaCO_3$) ผสมทราย เพื่อช่วยเร่งอัตราเย็นตัวของงานหล่อ กล่าวคือ คาร์บอเนตเมื่อแตกตัวจะเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic) จึงช่วยให้งานเย็นตัวเร็วขึ้นหรือเติมคาร์บอเนตร่วมกับวัสดุที่ใช้ตรึงแบบหล่อก็ได้โดยเติมลงไปประมาณ 20-50%

การเทน้ำโลหะก็มีผลต่ออัตราการแข็งตัวของผิวงาน และต่อปฏิกิริยาของโลหะแบบหล่อถ้าเทช้าก็ยิ่งทำให้ผิวงานเกิดข้อบกพร่องมากขึ้น ถ้าอุณหภูมิสูง และเทเร็วเกินไปผิวงานจะแข็งตัวช้าลงทำให้ผิวแบบ –โลหะเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น

2.17.3 การปรับปรุงส่วนผสมทางเคมีของน้ำโลหะ

ถ้าปรับปรุงสภาวะภายในแบบและส่วนผสมทางเคมีของน้ำโลหะ จะช่วยลดปฏิกิริยาระหว่างแบบ-โลหะได้ เช่น แมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) และตะกั่วออกไซด์ (PbO) ผสมในทรายทำแบบปริมาณเล็กน้อย จะช่วยให้ผิวงานดีขึ้นและงานหล่อดึงดูดคาร์บอนน้อยลง (ในเหล็กกล้า) และสำหรับงานหล่อเหล็กคาร์บอนปานกลาง-สูง และงานหล่อเหล็กหล่อสีเทา เมื่อเติม $NaCO_3$, $MgCO_3$, $CaCO_3$, Mg-Siliconfluoride, และ Ammonium siliconfluoride จะทำให้ผิวงานดีขึ้น สารพิเศษที่เติมลงไปนั้นเป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยา (Oxidizing agent) จะช่วยหน่วงเหนี่ยวการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแบบโลหะ

ถ้าเติมสาร Oxidizing ที่เข้มข้นมาก (เช่น Nirate และ Dichromate) ก็จะไม่มีผลต่อคุณภาพของผิวงานหรือจะมีผลเพียงเล็กน้อย และการปรับปรุงคุณภาพน้ำโลหะนั้นจะกระทำได้โดยการลดออกซิเจน ขณะที่ตัวประสานแตกร้าวนั้นบรรยากาศภายในแบบจะมีออกซิเจนน้อยลงจำเป็นจะต้องลดออกซิเจนออกจากน้ำโลหะ จึงจะลดปฏิกิริยาระหว่างแบบ-โลหะลงได้ การลดออกซิเจนโดยใช้สารผสมระหว่าง Ca-Si-Mn (สำหรับเหล็กกล้า) จะได้ผลดีกว่าการผสมในอลูมิเนียม เมื่อความสามารถทำปฏิกิริยาของออกซิเจนลดลงไฮโดรเจนจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น จากงานวิจัยของ (Liu Feng and et al, 2000) ในการหล่อนิกเกิลบริสุทธิ์ และนิกเกิลผสมทองแดง โดยใช้วัสดุ SiO_2 ผสมกับ B_2O_3, Sio_2- ZrO_2 ผสมกับ B_2O_3 และ ZrO_2-Al_2O_3 ผสมกับ $ZrSiO_4$ ด้วยวิธีการหล่อแบบเปลือก เพื่อหล่อโลหะผสมชนิดต่างๆ ดังนี้ นิกเกิลบริสุทธิ์, นิกเกิลผสมทองแดง

และโลหะซุปเปอร์อัลลอย ผลคือ ได้พื้นผิวหล่อที่ดีไม่มีข้อบกพร่อง ยกเว้น เกิดข้อบกพร่องกับการหล่อโลหะซุปเปอร์อัลลอย แต่เปลือกแบบที่ทำด้วยเซอร์โคเนียมซิลิเกต หรือ เซอร์คอน ($ZrSiO_4$), Sio_2 ผสม ZrO_2 กับ B_2O_3 และ ZrO_2 สามารถหล่อโลหะผสมซุปเปอร์อัลลอย ได้ผลดีไม่มีข้อบกพร่อง และยังพบว่าอุณหภูมิแตกต่างของน้ำโลหะกับแบบเปลือกยิ่งสูงมาก จะทำให้โลหะผสมซุปเปอร์อัลลอยแข็งตัวเร็วขึ้นในแบบเปลือกทั้งสามชนิดนี้ด้วย

ถ้าผลิตงานเหล็กหล่ออบเหนียว (Malleable iron) และเหล็กหล่อสีเทาพิเศษที่ต้องการความแข็งแรงสูง และต้องเป็นเหล็กหล่อกราไฟต์กลม (Ductile iron) โดยใช้แบบหล่อเปลือกนั้นอาจมีข้อบกพร่องขณะเย็นตัวโดยมีโครงสร้างเปราะ (Inverse chill) เกิดขึ้น โดยเฉพาะในบริเวณมุมหรือที่เป็นแอ่ง จะแก้ไขได้โดยปรับส่วนผสมทางเคมี และเพิ่มอัตราการแข็งตัวของน้ำโลหะ (สุทน พัฒนศิริ และบัณฑิต ใจชื่น, 2528)

2.18 เปรียบเทียบการหล่อแบบเปลือกกับการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีอื่น

2.18.1 การหล่อแบบเปลือก : งานตีขึ้นรูป (Shell mould casting VS Forging)

การตัดสินใจใช้การหล่อแบบเปลือกบางผลิตการหล่อแทนการตีขึ้นรูปนั้นจะต้องกำหนดก่อนว่าต้องการคุณสมบัติอย่างไร โดยยังไม่ต้องคำนึงถึงราคาและความเที่ยงตรงของขนาด งานบางอย่างสามารถผลิตได้โดยกรรมวิธีการหล่อแทนที่จะใช้วิธีตีขึ้นรูป

ตัวอย่าง : ต้องการผลิตเพลาข้อเหวี่ยงด้วยเหล็กกล้า ใช้กับเครื่องยนต์ 2 สูบ และ 4 สูบ เมื่อผลิตโดยใช้วิธีการตีขึ้นรูป หนัก 20.50 ปอนด์ แต่เมื่อใช้วิธีการผลิตแบบการหล่อแบบเปลือกบางจะสามารถผลิตงานเดียวกันหนักเพียง 17.25 ปอนด์ ทั้งนี้เพราะเมื่อผลิตด้วยการตีขึ้นรูปต้องเผื่อลาดเอียงไว้ถึง 3 องศา หากใช้แบบหล่อเปลือกบางก็ไม่ต้องเผื่อลาดเอียง ดังแสดงในภาพที่ 2.17 (สุทน พัฒนศิริ และ บัณฑิต ใจชื่น, 2528)

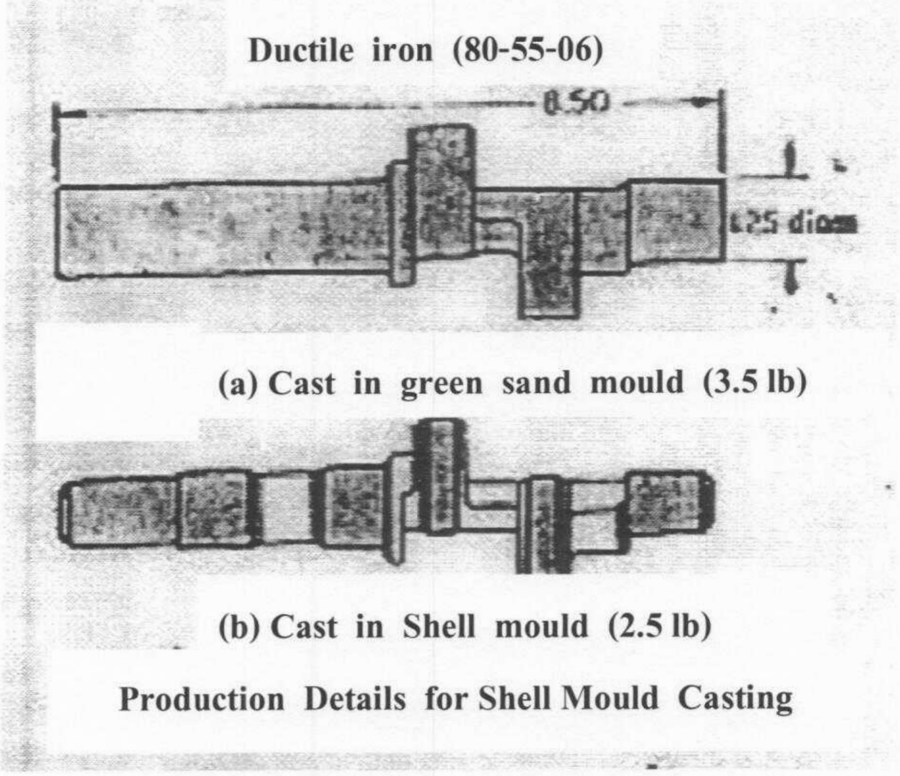
2.18.2 การหล่อแบบเปลือก : งานหล่อแบบทรายชื้น (Shell mould casting VS Green casting)

เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีแบบหล่อทรายชื้นแล้ว การผลิตงานด้วยการหล่อแบบเปลือกบางมีข้อดีดังนี้

2.18.2.1 งานชนิดเดียวกันแต่เมื่อใช้แบบหล่อเปลือกบางจะได้งานเบากว่า

2.18.2.2 ไม่ต้องตกแต่งมาก เพราะมีขนาดเที่ยงตรงกว่า และผิวเรียบกว่า

2.18.3.3 ค่าส่วนเผื่อลาดเอียงน้อยกว่า



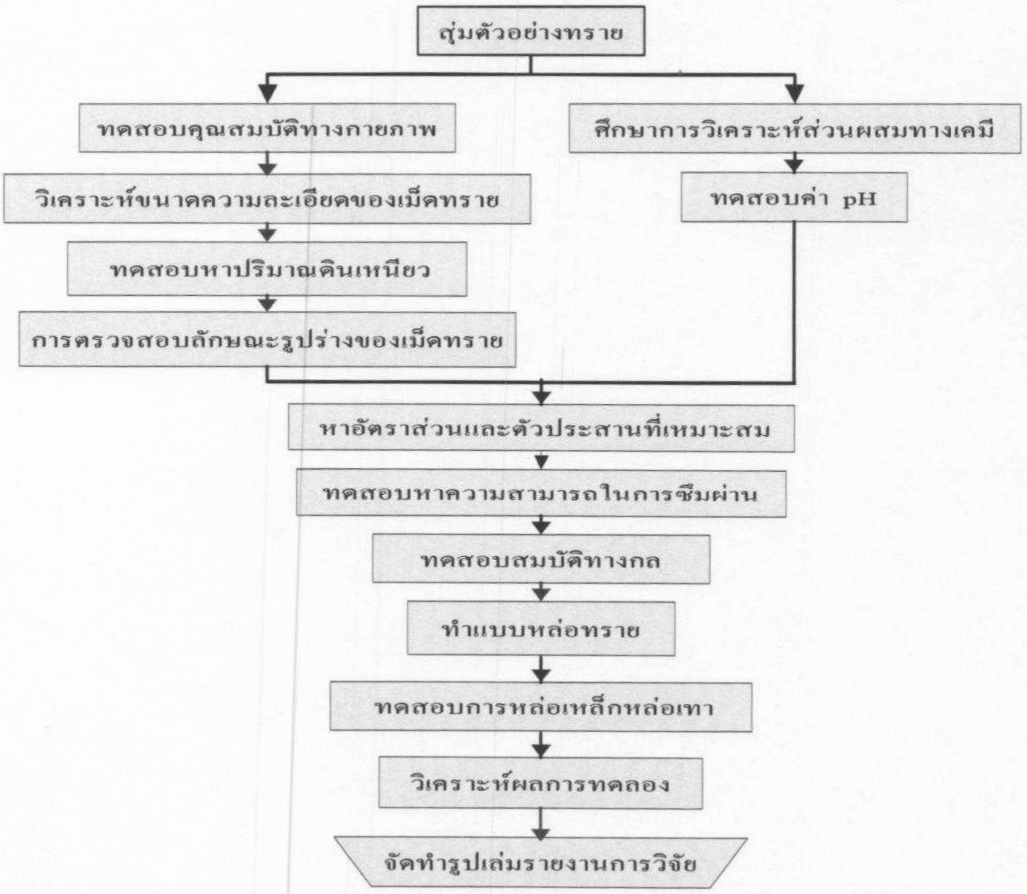
ภาพที่ 2.17 เพลาข้อเหวี่ยงที่ทำด้วยเหล็กหล่อกราไฟต์กลม (ductile iron)
(สุทน พัฒนศิริ และบัณฑิต ใจชื่น, 2528)

จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยทำให้ทราบว่าในการหล่อแบบเปลือกบางนั้นต้องมีการพัฒนาสมบัติของทรายที่เหมาะสม ได้แก่ คุณสมบัติทางความร้อน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของทราย สมบัติในการกระจายตัว คุณสมบัติของตัวประสาน (Binder) คุณสมบัติทางกล และการทดสอบทราย ซึ่งได้แก่ การวิเคราะห์หาปริมาณดินเหนียว การตรวจสอบลักษณะรูปร่างของเม็ดทราย การวิเคราะห์หาส่วนผสมทางเคมีเพื่อหาธาตุที่ผสมอยู่ในทราย การหาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) การหาอัตราการซึมผ่านหรือความโปร่ง และการทดสอบความแข็งแรงของแบบ ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้จะต้องมีการทดสอบและควบคุมก่อนนำไปใช้งาน

นอกจากนั้นในการขึ้นรูปทำแบบ (Mould) ต้องมีการควบคุมส่วนผสมของตัวประสาน (ฟีโนลิคเรซิ่น) ให้เหมาะสม อุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่กระสวน อุณหภูมิในการเทน้ำโลหะ และการรื้อแบบ สิ่งต่างๆเหล่านี้จะมีอิทธิพลต่อแบบเปลือกบางมาก เนื่องจากกรรมวิธีการหล่อแบบนี้ต้องการความละเอียดที่ผิวสูง ถ้าหากทำอย่างไม่ระมัดระวังก็จะเกิดการเสียหายแก่แบบแล้วจะมีผลกระทบไปหาชิ้นงานได้ ซึ่งจะทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายเพิ่มสูงขึ้น

บทที่ 3
การดำเนินการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติของทรายแม่น้ำโขง ในการทำแบบหล่อโดยวิธีแบบหล่อเปลือก เพื่อที่จะเป็นตัวบ่งชี้ขั้นต้นว่าทรายที่ทำการทดสอบเหมาะกับการนำไปใช้ทำแบบหล่อหรือไม่ โดยใช้การทดสอบตามมาตรฐานของ AFS. ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่ใช้กันทั่วไป มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในภาพรวมดังนี้



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

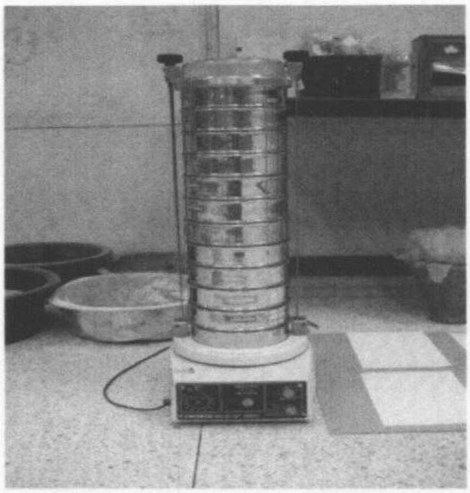
3.1 ศึกษาการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

3.1.1 การทดสอบขนาดความละเอียดของเม็ดทราย (Fineness test)

3.1.1.1 เตรียมทรายตัวอย่าง โดยสุ่มเอาทรายที่จะนำมาทดสอบ ใช้ประมาณ 100 g แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 105 $^{\circ}$C จนกว่าน้ำหนักจะคงที่

3.1.1.2 หลังจากที่น้ำหนักทรายคงที่แล้ว ปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วแบ่งชั่งเอาตัวอย่างมา 50 g

3.1.1.3 เตรียมเครื่องทดลองให้อยู่ในสภาพพร้อมทดสอบโดยตรวจสอบความถูกต้องของตะแกรงและเรียงตามลำดับหมายเลข ให้ถาดรอง (Pan) อยู่ล่างสุด และวางซ้อนกันด้วยตะแกรงเบอร์ 270, 200, 140, 100, 70, 50, 40, 30, 20,12 และ เบอร์ 6 แล้วเททรายตัวอย่างลงที่ถาดบนสุดก่อนที่จะปิดฝาและล็อกให้แน่น



ภาพที่ 3.2 เครื่องคัดขนาดแบบใช้แรงสั่นสะเทือน (Vibratory sieve shaker)
ยี่ห้อ FRITSCH รุ่น Ibratory sieve shaker analysette 3

3.1.1.4 ปรับตั้งค่าการทำงานของเครื่องคัดขนาด ดังแสดงในภาคผนวก ก แล้วเปิดเครื่องให้เริ่มทำงานรอจนกว่าจะครบเวลา 15 นาที ตามที่กำหนดเครื่องจะหยุดโดยอัตโนมัติ เปิดฝานำทรายที่ค้างแต่ละตะแกรงเทออกใส่ภาชนะรองหรือแผ่นกระดาษแห้ง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จดบันทึกค่าในตารางบันทึกผล และทำเช่นนี้ทุกชั้นของตะแกรง

3.1.1.5 นำค่าที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาค่า AFS. Grain fineness number ดังสมการที่ 3.1

$$\text{AFS. Fineness number} = \frac{\text{Totals of product}}{\text{Totals of \% Retained}} \quad (3.1)$$

3.1.2 การทดสอบหาปริมาณดินเหนียว (AFS. Clay tester)

3.1.2.1 เตรียมทรายตัวอย่างโดยสุ่มเอาทราย ที่จะนำมาทดสอบใช้ประมาณ 100 g นำไปอบให้แห้ง ที่อุณหภูมิประมาณ 105° C จนกว่าน้ำหนักจะคงที่

3.1.2.2 หลังจากน้ำหนักทรายคงที่แล้ว ปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง แบ่งชั่งเอาตัวอย่างมา 50 g เทลงในบีกเกอร์ ขนาด 1,000 ml. โดยขั้นตอนนี้จะต้องทำอย่างระมัดระวังให้น้ำหนักทรายหายไปในขั้นตอนนี้น้อยที่สุด

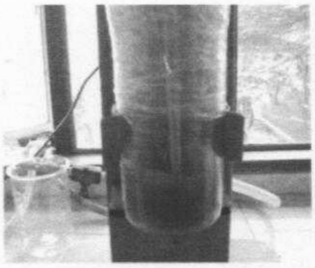
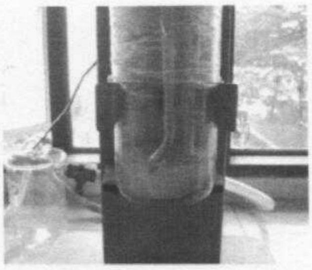
3.1.2.3 เติมน้ำลงไป 450 ml. และผสมสารละลาย Sodiumpyrophosphate 2% กับน้ำ ($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$) จำนวน 50 ml. (ปริมาตรรวม 500 ml.)

3.1.2.4 นำบีกเกอร์ที่เตรียมไว้ตามข้อ 3 มาสวมใส่ชุดปั่นล้างความเร็วสูง ดังแสดงในภาพที่ 3.3 และใช้ชุดมอเตอร์ไฟฟ้ากวนตัวอย่าง จุ่มลงในบีกเกอร์ ใช้เวลาในการกวน 5 นาที

ภาพที่ 3.3 ชุดปั่นล้างความเร็วสูง (Rapid and washer machine)

3.1.2.5 ถอดชุดมอเตอร์กวนออกจากบีกเกอร์อย่างระมัดระวัง และล้างทรายที่ติดมากับชุดมอเตอร์กวนลงไปในบีกเกอร์ให้หมด เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักของทรายในขั้นตอนนี้

3.1.2.6 นำบีกเกอร์ซึ่งมีทรายและน้ำที่นำมาจากขั้นตอนที่ 5 มาใส่ในเครื่อง Clay washer ในตำแหน่งที่จะทำการล้าง เครื่องล้างดินเหนียว (Clay washer Machine) ดังแสดงในภาพที่ 3.4 เมื่อล้างเสร็จนำไปเข้าเตาอบแห้ง อุณหภูมิ 105° C แล้วนำมาชั่งน้ำหนักให้น้ำหนักคงที่

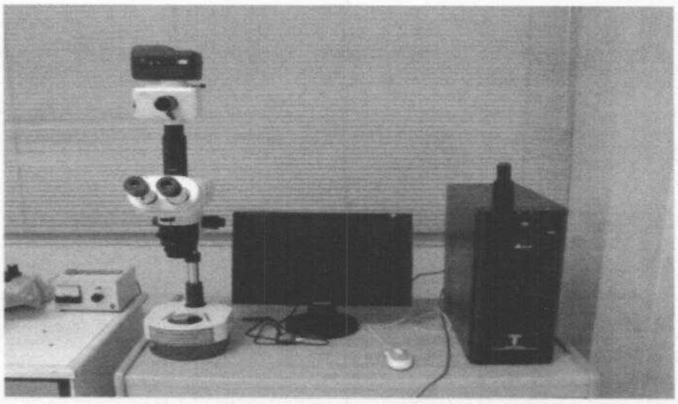
ภาพที่ 3.4 เครื่องล้างดินเหนียว (Clay washer Machine)

3.1.2.7 คำนวณหาเปอร์เซนต์ดินเหนียว จากสมการที่ 3.2

$$\text{AFS. clay \%} = \frac{\text{(Starting weight)} - \text{(Weight of washed and dried sample)}}{\text{Starting weight}} \times 100 \qquad (3.2)$$

3.1.3 การตรวจสอบลักษณะรูปร่างของเม็ดทราย

ในการทดลองจะดูลักษณะรูปร่างภายนอกของเม็ดทราย ด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป (Stereo microscope) ดังแสดงในภาพที่ 3.5 โดยใช้กำลังขยายขนาด 32 เท่า แล้วถ่ายภาพ จากนั้นทำการเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างตามทฤษฎี แล้ววิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Olysia M3 Image analysis

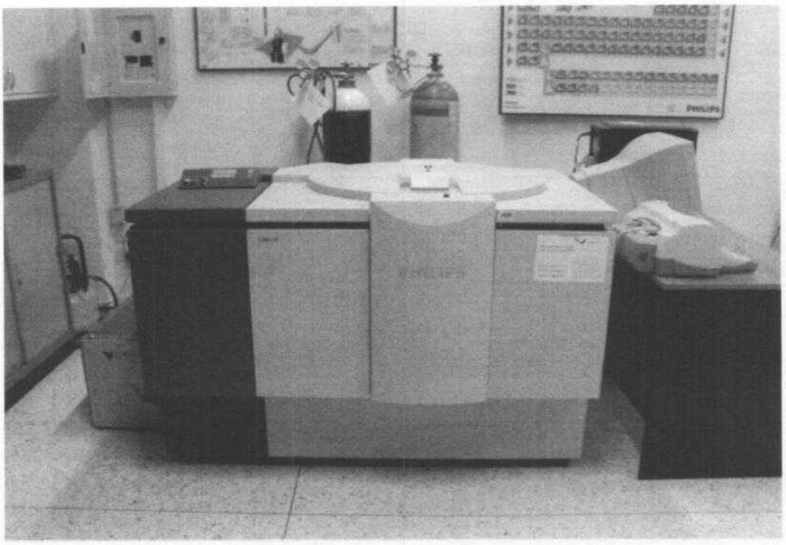


ภาพที่ 3.5 กล้องจุลทรรศน์ Stereo microscope ยี่ห้อ Reica รุ่น Reica wild M 420

3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

3.2.1 การวิเคราะห์ธาตุโดยการวาวรังสีเอกซ์ (WD-XRF)

โดยการนำตัวอย่างทรายขนาดตั้งแต่เบอร์ 40, 50 และ 70 ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ ในการทดสอบครั้งนี้ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์ธาตุ Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence spectrometer (WD-XRF) จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ดังแสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 เครื่องวิเคราะห์ธาตุ (Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence spectrometer WD-XRF) ยี่ห้อ Phillips รุ่น Magi X

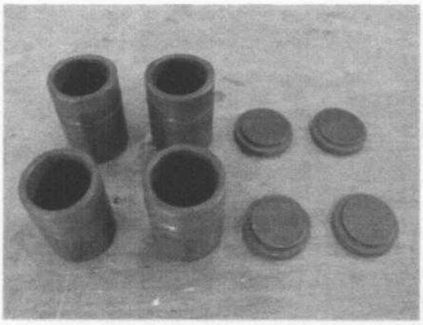
3.2.2 การหาค่า pH

โดยได้ทำการวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH level 1 ดังภาพที่ 3.7 ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางเคมีของทรายแม่น้ำ โดยได้นำทรายที่ไม่ได้ผ่านการคัดแยกขนาด ปริมาณ 10 g ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 100 ml. แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปในบีกเกอร์ ปริมาณ 20 ml. แช่ไว้ 15 นาที จากนั้นจุ่มหัวอิเล็คโทรดลงไปในบีกเกอร์แล้วกดปุ่ม Mode เพื่อให้ส่วนแสดงผลแสดงผลการวัดค่า pH รอจนกว่าตัวเลขที่หน้าปัดเครื่องวัดจะนิ่งแล้วทำการบันทึกค่า ทำการทดสอบ 3 ครั้ง

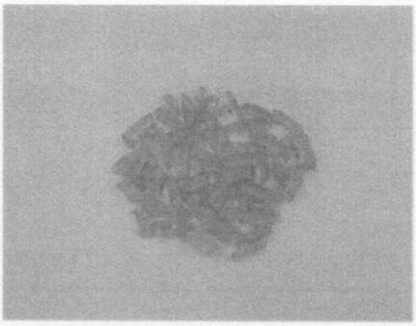
ภาพที่ 3.7 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง รุ่น pH level 1

3.2.3 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบอัตราส่วนระหว่างทราย และฟีโนลิคเรซิ่นที่เหมาะสม

ในการขึ้นรูปทำแท่งทรายในกระบอกโลหะของกรรมวิธีแบบหล่อเปลือก (Shell mould) นั้น จะใช้กรรมวิธีการขึ้นรูปเหมือนกับของกรรมวิธีแบบหล่อทรายชื้น (Green sand) แต่จะแตกต่างกันตรงที่กรรมวิธีแบบหล่อเปลือกนั้น ไม่ต้องทำการอัดทรายในกระบอกโลหะ แต่จะใช้ความร้อนจากกระบอกโลหะไปละลายเรซิ่นให้ยึดเกาะเม็ดทรายไว้ โดยเริ่มทำการทดลองผสมฟีโนลิคเรซิ่นตั้งแต่ส่วนผสมน้อยสุด คือ ตั้งแต่ 2% (20 g) ถึงส่วนผสมมากสุด คือ 10% (100 g) ต่อทราย 1,000 g สัดส่วนผสมแสดงในตารางที่ 3.1 ทั้งสิ้น 17 สูตร ใส่ในกระบอกโลหะขนาดความสูง 50 mm เส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm สูตรละ 3 ชิ้น รวมจำนวนชิ้นทดสอบ 68 ตัวอย่าง



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.8 อุปกรณ์การขึ้นรูปการทดสอบ

(ก) กระบอกโลหะขนาดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm. พร้อมฝาเหล็ก

(ข) ฟีโนลิคเรซิ่น ที่ใช้ในการทดลอง

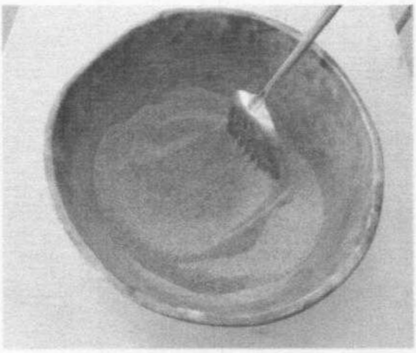
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทรายและฟีโนลิคเรซิ่น เพื่อขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบความต้านแรงอัด

ส่วนผสมที่	Sand (g)	Resin (g)	น้ำหนักรวม (g)	Resin (wt% of Sand)
1	1,000	20	1,020	2
2	1,000	25	1,025	2.5
3	1,000	30	1,030	3
4	1,000	35	1,035	3.5
5	1,000	40	1,040	4
6	1,000	45	1,045	4.5
7	1,000	50	1,050	5
8	1,000	55	1,055	5.5
9	1,000	60	1,060	6
10	1,000	65	1,065	6.5
11	1,000	70	1,070	7
12	1,000	75	1,075	7.5
13	1,000	80	1,080	8
14	1,000	85	1,085	8.5
15	1,000	90	1,090	9
16	1,000	95	1,095	9.5
17	1,000	100	1,100	10

ขั้นตอนการทดลองการผสมทรายกับตัวประสาน

วิธีการผสม : ในการทดลองนี้เป็นการผสมแบบร้อน

3.2.3.1 นำทรายที่ได้จากการคัดขนาด ซึ่งขนาดของทรายที่เลือกใช้ คือ ทรายตั้งแต่เบอร์ 40 ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดมาผสมรวมกับเบอร์ 50, 70, 100, 140, 200, 270 ปริมาณ 1,000 g เพื่อเตรียมผสมกับเรซิ่น ดังแสดงในภาพที่ 3.9 นำไปทำแท่งทรายตัวอย่าง



ภาพที่ 3.9 ทรายที่เตรียมผสมกับฟีโนลิคเรซิ่น

3.2.3.2 เตรียมตัวประสาน (ฟีโนลิคเรซิ่น) โดยการใช้เครื่องบดให้เป็นผง

ภาพที่ 3.10 เครื่องบดเรซิ่น ยี่ห้อ Fritsch d-55743

3.2.3.3 นำฟีโนลิคเรซิ่นมาบดให้ละเอียดเป็นผงอีกครั้งโดยการใช้ครกตำ แล้วนำฟีโนลิคเรซิ่น ไปร่อนตะแกรงเบอร์ 50 เพื่อให้มีความละเอียดสามารถแทรกตัวเข้าผสมกับเม็ดทรายได้ทั่วถึง

3.2.3.4 นำทรายมาผสมกับฟีโนลิคเรซิ่นในปริมาณต่างๆ โดยคนให้เข้ากันใช้เวลาในการคน 10 นาที

3.2.3.5 ตั้งอุณหภูมิเตา 150°C จากนั้นนำทรายที่ผสมกับฟีโนลิคเรซิ่นแล้วไปอบในเตา ดังภาพที่ 3.11 ให้ได้ 150°C ใช้เวลาในการอบ 1 นาที

ภาพที่ 3.11 เตาอบไฟฟ้า ยี่ห้อ Digicon model dd-6

3.2.3.6 นำทรายที่ผ่านการอบแล้ว 1 นาที ออกมาจากเตา ใช้เทอร์โมคัปเปิลเช็คอุณหภูมิอีกครั้งให้ได้ 150°C จากนั้นใช้ช้อนคนให้เข้ากันแล้วปล่อยให้เย็นตัวใช้เวลาในการคน 15 นาที

3.2.3.7 เตรียมทราย ในข้อที่ 6 ใส่ภาชนะรองเพื่อเตรียมเทใส่กระบอกโลหะ

3.2.3.8 ตั้งอุณหภูมิเตา 250°C แล้วนำกระบอกโลหะไปอบในเตาดังภาพที่ 3.12 ใช้เวลาในการอบ 10 นาที

ภาพที่ 3.12 การนำกระบอกเหล็กอบในเตา

3.2.3.9 นำกระบอกโลหะออกมา ใช้เทอร์โมคัปเปิลตรวจสอบอุณหภูมิให้ได้ 250°C

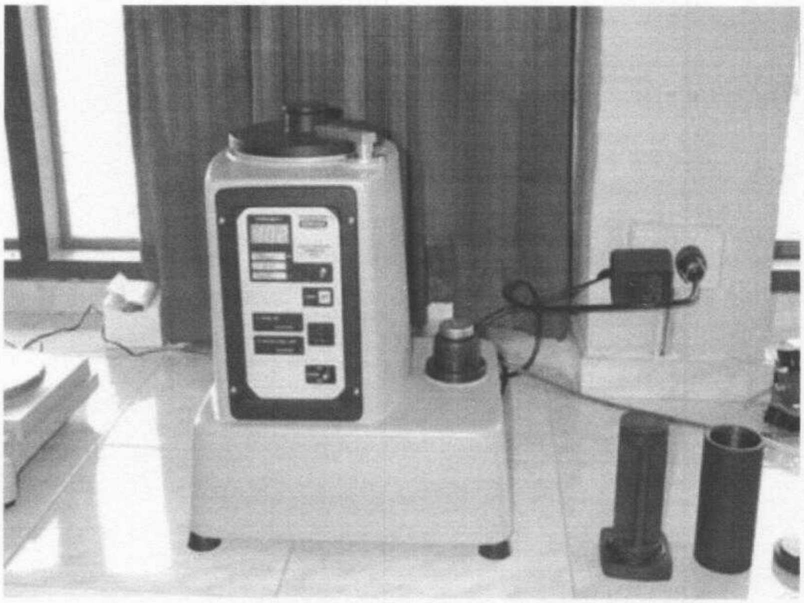
3.2.3.10 เททรายที่เตรียมใส่ภาชนะไว้ในข้อที่ 7 ใส่กระบอกโลหะโดยเทให้ได้ระยะความสูง 2 นิ้ว แล้วเกลี่ยทรายในกระบอกให้เรียบเสมอกัน ซึ่งเวลาเททรายจะต้องเทให้รวดเร็ว

3.2.3.11 ปล่อยกระบอกทรายให้เย็นตัว ซึ่งใช้เวลาในการเย็นตัว 1.30 ชม. โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลตรวจเช็คอุณหภูมิ ให้เท่ากับอุณหภูมิห้อง 37°C

3.2.3.12 นำไปทดสอบหาการซึมผ่านอากาศ โดยที่ยังไม่เอาทรายออกจากกระบอกโลหะ

3.2.4 ศึกษาการทดสอบหาความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability)

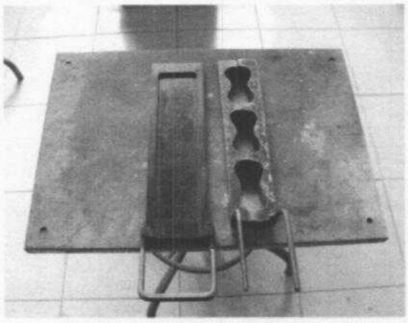
ในการทดสอบหาการซึมผ่านจะใช้เครื่องทดสอบ Digital absolute permmeter ดังภาพที่ 3.13 ทำการทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของอากาศในแท่งทรายตัวอย่างที่อยู่ในกระบอกโลหะ ขนาดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm. ที่ได้จากการผสมระหว่างทราย และฟีโนลิคเรซิ่น เพื่อนำไปทดสอบความต้านแรงอัด จำนวน 68 ตัวอย่าง ค่าความสามารถในการซึมผ่าน จะมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับแบบหล่อ เนื่องจากในงานหลอมหล่อมักจะมีความชื้น และไอน้ำ หรือแก๊ส เกิดขึ้นในกระบวนการเสมอ ซึ่งมีผลต่อชิ้นงานทั้งลักษณะผิว รูปร่าง และด้านความแข็งของชิ้นงาน ซึ่งหลังจากทำการทดสอบหาการซึมผ่านเสร็จเรียบร้อยแล้วทำการบันทึกค่า แล้วนำไปทำการดันเอาแท่งทรายออกจากกระบอกโลหะ แล้วนำแท่งทรายไปชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาความหนาแน่นและค่าเฉลี่ยต่อไป



ภาพที่ 3.13 เครื่องทดสอบความสามารถในการซึมผ่าน (Digital absolute permmeter) ยี่ห้อ SIMPSOM-GEROSA No 42105 – M, Metric Standard

3.2.5 ชิ้นงานทดสอบความต้านแรงดึง

เริ่มทำการทดลองผสมฟีโนลิคเรซิ่น ตั้งแต่ 4-10 % (40 -100 g) ต่อทราย 1,000 g สัดส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 3.2 ใส่ในแบบโลหะสำหรับขึ้นรูปชิ้นงานสูตรละ 3 ชิ้น ทั้งสิ้น 13 สูตร สูตรละ 3 ชิ้น จำนวนชิ้นงานทั้งหมด 39 ตัวอย่าง เพื่อศึกษาการจับยึดของเม็ดทรายและความต้านแรงดึง ชิ้นงานจะถูกอัดลงในแบบโลหะ ดังแสดงในภาพที่ 3.14 จากนั้นจะแกะเอาชิ้นงานออกจากแบบโลหะ แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาความหนาแน่น และค่าเฉลี่ยต่อไป



ภาพที่ 3.14 แบบโลหะสำหรับขึ้นรูปชิ้นงาน

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทรายและฟีโนลิคเรซิ่น เพื่อขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบความต้านแรงดึง

ส่วนผสมที่	Sand (g)	Resin (g)	น้ำหนักรวม (g)	Resin (wt% of Sand)
1	1,000	40	1,040	4
2	1,000	45	1,045	4.5
3	1,000	50	1,050	5
4	1,000	55	1,055	5.5
5	1,000	60	1,060	6
6	1,000	65	1,065	6.5
7	1,000	70	1,070	7
8	1,000	75	1,075	7.5
9	1,000	80	1,080	8
10	1,000	85	1,085	8.5
11	1,000	90	1,090	9
12	1,000	95	1,095	9.5
13	1,000	100	1,100	10

ขั้นตอนการทดลองการผสมทรายกับตัวประสาน

วิธีการผสม : ในการทดลองนี้เป็นการผสมแบบร้อน

3.2.5.1 นำทรายที่ได้จากการคัดขนาด ซึ่งขนาดของทรายที่เลือกใช้ คือ ทรายตั้งแต่เบอร์ 40 ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดมาผสมรวมกับเบอร์ 50, 70, 100, 140, 200, 270 ปริมาณ 1,000 g เพื่อเตรียมผสมกับเรซิ่น นำไปทำแท่งทรายตัวอย่าง

3.2.5.1 เตรียมตัวประสานฟีโนลิคเรซิ่น โดยการใช้เครื่องบดให้เป็นผง

3.2.5.2 นำฟีโนลิคเรซิ่นมาบดให้ละเอียดเป็นผงอีกครั้ง โดยการใช้ครกตำ แล้วนำฟีโนลิคเรซิ่น ไปร่อนตะแกรงเบอร์ 50 เพื่อให้มีความละเอียดสามารถแทรกตัวเข้าผสมกับเม็ดทรายได้ทั่วถึง

3.2.5.3 นำทรายมาผสมกับเรซิ่นในปริมาณต่างๆ โดยคนให้เข้ากันใช้เวลาในการคน 10 นาที

3.2.5.4 ตั้งอุณหภูมิเตา 150°C จากนั้นนำทรายที่ผสมกับฟีโนลิคเรซิ่น แล้วไปอบในเตาให้ได้ 150°C ใช้เวลาในการอบ 1 นาที

3.2.5.5 นำทรายที่ผ่านการอบแล้ว 1 นาที ออกมาจากเตา ใช้เทอร์โมคัปเปิลเช็คอุณหภูมิอีกครั้งให้ได้ 150°C จากนั้นใช้ช้อนคนให้เข้ากันแล้วปล่อยให้เย็นตัว ใช้เวลาในการคน 15 นาที

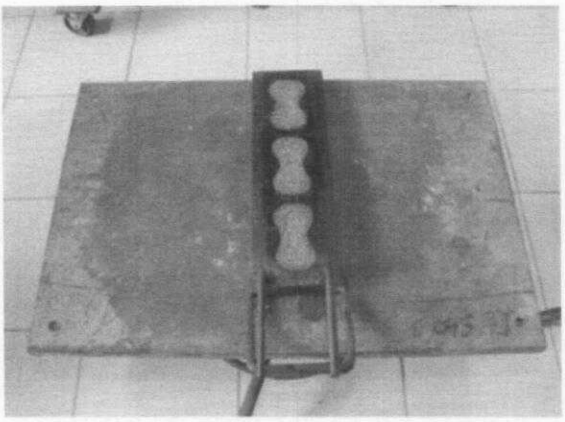
3.2.5.6 เตรียมทรายในข้อที่ 6 ใส่ภาชนะรองเพื่อเตรียมเทใส่แบบโลหะ

3.2.5.7 ตั้งอุณหภูมิเตา 250°C แล้วนำแบบโลหะไปอบในเตาดังภาพที่ 3.15 ใช้เวลาในการอบ 10 นาที

ภาพที่ 3.15 การนำแบบโลหะอบในเตา

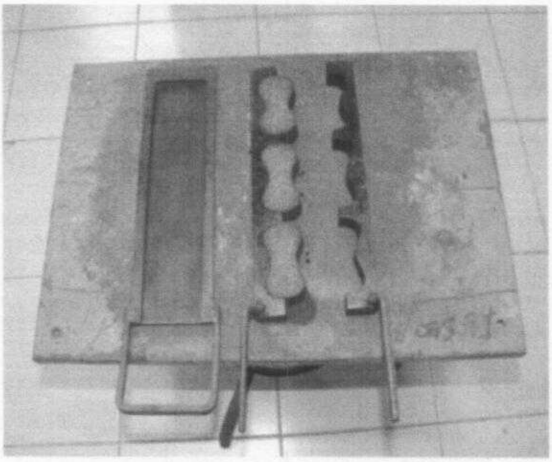
3.2.5.8 นำแบบโลหะออกมาจากเตา ใช้เทอร์โมคัปเปิลตรวจสอบอุณหภูมิให้ได้ 250°C

3.2.5.9 นำทรายที่เตรียมใส่ภาชนะในข้อที่ 7 เทใส่แบบโลหะโดยเทให้เต็มเบ้า ดังภาพที่ 3.16 แล้วเกลี่ยให้เรียบเสมอขอบบน ซึ่งเวลาเททรายใส่แบบโลหะจะต้องเทให้รวดเร็ว



ภาพที่ 3.16 การเททรายใส่แบบโลหะให้เต็มเบ้า

3.2.5.10 ปล่อยแบบโลหะให้เย็นตัวที่อุณหภูมิ 70 °C ซึ่งใช้เวลาในการเย็นตัว 50 นาที โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลตรวจเช็คอุณหภูมิ ทำการแกะแบบโลหะออกทีละด้าน ดังภาพที่ 3.17 แล้วนำแท่งทรายไปทดสอบหาค่าความต้านแรงดึง

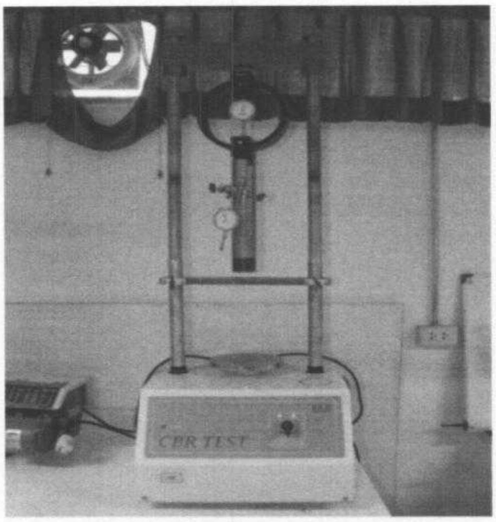


ภาพที่ 3.17 การแกะแบบโลหะ ขนาดยาว 70 mm. หนา 25 mm.

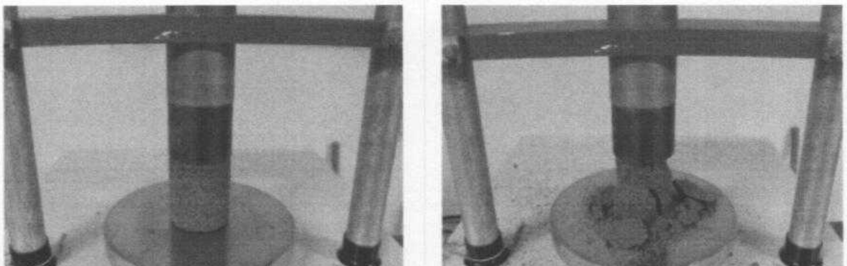
3.3 การทดสอบคุณสมบัติทางกล

3.3.1 การทดสอบความต้านแรงอัด

โดยการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความต้านแรงอัด CBR-Test 50 ยี่ห้อ ELE International ดังภาพที่ 3.18 ที่สามารถกดหา Strength ได้ตามความเหมาะสมของแท่งทราย ทำการทดสอบความต้านแรงอัด จำนวน 68 ตัวอย่าง อัดจนชิ้นงานแตกแล้วทำการอ่านค่าน้ำหนักกด จาก Gauge reading แล้วบันทึกผลการทดลอง และหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงในภาพที่ 3.19



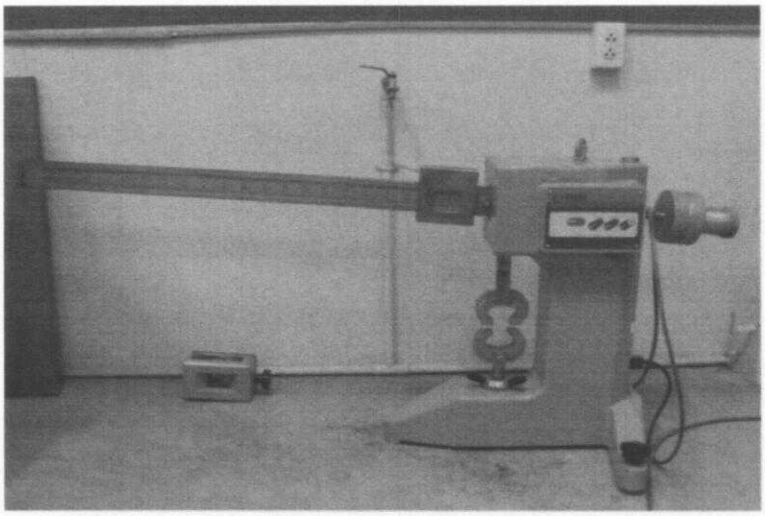
ภาพที่ 3.18 เครื่องทดสอบแรงอัด (CBR – Test 50 ยี่ห้อ ELE International)



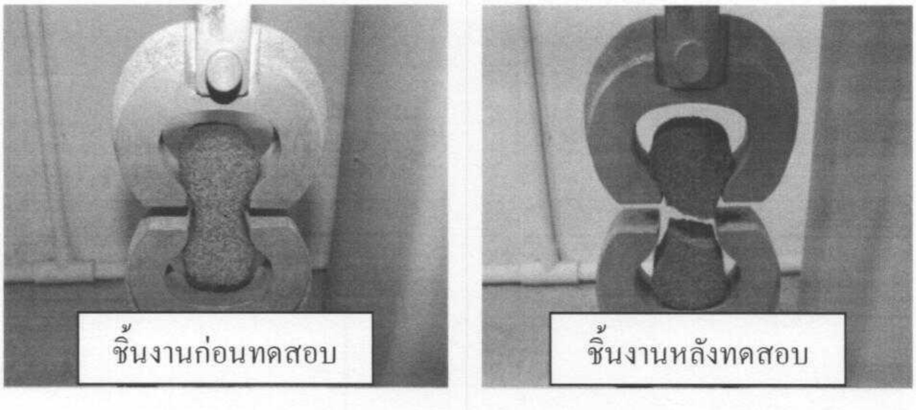
ภาพที่ 3.19 การทดสอบความต้านทานแรงอัด (Compressive Strength)

3.3.2 การทดสอบความต้านแรงดึง (tensile test)

การทดสอบแรงดึง เป็นการวัดความต้านทานของวัสดุ โดยการให้แรงดึงเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ (Static load) จนกระทั่งวัสดุขาดออกจากกัน โดยใช้เครื่องทดสอบ Controls (Automatic flexural tensile tester L 15) ดังแสดงในภาพที่ 3.20 ทำการทดสอบโดยเริ่มทดสอบชิ้นงานจากส่วนผสมของ Phenolic resin ตั้งแต่ 4-10 % (40-100 g) จำนวนชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ 39 ตัวอย่าง แล้วบันทึกผลการทดลอง และหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงในภาพที่ 3.21



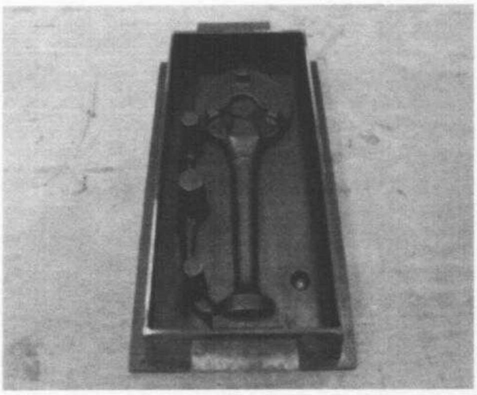
ภาพที่ 3.20 เครื่องทดสอบแรงดึง ยี่ห้อ Controls (Automatic flexural tensile tester L 15)



ภาพที่ 3.21 ชิ้นงานก่อนทดสอบ และหลังการทดสอบความต้านแรงดึง (Tensile Strength)

3.4 การทำแบบหล่อทรายเปลือก

ในการทดลองขั้นตอนนี้ ได้เริ่มทำการทดลองผสม ตามที่ทฤษฎีกำหนดไว้ คือ 4-10 % กับทราย โดยทำ 3 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 3.3 สูตรละ 3 ตัวอย่าง รวม 6 ชิ้น เทใส่แบบโลหะทั้งตัวบนและตัวล่าง ดังแสดงในภาพที่ 3.22 แล้วทำการแกะแบบทรายออกหลังจากนั้นจะนำแบบหล่อที่ได้ไปทำการชั่งน้ำหนัก



(ก) ตัวบน

(ข) ตัวล่าง

ภาพที่ 3.22 แบบโลหะ

ตารางที่ 3.3 การทดลองทำแบบหล่อทราย

สูตร	น้ำหนักรวม (g)	Resin (wt% of Sand)	Resin (g)	Sand (g)
1	5,000	4.5	215	4,785
2	5,000	6.5	305	4,695
3	5,000	8.5	391.5	4,609

วิธีการผสม : ในการทดลองนี้เป็นการผสมแบบร้อน

3.4.1 นำทรายที่ได้จากการคัดขนาด ซึ่งขนาดของทรายที่เลือกใช้ คือ ทรายตั้งแต่เบอร์ 40, 50, 70, 100, 140, 200, 270 ปริมาณ 5 kg. เพื่อเตรียมผสมกับเรซิ่น

3.4.2 เตรียมตัวประสานฟีโนลิคเรซิ่น โดยการใช้เครื่องบดให้เป็นผง

3.4.3 นำฟีโนลิคเรซิ่น มาตำให้ละเอียดเป็นผงอีกครั้งโดยการใช้ครกตำ แล้วนำฟีโนลิคเรซิ่น ไปร่อนตะแกรงเบอร์ 50 เพื่อให้มีความละเอียดสามารถแทรกตัวเข้าผสมกับเม็ดทรายได้ทั่วถึง

3.4.4 นำทรายมาผสมกับเรซิ่นในปริมาณต่างๆ โดยคนให้เข้ากันใช้เวลาในการคน 10 นาที

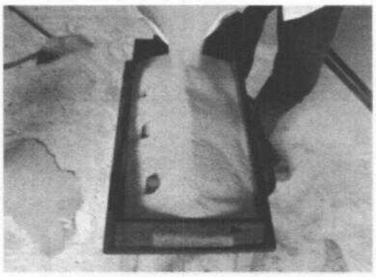
3.4.5 ตั้งอุณหภูมิเตา 150°C จากนั้นนำทรายที่ผสมกับฟีโนลิคเรซิ่น แล้วไปอบในเตาให้ได้ 150°C ใช้เวลาในการอบ 1 นาที

3.4.6 นำทรายที่ผ่านการอบ 1 นาที แล้วออกมาจากเตา ใช้เทอร์โมคัปเปิลเช็คอุณหภูมิอีกครั้งให้ได้ 150°C จากนั้นใช้ช้อนคนให้เข้ากันแล้วปล่อยให้เย็นตัว ใช้เวลาในการคน 15 นาที

3.4.7 ตั้งอุณหภูมิเตา 250°C แล้วนำแบบโลหะไปอบในเตา ใช้เวลาในการอบ 10 นาที

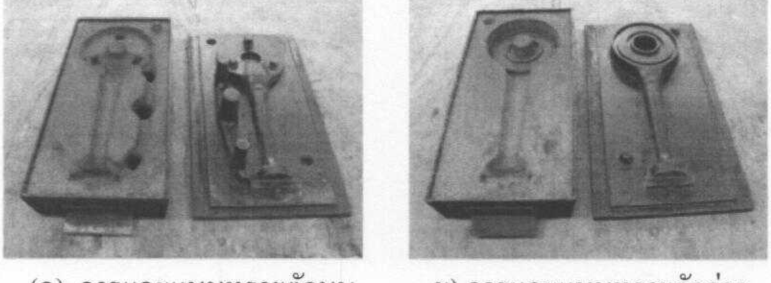
3.4.8 นำแบบโลหะออกมา ใช้เทอร์โมคัปเปิลตรวจสอบอุณหภูมิให้ได้ 250°C

3.4.9 นำทรายในข้อที่ 3.4.6 เทใส่แบบโลหะโดยเทให้ได้ระยะความสูงถึงขอบบนของแบบ ทั้งตัวบนและตัวล่าง แล้วเกลี่ยทรายให้เรียบเสมอขอบ ดังภาพที่ 3.23



ภาพที่ 3.23 การเททรายใส่แบบโลหะ

3.4.10 ปล่อยแบบโลหะให้เย็นตัว ซึ่งใช้เวลาในการเย็นตัว 45 นาที โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลตรวจเช็คอุณหภูมิ ให้ได้อุณหภูมิ 70°C แล้วนำไปแกะเอาแบบทรายออก ดังภาพที่ 3.24



(ก) การแกะแบบทรายตัวบน ข) การแกะแบบทรายตัวล่าง

ภาพที่ 3.24 การแกะแบบ

3.4.11 นำแบบหล่อทรายทั้งตัวบน และตัวล่างไปทำการชั่งน้ำหนัก แล้วเตรียมการเทหล่อน้ำโลหะ

3.5 การหล่อชิ้นงานเหล็กหล่อเทา

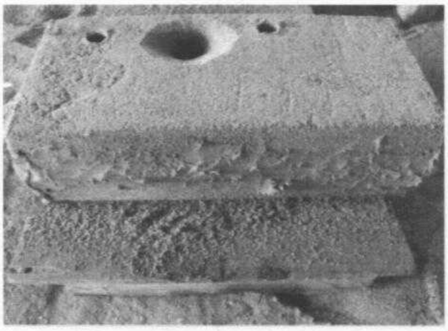
3.5.1 การเทหล่อน้ำโลหะ

การเทหล่อน้ำโลหะใส่แบบหล่อทราย โดยใช้วัสดุเพื่อทำชิ้นงานหล่อ คือ เหล็กหล่อเทา หลอมละลายในเตาหลอมที่อุณหภูมิ 1,530 $^{\circ}C$ แล้วเทใส่แบบหล่อตามส่วนผสมของฟีโนลิคเรซิ่น แต่ละสูตร จากนั้นทำการตรวจสอบอุณหภูมิเป็นช่วงๆ ว่าเกิดปฏิกิริยาอย่างไรกับแบบหล่อทราย และระยะเวลาในการเย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นทำการแกะชิ้นงานหล่อออกมา แล้วตรวจสอบแบบหล่อโดยทำการตรวจสอบลักษณะของทรายที่เกิดรอยไหม้ ตั้งแต่ช่วงที่สัมผัสกับน้ำโลหะระยะแรก ไปจนถึงระยะที่ความร้อนแผ่กระจายออกไปว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อสัมผัสกับความร้อนสูงๆ จากนั้นนำไปทำการรื้อแบบเพื่อนำชิ้นงานหล่อออกมา แล้วนำแบบหล่อทรายที่รื้อแบบเอาชิ้นงานหล่อออกแล้วไปชั่งน้ำหนัก เปรียบเทียบน้ำหนักและมิติของชิ้นงาน

3.5.2 ขั้นตอนการเทหล่อน้ำโลหะ

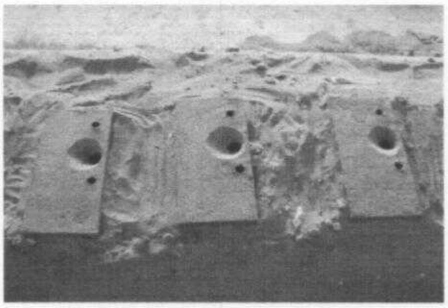
3.5.2.1 คว้านตรงบริเวณรูเทให้กว้างขึ้น เพื่อให้สามารถเทน้ำโลหะได้สะดวกและง่าย

3.5.2.1 นำแบบหล่อทรายตัวบนและตัวล่างวางประกบกัน โดยใช้ดินเหนียวและกราไฟท์ผสมกับน้ำพอให้ปั้นได้อุดบริเวณระหว่างรอยต่อของแบบหล่อแล้วปล่อยให้แห้ง ดังภาพที่ 3.25 เพื่อป้องกันน้ำโลหะไหลออกมาขณะเทหล่อ



ภาพที่ 3.25 การอุดด้วยดินเหนียวผสมกราไฟท์

3.5.2.1 นำแบบหล่อทรายไปฝังลงในรางทราย เพื่อเตรียมเทน้ำโลหะ ดังภาพที่ 3.26



ภาพที่ 3.26 การฝังแบบลงในทราย

3.5.2.1 ใช้วัสดุที่มีน้ำหนักกดทับแบบด้านบนเพื่อป้องกันน้ำโลหะไหลดันทะลุรั่วออกมา

3.5.2.1 เทน้ำโลหะลงไปในรูเทจนเต็ม แล้วปล่อยให้เย็นตัว ดังภาพที่ 3.27

ภาพที่ 3.27 การเทน้ำโลหะลงในแบบหล่อ

3.5.3 การรื้อแบบ

หลังจากแบบหล่อทรายเย็นตัวแล้วนำไปทำการรื้อแบบ เพื่อนำชิ้นงานหล่อออกมาวิเคราะห์ตรวจสอบ โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.5.3.1 นำแบบหล่อทรายขึ้นมาจากรางทราย แล้วเอาภาชนะรองแบบหล่อ

3.5.3.2 แกะเอาดินเหนียวที่ผสมกราไฟท์ตรงบริเวณที่อุดระหว่างรอยต่อของแบบออก

3.5.3.3 ดึงเอาแบบหล่อด้านบนออกก่อน จากนั้นแกะเอาชิ้นงานหล่อออกมา

หลังจากทำการรื้อแบบแล้วจะนำชิ้นงานไปทำการตรวจสอบตำหนิ จุดบกพร่องต่างๆ ขนาดชิ้นงาน และน้ำหนัก แล้วนำชิ้นงานมาทำการเปรียบเทียบกันทั้ง 3 สูตรต่อไป

บทที่ 4
ผลการทดลอง

งานวิจัยการหล่อแบบเปลือกด้วยทรายแม่น้ำโขง โดยใช้ทรายตัวอย่างแม่น้ำโขงจังหวัดเลย มาทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมีและกล ผลการทดสอบสมบัติทรายตามมาตรฐานจะทำให้ทราบความเหมาะสมในการนำทรายไปทำแบบและใช้งานร่วมกับตัวประสานนั้น ซึ่งมีตั้งแต่การทดสอบขนาดความละเอียดของเม็ดทราย การหาปริมาณของดินเหนียว การหาส่วนประกอบทางเคมี และการหาอัตราของส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อทำแบบ ซึ่งจะทำให้สามารถกำหนดส่วนผสมได้ตามปริมาณที่เหมาะสม สามารถช่วยลดของเสีย และต้นทุนในการผลิตได้อย่างเหมาะสม ผลการทดลองแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ

4.1.1 ผลการทดสอบขนาดความละเอียดของเม็ดทราย (Fineness test)

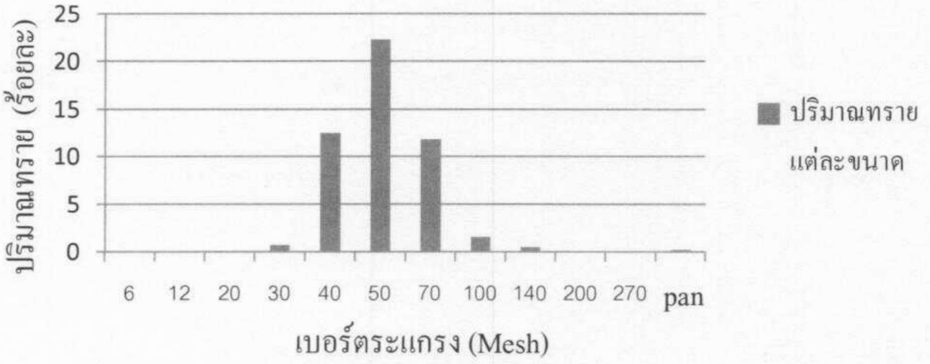
จากการทดสอบขนาดความละเอียดของเม็ดทราย พบว่า ปริมาณทรายที่ค้างบนตะแกรงมากที่สุด คือเบอร์ 50 = 22.34 g (44.68%) รองลงมาคือ เบอร์ 40 = 12.50 g (25.00%), เบอร์ 70 = 11.87 g (23.74%), เบอร์ 100 = 1.57 g (3.14%), เบอร์ 30 = 0.74 g (1.48%), เบอร์ 140 = 0.48 g (0.97%), เบอร์ 200 = 0.130 g (0.260%), เบอร์ 270 = 0.06 g (0.12%) และ เบอร์ 20 = 0.04 g (0.09%) ค่า AFS. Grain fineness number จากสมการที่ 1 มีค่าเท่ากับ 41.53 ผลดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลขนาดความละเอียดของเม็ดทราย

ASTM E-11-1986		Amount Retained on Sieve		Multiplier	Product
mm.	**US Mesh**	**Grams**	**Percent (%)**		
3.35	6	-	-	3	-
1.7	12	-	-	5	-
0.85	20	0.04	0.08	10	0.8
0.6	30	0.74	1.48	20	29.6
0.425	40	12.501	25.00	30	750
0.3	50	22.34	44.68	40	1,787.2
0.212	70	11.87	23.74	50	1,187
0.15	100	1.57	3.14	70	219.8
0.106	140	0.48	0.96	100	96
0.075	200	0.13	0.26	140	36.4
0.053	270	0.06	0.12	200	24
	Pan	-	-	300	-
TOTALS		49.73	99.46		4,131

หมายเหตุ : Pan ~ 0.269 ซึ่งไม่สามารถวัดได้เนื่องจากเป็นฝุ่นที่ติดอยู่กับตระแกรงร่อน

$$\text{AFS. Grain fineness number} = \frac{4,131}{99.46} = 41.53$$



ภาพที่ 4.1 กราฟร้อยละการกระจายตัวของเม็ดทราย

จากภาพที่ 4.1 การกระจายตัวของเม็ดทรายแม่น้ำโขง ตั้งแต่เบอร์ 40-70 มีการกระจายตัวมากที่สุด และมีปริมาณมากบนตะแกรง ดังนั้นจึงเลือกขนาดของเม็ดทรายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ตั้งแต่ขนาด 40 - 270 AFS. หรือขนาดตั้งแต่ 0.425 mm. ขึ้นรูปทำชิ้นงานทดสอบและแบบหล่อ

4.1.2 ผลการทดสอบหาปริมาณดินเหนียว (AFS. Clay tester)

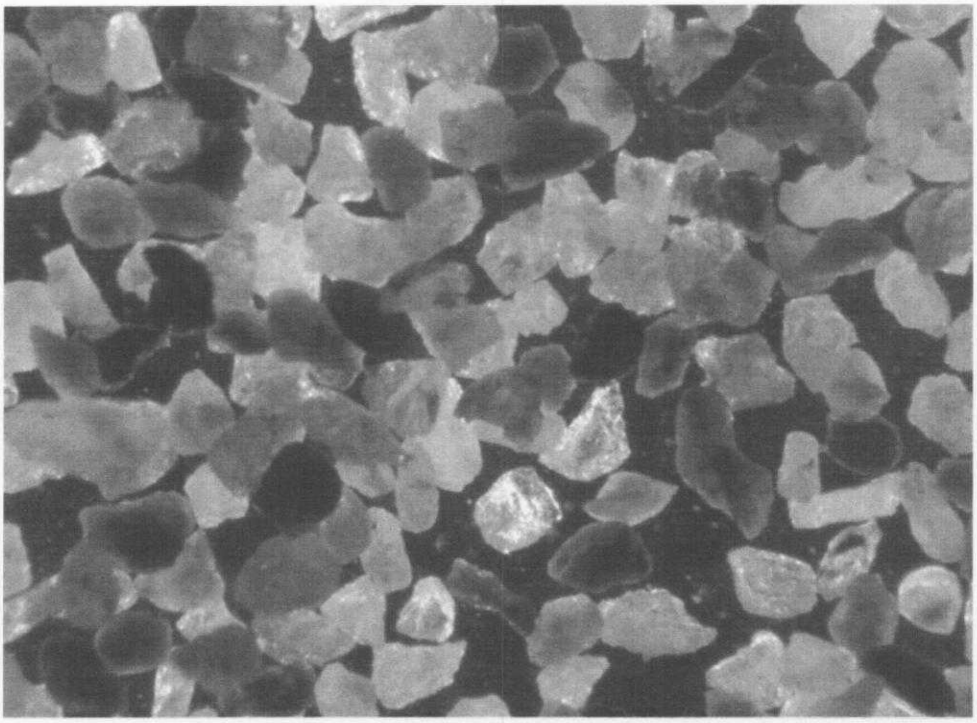
จากการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวของทรายแม่น้ำโขง พบว่า ได้ค่าร้อยละ 1.02 ซึ่งจากการทดลองนำตัวอย่างทรายแม่น้ำโขง 3 ตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักก่อนนำไปอบ ปริมาณ 50 g จากนั้นนำไปทำการทดสอบตามวิธีการของ AFS. แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 105°C ใช้เวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักหลังอบ ทำการทดลองทั้งหมด 4 ครั้ง ได้น้ำหนักที่ใกล้เคียงกันกับก่อนอบ ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบหาปริมาณดินเหนียว (AFS. Clay tester)

ตัวอย่าง ทรายแม่น้ำโขง	น้ำหนักทราย ก่อนอบ (g)	น้ำหนักทรายหลังอบ (g)				% ดินเหนียว
		ครั้งที่ 1 (1 ชม.)	ครั้งที่ 2 (1.30 ชม.)	ครั้งที่ 3 (2 ชม.)	ครั้งที่ 4 (2.30 ชม.)	
1	50	49.55	49.50	49.49	49.49	1.02
2	50	49.56	49.50	49.49	49.49	1.02
3	50	49.55	49.51	49.49	49.49	1.02
ค่าเฉลี่ย	50	49.55	49.50	49.49	49.49	1.02

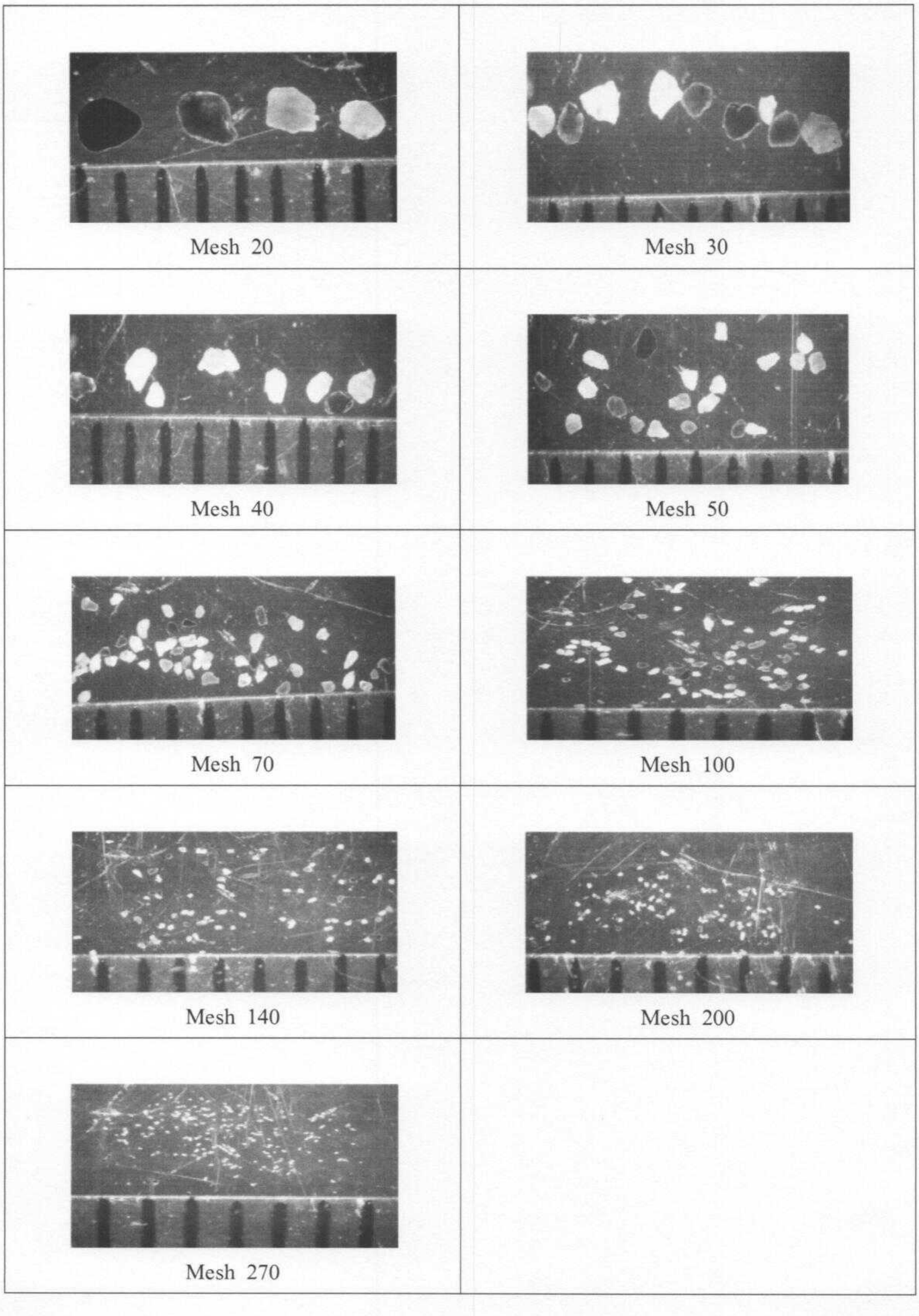
4.1.3 ผลการตรวจสอบลักษณะรูปร่างของเม็ดทราย

จากการตรวจสอบรูปร่างภายนอกของเม็ดทรายที่ยังไม่คัดแยกขนาด (ทรายใหม่) ด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า สีของเม็ดทรายจะมีทั้งสีเทา สีขาว สีเหลืองอ่อน และสีดำ ลักษณะรูปร่างของเม็ดทรายมีทั้งรูปร่างที่เป็นเม็ดกลม และเม็ดเหลี่ยมปนกัน ผลดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ลักษณะรูปร่างของเม็ดทรายแม่น้ำโขง จังหวัดเลย ที่ยังไม่คัดแยกขนาด

เมื่อนำไปทำการคัดแยกขนาดตามขนาดเบอร์ตะแกรง แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Olysia M3 Image analysis พบว่า เม็ดทรายมีรูปร่างค่อนข้างกลม ดังแสดงในภาพที่ 4.3 แสดงรูปร่างเม็ดทรายด้วยกำลังขยาย 32 เท่า พบว่าเม็ดทรายมีรูปร่างที่ต่างกันหลากหลาย



ภาพที่ 4.3 รูปร่างเม็ดทรายที่ผ่านการคัดแยกขนาด Mesh 20 – 270

4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

4.2.1 ผลวิเคราะห์ธาตุโดยการวาววรังสีเอกซ์ (WD-XRF)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแต่ละชนิดที่ผสมอยู่กับทรายแม่น้ำโขง โดยการนำทรายที่ผ่านการหาขนาดความละเอียด ที่ค้างบนตระแกรงเบอร์ 40, 50 และ 70 เพื่อเป็นตัวอย่างทดสอบในการวิเคราะห์ พบว่า มีธาตุที่ผสมอยู่ในทรายแม่น้ำโขง ซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบออกไซด์ คือ ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) 88.43%, อะลูมิน่าออกไซด์ (Al_2O_3) 7.60%, โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) 2.48%, ฟอสฟอรัสออกไซด์ (P_2O_5) 1.29%, แคลเซียมออกไซด์ (CaO) 1.14%, แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) 0.64% และไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) 0.39% ซึ่งในการทำแบบหล่อทรายต้องการทรายที่มีปริมาณ SiO_2 ตั้งแต่ 90% ขึ้นไป แต่ทรายแม่น้ำโขงมี SiO_2 ใกล้เคียงมาก จึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ทำเป็นแบบหล่อได้เช่นกัน ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุของทรายแม่น้ำโขง

Analysis	Compound formula	Concentration (%)
Si	SiO_2	88.43
Al	Al_2O_3	7.60
K	K_2O	2.48
P	P_2O_5	1.29
Ca	CaO	1.14
Mg	MgO	0.64
Ti	TiO_2	0.39

4.2.2 ผลการหาค่า PH

ผลการทดสอบความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของทราย ซึ่งค่า pH อาจเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำแบบหล่อเปลือก ซึ่งจากการทดลองพบว่า ทรายแม่น้ำโขงจังหวัดเลย มีค่า pH = 8.36 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่าง ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบค่า PH

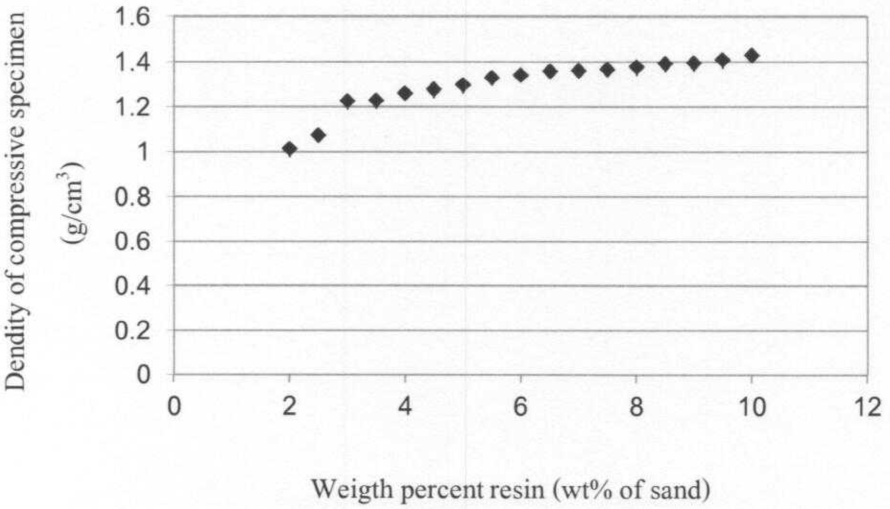
ชนิดทราย	จำนวนครั้งการทดสอบ	ค่า PH	อุณหภูมิ	ค่า pH เฉลี่ย
ทรายแม่น้ำโขง จ.เลย	1	8.37	31.5 °C	8.36
	2	8.36	31.5 °C	
	3	8.36	31.5 °C	

4.2.3 ผลการศึกษาการทดสอบหาความสามารถในการซึมผ่าน

จากการทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของอากาศ โดยนำชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปเป็นรูปทรงกระบอกที่มีส่วนผสมของตัวประสานที่แตกต่างกันไปทดสอบ พบว่า ที่ส่วนผสมของตัวประสานตั้งแต่ 2% (20 g) ซึ่งเป็นส่วนผสมที่ใช้ตัวประสานน้อยสุดนั้น ได้ค่าการซึมผ่านที่สูง คือ 856 และค่าความหนาแน่นที่ได้มีค่าต่ำ = 1.013 และในทางกลับกันที่ส่วนผสมที่ใช้ตัวประสานมากนั้น 10% (100 g) จะได้ค่าการซึมผ่านที่ต่ำลง คือ 501 และค่าความหนาแน่นที่ได้มีค่าสูง = 1.428 ผลแสดงในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.5 ผลความสามารถในการซึมผ่านอากาศ น้ำหนัก และความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ

ปริมาณ Resin		การซึมผ่านอากาศ	Weight	Density
(g)	(wt% of Sand)	เฉลี่ย	เฉลี่ย	เฉลี่ย (g/cm^3)
20	2	856 ± 0	99.44	1.013
25	2.5	839.5 ± 0.58	105.31	1.073
30	3	813.25 ± 0.5	120.41	1.227
35	3.5	797.5 ± 0.58	120.68	1.229
40	4	785.5 ± 0.58	123.76	1.261
45	4.5	778.5 ± 0.58	125.44	1.278
50	5	772.5 ± 0.58	127.55	1.299
55	5.5	751.5 ± 0.58	130.57	1.330
60	6	731.25 ± 0.5	131.61	1.341
65	6.5	704.75 ± 0.5	133.36	1.359
70	7	661.75 ± 0.5	133.52	1.360
75	7.5	639.25 ± 0.5	134.26	1.368
80	8	617 ± 1.15	135.17	1.377
85	8.5	592.5 ± 0.57	136.62	1.392
90	9	561.5 ± 0.57	137.03	1.396
95	9.5	535.25 ± 0.5	138.21	1.408
100	10	501 ± 1.15	140.16	1.428



ภาพที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของชิ้นทดสอบต่อปริมาณเรซิ่น

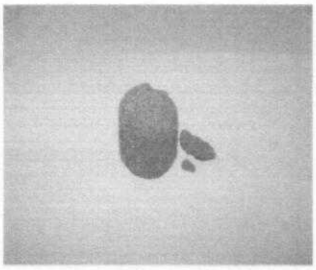
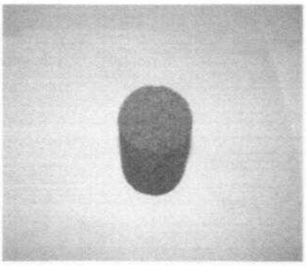
จากตาราง 4.5 เมื่อปริมาณเรซิ่นเพิ่มขึ้น จะทำให้น้ำหนักเพิ่มส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ และจากกราฟ 4.4 พบว่าเมื่อน้ำหนักเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นโดยเพิ่มจาก 99.44 g ถึง 140.16 g คิดเป็นค่าเพิ่มขึ้น 41% เมื่อเรซิ่นเพิ่มจาก 2-10 แต่จะผกผันกับค่าความโปร่งอากาศที่เมื่อปริมาณเรซิ่นเพิ่มขึ้นค่าความโปร่งอากาศจะลดลง

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล

4.3.1 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบความต้านแรงอัด

หลังจากทำการผสมทรายกับตัวประสานแล้วนำไปขึ้นรูป ชิ้นงานที่ได้จากการผสมแต่ละสูตร ที่ส่วนผสมต่ำสุด คือ ที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น 2% (20 g) ต่อทราย 1,000 g ที่อุณหภูมิ 250 °C จะเสียรูปทรงไป ขึ้นรูปไม่ได้แตกออกเป็นชิ้น แต่ชิ้นงานที่ส่วนผสมที่เพิ่มขึ้นมา คือ ที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น 2.5% (25 g) ถึง 10% (100 g) ต่อทราย 1,000 g ที่อุณหภูมิ 250 °C สามารถขึ้นรูปได้โดยไม่แตกเสียหาย ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างชิ้นงาน ส่วนผสม และผลที่ได้ของชิ้นทดสอบแรงอัด

ลักษณะชิ้นงาน	ส่วนผสม (ฟีโนลิคเรซิ่น)	ผลที่ได้
	2% (20 g)	ชิ้นงานแตกร่วนออกเป็นชิ้นๆ ไม่แข็งแรง
	2.5-10% (25-100 g)	ชิ้นงานไม่แตกเสียหายสามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นงานได้ดี รูปร่างเป็นทรงกระบอก มีขนาดความสูง 50 mm. และเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm.

4.3.2 ผลการทดสอบความต้านแรงอัด

จากการทดสอบความต้านทานแรงอัด จำนวน 68 ตัวอย่าง ความต้านทานแรงอัดมีแนวโน้มสูงขึ้น ตามอัตราส่วนผสมของตัวประสานในปริมาณต่างๆ ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7

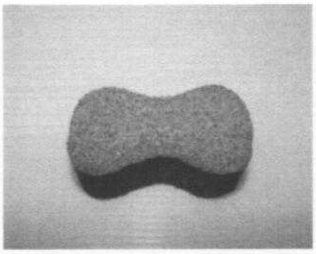
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบหาความต้านแรงอัด

ปริมาณ Resin		Compressive Strength (N/cm^2)	Compressive Strength (kg/cm^2)
(g)	(wt% of Sand)		
20	2	139	14.2
25	2.5	185.9	18.96
30	3	215.32	21.94
35	3.5	280.7	28.61
40	4	341.8	34.84
45	4.5	389	39.65
50	5	442.03	45.05
55	5.5	484.8	49.41
60	6	529.03	53.92
65	6.5	564	57.49
70	7	591	60.24
75	7.5	630	64.22
80	8	688.16	70.14
85	8.5	759.7	77.44
90	9	844.04	86.03
95	9.5	896.8	91.41
100	10	974.38	99.32

4.3.3 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบความต้านแรงดึง

เมื่อทำการผสมทรายกับตัวประสานแล้ว นำไปทำการขึ้นรูปเป็นรูปทรงทดสอบแรงดึง ชิ้นงานที่ได้จากการผสมแต่ละสูตรนั้น ที่ส่วนผสมต่ำสุด คือ ที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น 4% (40 g) ถึงที่ส่วนผสมมากสุด คือ 10% (100 g) ต่อทราย 1,000 กรัม ที่อุณหภูมิ 250°C สามารถขึ้นรูปเป็นรูปทรงทดสอบแรงดึงได้โดยไม่แตกเสียหาย ตัวอย่างของชิ้นงานทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ตัวอย่างชิ้นงาน ส่วนผสม และผลที่ได้ของชิ้นทดสอบแรงดึง

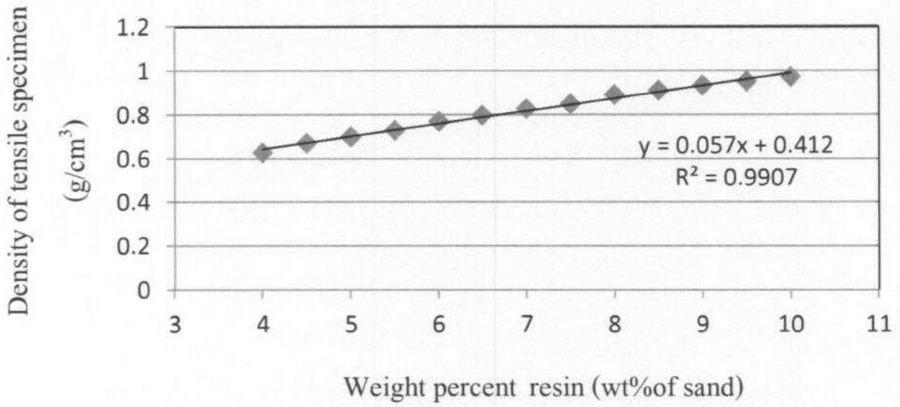
ลักษณะชิ้นงาน	ส่วนผสม (ฟีโนลิคเรซิ่น)	ผลที่ได้
	4-10% (40-100 g)	ชิ้นงานไม่เกิดการแตกเสียหาย รูปร่างชิ้นงานเป็นรูปทรงตามแบบโลหะสำหรับขึ้นรูป มีขนาดความยาว 70 mm. และมีความหนา 25 mm.

4.3.4 ผลการทดสอบความต้านแรงดึง

จากการทดสอบความต้านแรงดึงด้วยเครื่อง Controls (automatic flexural tensile tester L 15) ทำการทดสอบชิ้นงานจำนวน 39 ตัวอย่าง พบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มจะเพิ่มสูงขึ้นตามน้ำหนัก และความหนาแน่น (Density) ก็มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมเช่นกัน ผลดังแสดงในตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.5 และ 4.6

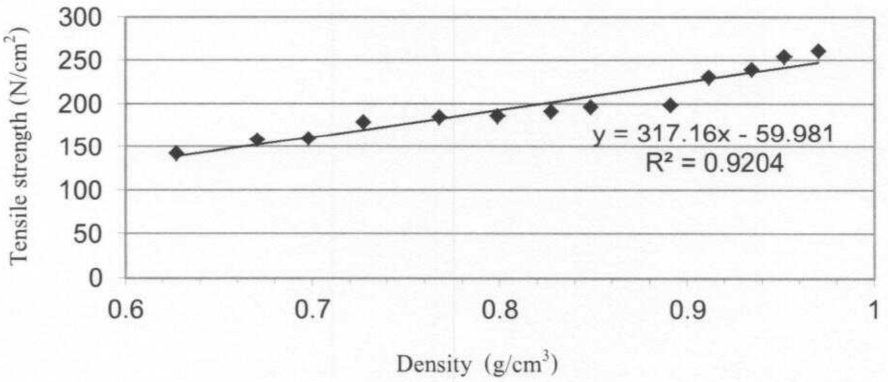
ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบหาความต้านแรงดึง

ปริมาณ Resin		Tensile Strength	Weight	Density	Tensile Strength
(g)	(wt% of Sand)	(N/cm^2)	เฉลี่ย	(g/cm^3)	(kg/cm^2)
40	4	142.22	61.54	0.627	14.49
45	4.5	159.04	65.8	0.670	16.21
50	5	160.22	68.49	0.697	16.33
55	5.5	179.75	71.34	0.727	18.32
60	6	185.62	75.34	0.767	18.92
65	6.5	187.14	78.36	0.798	19.07
70	7	192.18	81.19	0.827	19.59
75	7.5	197.11	83.25	0.848	20.09
80	8	199.46	87.43	0.891	20.33
85	8.5	230.86	89.45	0.911	23.53
90	9	239.90	91.69	0.934	24.45
95	9.5	254.81	93.4	0.951	25.97
100	10	261.48	95.2	0.970	26.65



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของปริมาณเรซิ่นและความหนาแน่นของชิ้นงานทดสอบความต้านแรงดึง

จากกราฟที่ 4.5 พบว่า เมื่อปริมาณเรซิ่นเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาที่ค่า 4% เรซิ่น จะได้ค่าความหนาแน่น = 0.627 g/cm^3 และเพิ่มขึ้นเป็น 95.2 เมื่อปริมาณเรซิ่นเพิ่มขึ้นเป็น 10% คิดเป็น 54.7%



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความต้านทานแรงดึง

จากตารางที่ 4.9 เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จะทำให้น้ำหนักของชิ้นงานทดสอบและความต้านแรงดึงเพิ่ม และจากกราฟที่ 4.6 พบว่าเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความต้านแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาที่ค่า 4% เรซิ่น จะได้ค่า Tensile Strength = 142.22 N/cm^2 และเพิ่มขึ้นเป็น 261.48 N/cm^2 เมื่อปริมาณเรซิ่นเพิ่มขึ้นเป็น 10% คิดเป็น 41.63%

4.4 ผลการทำแบบหล่อทรายเปลือก

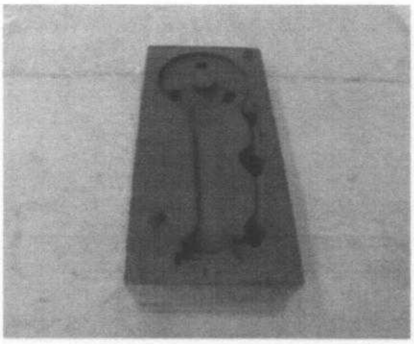
4.4.1 การทำแบบหล่อทรายเปลือก

จากการทดลองผสมตัวประสานกับทรายโดยใช้ส่วนผสมตามที่ทฤษฎีกำหนดไว้ คือ 4-10% ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.10 คือ

ตารางที่ 4.10 ผลการทำแบบหล่อทราย

Resin Wt % of sand	Resin (g)	Sand (g)	Inspection	ขนาด+มิติของแบบหล่อ Øหัว,หาง x ยาว x หนา	หมายเหตุ
4.5	215	4,785	ผิวหยาบ	13,5.4 x 34.5 x 3.4 cm.	แกะแบบง่าย, เม็ดทรายหลุด
6.5	305	4,695	ผิวเรียบ	13,5.4 x 34.5 x 3.4 cm.	แกะแบบง่าย, เม็ดทรายไม่หลุด
8.5	391.5	4,609	ผิวเรียบ	13,5.4 x 34.5 x 3.4 cm.	แกะแบบยาก, เม็ดทรายไม่หลุด

จากตารางที่ 4.10 แบบหล่อทรายที่ได้ในแต่ละส่วนผสมจะสามารถขึ้นรูปได้ที่อุณหภูมิ 250 °C ทั้งตัวบนและตัวล่าง มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าลักษณะการทรงตัวตั้งฉากกับระดับพื้น ผลดังแสดงในภาพที่ 4.7



(ก) ตัวบน

(ข) ตัวล่าง

ภาพที่ 4.7 ชิ้นงานตัวอย่าง

4.4.2 ผลการนำแบบหล่อทรายไปชั่งน้ำหนัก ก่อนเทหล่อน้ำโลหะ

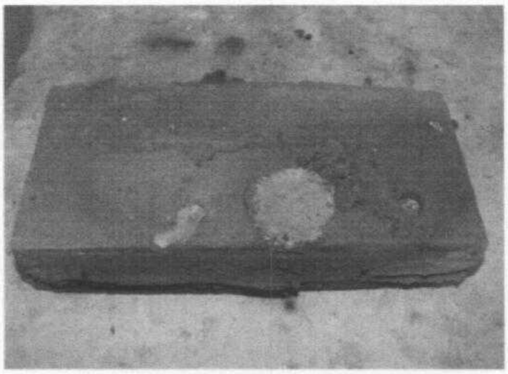
จากการทดสอบนำแบบหล่อที่ขึ้นรูปได้ทั้งตัวบนและตัวล่าง ไปทำการชั่งน้ำหนักเพื่อให้ทราบค่าน้ำหนักของแบบหล่อก่อนนำไปเทหล่อน้ำโลหะ พบว่า ได้ค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนผสมของตัวประสาน ผลดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 น้ำหนักของแบบหล่อทราย ก่อนเทหล่อน้ำโลหะ

เรซิ่น (wt% of Sand)	**ก่อนเท**			
	ชิ้นที่	**ตัวบนน้ำหนัก (kg)**	**ตัวล่างน้ำหนัก (kg)**	**น้ำหนักเฉลี่ย (kg)**
4.5%	1	12.2	12.3	12.30
	2	12.3	12.2	
	3	12.3	12.3	
6.5%	1	14.2	14.4	14.30
	2	14.2	14.3	
	3	14.3	14.4	
8.5%	1	16.5	16.3	16.38
	2	16.3	16.4	
	3	16.5	16.3	

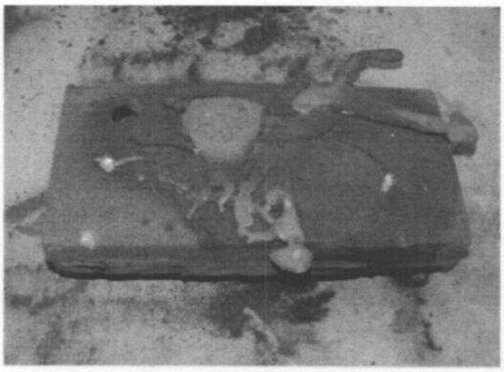
4.5 การขึ้นรูปเหล็กหล่อเทา

การเทหล่อน้ำโลหะ โดยใช้เหล็กหล่อเทา ที่อุณหภูมิหลอมละลาย1,530 $^{\circ}$C ใส่ในแบบหล่อทรายตามสูตรที่มีส่วนผสมของฟีโนลิคเรซิ่น แต่ละสูตร พบว่า หลังจากเทหล่อแล้วปล่อยให้เย็นตัว แบบหล่อมีลักษณะรูปทรงทั้งตัวบนและตัวล่าง อยู่ในสภาพเดิม แบบหล่อทรายสามารถต้านทานอุณหภูมิความร้อนได้ โดยไม่มีรอยแตก รอยรั่วซึม การบิดตัว และการโก่งตัว ผลดังแสดงในภาพที่ 4.8, 4.9 และ 4.10



ภาพที่ 4.8 แบบหล่อทรายหลังจากเทหล่อน้ำโลหะ ที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น 4.5% (215 g) กับทราย 4,785 g

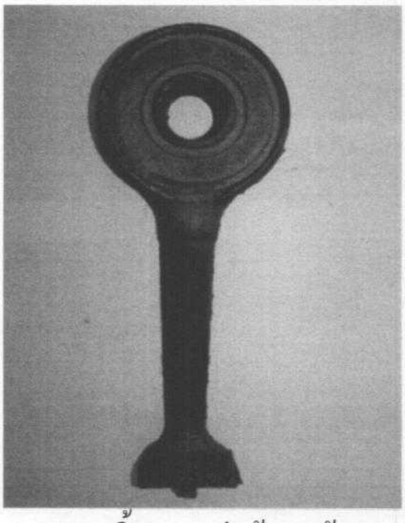
ภาพที่ 4.9 แบบหล่อทรายหลังจากเทหล่อน้ำโลหะ ที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น 6.5% (305 g) กับทราย 4,695 g



ภาพที่ 4.10 แบบหล่อทรายหลังจากเทหล่อน้ำโลหะ ที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น 8.5% (391.5 g) กับทราย 4,609 g

4.5.1 การรื้อแบบ

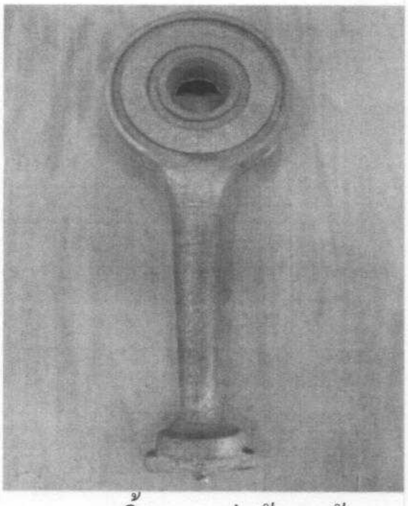
หลังจากนำแบบหล่อทรายที่เย็นตัวแล้วมาทำการรื้อแบบ ตามส่วนผสมของตัวประสานแต่ละสูตร พบว่า ชิ้นงานหล่อที่ได้จากการรื้อแบบ มีสภาพสมบูรณ์ตามขนาดของแบบพิมพ์ แต่ลักษณะผิวของชิ้นงานหล่อจากการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยสายตานั้น มีสภาพผิวที่หยาบและละเอียดแตกต่างกันออกไป ผลดังแสดงในภาพที่ 4.11, 4.12 และ 4.13



(ก) ชิ้นงานหล่อด้านหน้า

(ข) ชิ้นงานหล่อด้านหลัง

ภาพที่ 4.11 ชิ้นงานหล่อที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น 4.5% (215 g) สภาพผิวหยาบ

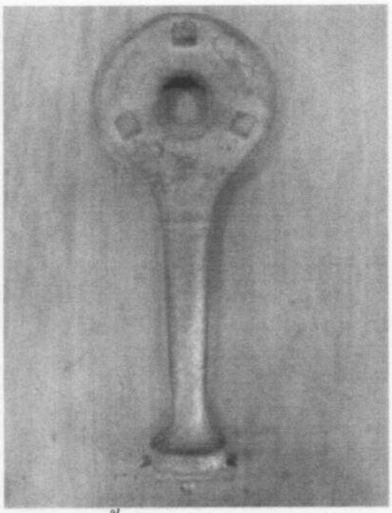


(a) ชิ้นงานหล่อด้านหน้า

(b) ชิ้นงานหล่อด้านหลัง

ภาพที่ 4.12 ชิ้นงานหล่อที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น 6.5% (305 g) สภาพผิวค่อนข้างเรียบ

(a) ชิ้นงานหล่อด้านหน้า



(b) ชิ้นงานหล่อด้านหลัง

ภาพที่ 4.13 ชิ้นงานหล่อที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น 8.5% (391.5 g) สภาพผิวค่อนข้างเรียบ

4.5.2 ผลการนำแบบหล่อทรายไปชั่งน้ำหนัก หลังเทหล่อน้ำโลหะ

จากการทดสอบนำแบบหล่อทรายที่แกะชิ้นงานหล่อออกแล้ว หลังเทหล่อ ทั้งตัวบนและตัวล่างไปชั่งหาน้ำหนัก ได้ค่าน้ำหนักที่ลดลงจากก่อนเทหล่อ ผลดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 น้ำหนักของแบบหล่อทรายที่แกะชิ้นงานหล่อออก หลังเทหล่อน้ำโลหะ

เรซิ่น (wt % of Sand)	**หลังเท**			
	ชิ้นที่	**ตัวบนน้ำหนัก (kg)**	**ตัวล่างน้ำหนัก (kg)**	**น้ำหนักเฉลี่ย (kg)**
4.5 %	1	12	12.1	12.03
	2	12	12	
	3	12.1	12	
6.5 %	1	14	14	14.08
	2	14.3	14	
	3	14	14.2	
8.5 %	1	16.1	16.1	16.13
	2	16.1	16.2	
	3	16.2	16.1	

จากตารางที่ 4.12 น้ำหนักที่ลดลงคือน้ำหนักที่หายไปของเปอร์เซ็นต์เรซิ่น ในขณะที่เทน้ำโลหะใส่แบบหล่อทราย ซึ่งเกิดการเผาไหม้จนเรซิ่นกลายเป็นแก๊สและขี้เถ้า

4.5.3 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบการนำแบบหล่อทรายไปชั่งน้ำหนัก ก่อนเทและหลังจากเทหล่อโลหะ

จากการนำแบบหล่อที่ขึ้นรูปได้ก่อนเทหล่อน้ำโลหะ และแบบหล่อหลังเทน้ำโลหะแล้วแกะชิ้นงานออกทั้งตัวบนและตัวล่าง ไปชั่งหาค่าน้ำหนักแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน เพื่อให้ทราบค่าน้ำหนักที่หายไป ได้ค่าน้ำหนักดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 น้ำหนักแบบหล่อที่ขึ้นรูปได้ก่อนเทหล่อ นำมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักแบบหล่อที่แกะชิ้นงานออกแล้ว ทั้งตัวบนและตัวล่างหลังเทหล่อน้ำโลหะ

เรซิ่น (wt% of Sand)	ก่อนเท				หลังเท				น้ำหนักที่หายไปเฉลี่ย (kg)
	ชิ้นที่	ตัวบน น้ำหนัก (kg)	ตัวล่าง น้ำหนัก (kg)	น้ำหนักเฉลี่ย (kg)	ชิ้นที่	ตัวบน น้ำหนัก (kg)	ตัวล่าง น้ำหนัก (kg)	น้ำหนักเฉลี่ย (kg)	
4.5 %	1	12.2	12.3	12.3	1	12	12.1	12.03	0.27
	2	12.3	12.2		2	12	12		
	3	12.3	12.3		3	12.1	12		
6.5 %	1	14.2	14.4	14.3	1	14	14	14.08	0.22
	2	14.2	14.3		2	14.3	14		
	3	14.3	14.4		3	14	14.2		
8.5 %	1	16.5	16.3	16.38	1	16.1	16.1	16.13	0.25
	2	16.3	16.4		2	16.1	16.2		
	3	16.5	16.3		3	16.2	16.1		

บทที่ 5
วิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลอง และการทดสอบในด้านต่างๆ ในการหล่อแบบเปลือกด้วยทรายแม่น้ำโขง โดยได้ใช้ทรายแม่น้ำโขงจากจังหวัดเลย มาเป็นส่วนประกอบหลัก โดยผ่านการวิเคราะห์สมบัติทรายที่ใช้ในการทดสอบ ตามมาตรฐานของ AFS. และส่วนผสมระหว่างตัวประสานกับทรายที่เหมาะสม ได้ผลวิเคราะห์ดังนี้

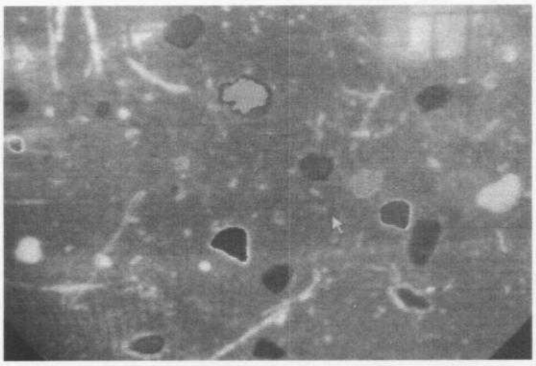
5.1 สมบัติทรายจากแม่น้ำโขงบริเวณจังหวัดเลย สำหรับทำแบบหล่อ

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ จากนั้นทำการทดสอบหาความละเอียดของเม็ดทราย โดยขนาดและการกระจายตัวของทรายแม่น้ำโขงตาม AFS. Fineness number = 41.53 ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าแหล่งทรายอื่นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับ ทรายจากทรายระยอง ทรายจันทบุรี ทรายจังหวัดตราด ทรายจังหวัดชุมพร ทรายจังหวัดสงขลา ที่มีขนาดและการกระจายตัวตาม AFS. Fineness number เท่ากับ 68, 51, 59, 60 และ 68 จากการทดลองปริมาณของทรายแม่น้ำโขงที่กระจายตัวบนตระแกรงมากสุดคือ Mesh no. 50 ทั้งนี้เนื่องจากทฤษฏีได้แนะนำไว้ว่าทรายสำหรับทำแบบหล่อที่ดีควรมีการกระจายตัวที่ 3 ตะแกรงหลัก คือ Mesh no. 35, 48 และ 70 รวมกันแล้วไม่ต่ำกว่า 75% (บรรเจิด แสงจันทร์, 2544) จึงจะเหมาะในการนำไปทำแบบหล่อ แต่การกระจายตัวบนตระแกรงของทรายแม่น้ำโขงจะอยู่ในช่วง Mesh no. 40, 50 และ 70 ซึ่งจะอยู่ระหว่างค่า 40 – 70 AFS. มีปริมาณรวมกันแล้ว = 93% ซึ่งมากกว่า 75% ตามที่แนะนำ จึงถือได้ว่ามีการกระจายตัวที่ดี มีขนาดเม็ดทรายที่ไม่เหมาะสมอยู่เพียงเล็กน้อย จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ทำแบบหล่อ ซึ่งหากใช้ทรายหล่อที่มีขนาดเม็ดเล็กเกินไปจะต้องใช้ตัวประสานมากกว่าเม็ดทรายขนาดใหญ่ และการใช้เม็ดทรายขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้ผิวสำเร็จของชิ้นงานหล่อไม่เรียบ ซึ่งขนาดความละเอียดของเม็ดทรายจะเป็นข้อมูลในการนำไปใช้ประโยชน์ ในการกำหนดปริมาณส่วนผสมของตัวประสาน และจะมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติต่างๆ ของแบบหล่อ เช่น ความโปร่ง ความแข็งแรง เป็นต้น ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทดสอบหาขนาดของทรายที่จะนำมาทำแบบหล่อ

ส่วนปริมาณฝุ่น (Dust content) ตามหัวข้อที่ 2.6.6 ได้ระบุไว้ว่าควรมีไม่เกิน 1.5% ที่ระหว่าง Mesh 150 ถึง Pan เนื่องจากหากมีปริมาณฝุ่นมากเกินไปจะทำให้ต้องใช้น้ำยาเคมีในปริมาณที่สูง เนื่องจากฝุ่นจะเข้าไปจับกับน้ำยาเคมีก่อน รวมทั้งทำให้ได้ความแข็งแรงของแบบทรายที่ต่ำ แต่จากการทดสอบหาปริมาณฝุ่นของทรายแม่น้ำโขง พบว่า ที่ระหว่าง Mesh 150 ถึง Pan มีปริมาณ 1.88% ซึ่งมีค่ามากกว่าที่ทฤษฎีแนะนำเล็กน้อย ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่ำ ซึ่งขั้นตอนในการทำแบบหล่อทรายนั้นจึงไม่ต้องนำทรายไปทำการล้างในงานวิจัยนี้ แบบหล่อที่ได้จากการทดลองมีความแข็งแรง เมื่อถอดแบบออกมาไม่แตกเสียหาย แต่อย่างไรก็ตามถ้าในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่อาจจะส่งผลถ้าเอาค่าที่เกินไปของปริมาณฝุ่นนี้มารวมกันซึ่งจะเป็นค่าที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลต่อความแข็งแรงของแบบหล่อ จึงต้องเอาทรายไปทำการล้างก่อนนำไปใช้งาน จากการทดลองปริมาณฝุ่นที่ติดในถาด pan นั้นไม่สามารถนำไปชั่งหาน้ำหนักได้เนื่องจากมีปริมาณอยู่น้อยมาก และติดอยู่กับตระแกรงร่อน คือมีค่าเท่ากับ 0.269 g (0.54%) เป็นตัวเลขที่ระบุไว้เพื่อให้ทราบค่าที่หายไปของการทดสอบหาความละเอียดของเม็ดทราย ซึ่งจะทำให้ได้ผลรวมเท่ากับ 100% แต่ค่าที่แท้จริงของผลรวมนั้นจะเท่ากับ 49.73 g (99.46%)

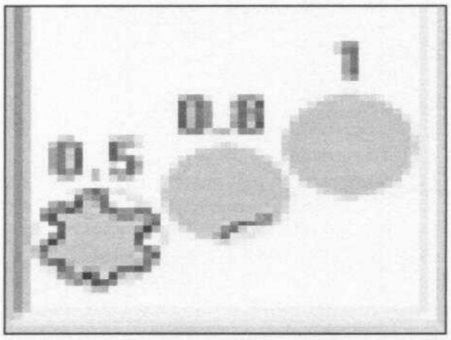
ผลการทดสอบปริมาณดินเหนียวร้อยละ 1.02% ซึ่งต่ำกว่า 1.5% จึงเหมาะที่จะนำมาใช้งานทั้งนี้เนื่องจากหากมีปริมาณสารอินทรีย์และดินเหนียวมาก จะต้องใช้ตัวประสานมากขึ้นทำให้สิ้นเปลือง นอกจากนี้ดินเหนียวและสิ่งเจือปนอื่นๆ ยังส่งผลต่อการจับยึดกันระหว่างตัวประสานกับเม็ดทราย ทำให้ยึดเกาะกันไม่แข็งแรง ซึ่งอนุภาคของดินเหนียวจะมีขนาดเล็กกว่าเม็ดทรายอาจต้องทำการล้างออก

ลักษณะรูปร่างของเม็ดทราย (Shape) จากการตรวจสอบลักษณะรูปร่างทรายที่ยังไม่ผ่านการคัดแยกขนาด (ทรายใหม่) ผิวจะหยาบขรุขระ สีของเม็ดทรายจะมีหลายสี เมื่อนำรูปร่างไปเปรียบเทียบกับรูปร่างตามมาตรฐาน AFS. ตามที่ทฤษฎีกำหนด ทรายแม่น้ำโขงจังหวัดเลย จะมีทั้งรูปร่างที่เป็นเม็ดกลมปานกลาง (Medium sphericity) ปนกับเม็ดกลมต่ำ (Low sphericity) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มที่มีเหลี่ยมมุมมน (Sub-angular) และชนิดเม็ดกลม (Sub-Rounded) ปนกัน และเมื่อทำการคัดแยกขนาดแล้วนำไปวิเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 5.1 ซึ่งทฤษฎีในโปรแกรมแนะนำไว้ว่าปัจจัยรูปร่าง (Shape factor) ก็ใช้เป็นสิ่งแสดงค่าความกลมของอนุภาคได้เช่นกัน ถ้าอนุภาคใดมีค่า Shape factor = 1 แสดงว่ามีรูปร่างกลม ถ้าอนุภาคไม่กลมจะมีค่า Shape factor ต่ำกว่า 1 เสมอ



ภาพที่ 5.1 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Olysia M3 Image analysis

เพราะฉะนั้นจากการวิเคราะห์เม็ดทรายแม่น้ำโขงมีค่า Shape factor = 0.82 ซึ่งต่ำกว่า 1 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับภาพที่ 5.2 ซึ่งเป็นภาพอยู่ในโปรแกรมวิเคราะห์ผล จึงจัดอยู่ในลักษณะที่มีรูปร่างค่อนข้างกลม ซึ่งในการทำแบบหล่อทราย ทรายเม็ดกลมจะสามารถไหลตัวเข้าประชิดกันได้ดีที่สุด และจะให้ค่าความแข็งแรงและการปล่อยซึมที่ดีกว่าเม็ดทรายรูปร่างอื่น จึงทำให้แบบหล่อที่ได้จากงานวิจัยนี้มีความแข็งแรงสูง



ภาพที่ 5.2 ลักษณะรูปร่างเม็ดทรายและค่า Shape factor

จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบด้านเคมีของเม็ดทราย ทำให้ทราบถึงความสามารถในการต้านทานความร้อนของทราย โดยวัดได้จากปริมาณของซิลิก้า (SiO_2) ซึ่งถ้ามีปริมาณมากก็จะสามารถทนความร้อนได้มาก เนื่องจากซิลิก้ามีจุดหลอมเหลวสูงถึง 1,700°C โดยทรายหล่อที่ดีควรมีซิลิก้าอย่างน้อย 95-96% ส่วนปริมาณสารประกอบอื่นๆ ที่ติดมาจะมีส่วนทำให้จุดหลอมเหลวต่ำลงได้ ซึ่งปริมาณซิลิก้าเป็นหนึ่งในสิ่งสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาในการเลือกทรายมาทำแบบหล่อ ซึ่งทรายแม่น้ำโขงมีปริมาณซิลิก้า 88.43% ส่วนสารประกอบอื่นที่ติดมาเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ

ทรายระยอง พบว่าทรายแม่น้ำโขง มีปริมาณของ Al_2O_3 อยู่ 7.60 % ซึ่งมากกว่าทรายระยองอยู่ 7.40 %, ปริมาณ CaO มีอยู่ 1.14 % ซึ่งมากกว่าทรายระยองอยู่ 0.74 %, ปริมาณ MgO อยู่ 0.43 % ซึ่งมากกว่าทรายระยองอยู่ 0.56 %, ปริมาณ K_2O อยู่ 2.67 %, ปริมาณ P_2O_5 อยู่ 0.98 % ซึ่งไม่พบในทรายระยอง, และปริมาณของ TiO_2 อยู่ 0.39% ซึ่งมากกว่าทรายระยองอยู่ 0.2% ผลดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบส่วนผสมของธาตุต่างๆ ที่ผสมในทรายแม่น้ำโขงกับทรายระยอง

ชนิดทราย	**ธาตุต่างๆ ที่ผสมอยู่ในทราย**							
	SiO_2	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**CaO**	**MgO**	**K_2O**	**P_2O_5**	**TiO_2**
ทรายระยอง (บรรเจิด แสงจันทร์: 2544)	98.8%	0.2%	0.07%	0.4%	0.08%	-	-	0.19%
ทรายแม่น้ำโขง จังหวัดเลย	88.43%	7.60%	-	1.14%	0.64%	2.48%	1.29%	0.39%

อย่างไรก็ดีแม้ว่าทรายแม่น้ำโขงจะมีปริมาณซิลิก้าต่ำ แต่พบว่ามีปริมาณ Al_2O_3 ถึง 7.60% ซึ่ง Al_2O_3 เป็นธาตุที่มีจุดหลอมเหลวถึง 2,000°C ซึ่งทำให้สามารถทนความร้อนได้ และจากการทดสอบนำทรายแม่น้ำโขงไปทำแบบหล่อทราย ถึงแม้จะมีปริมาณของซิลิก้าต่ำกว่า เมื่อนำไปเทหล่อน้ำโลหะที่อุณหภูมิ 1,530°C พบว่า แบบหล่อสามารถต้านทานความร้อนได้ขณะเทน้ำโลหะ และเมื่อเย็นตัวแล้วจากการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยสายตา แบบหล่อไม่แตกหรือมีรอยร้าวเกิดขึ้น นั้นแสดงว่าสารประกอบอื่นที่ติดมากับทรายแม่น้ำโขง และปริมาณของซิลิก้า (SiO_2) ที่มีในทรายมีปริมาณมากพอ

ส่วนค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของทราย จากการทดสอบได้ค่า pH = 8.36 เป็นด่างเล็กน้อย จึงมีความเหมาะสมนำไปทำแบบ เนื่องจากมีค่า pH อยู่ระหว่าง 8-10 ตามที่ได้แนะนำ ซึ่งทรายสำหรับ Alkaline phenolic resin ในการที่จะทำให้ทรายมีสมบัติที่เป็นกลาง (pH7) ถ้าทรายมีค่าความต้องการกรด (ADV) สูงหมายความว่าทรายจะมีสภาพเป็นด่างมาก ดังนั้นในทางปฏิบัติทรายที่มีความเป็นด่างสูงจึงไม่เหมาะที่จะใช้ตัวประสานเคมี ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสภาพเป็นกรด เพราะต้องใช้ในปริมาณที่มาก จะทำให้ทรายเมื่อผสมตัวประสานแล้วจะมีอัตราการแข็งตัวที่ช้า ซึ่งจะส่งผลทำให้จำเป็นต้องใช้ปริมาณของตัวประสานมากขึ้นทำให้สิ้นเปลือง

5.2 อัตราส่วนระหว่างทรายและตัวประสานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปทำชิ้นงานทดสอบ

จากการทดลองหาอัตราส่วนระหว่างทราย และฟีโนลิคเรซิ่นที่เหมาะสม เพื่อทำแท่งทรายตัวอย่างรูปทรงกระบอก ขนาดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm. เพื่อนำไปทดสอบความต้านแรงอัด ที่ส่วนผสมของฟีโนลิคเรซิ่น 2% (20 g) ต่อทราย 1,000 g อุณหภูมิที่ใช้ให้เกิดการก่อตัว ใช้อุณหภูมิ 250°C นั้น ในบางจุดเม็ดทรายไม่เกิดการจับยึดตัว เมื่อทดลองกดสัมผัสเบาๆ ตรงบริเวณผิวหน้าด้านบนของแท่งทรายในกระบอกโลหะ จะมีลักษณะเป็นรอยยุบลงไปไม่แข็ง จำนวนของฟีโนลิคเรซิ่นที่เคลือบอยู่มีน้อย จึงเป็นสาเหตุให้เม็ดทรายนั้นไม่ยึดเกาะกัน และขณะดันแท่งทรายออกมาจากกระบอกโลหะจะเกิดการแตกออกเป็นชิ้นๆ ตั้งแต่อยู่ในกระบอกโลหะ มีทั้งชิ้นเล็กและชิ้นใหญ่ แท่งทรายหลุดออกจากกระบอกโลหะได้ง่าย และไม่สามารถขึ้นรูปเป็นรูปทรงกระบอกได้ ค่าความหนาแน่นต่ำลง จึงไม่เหมาะที่จะใช้ส่วนผสมนี้

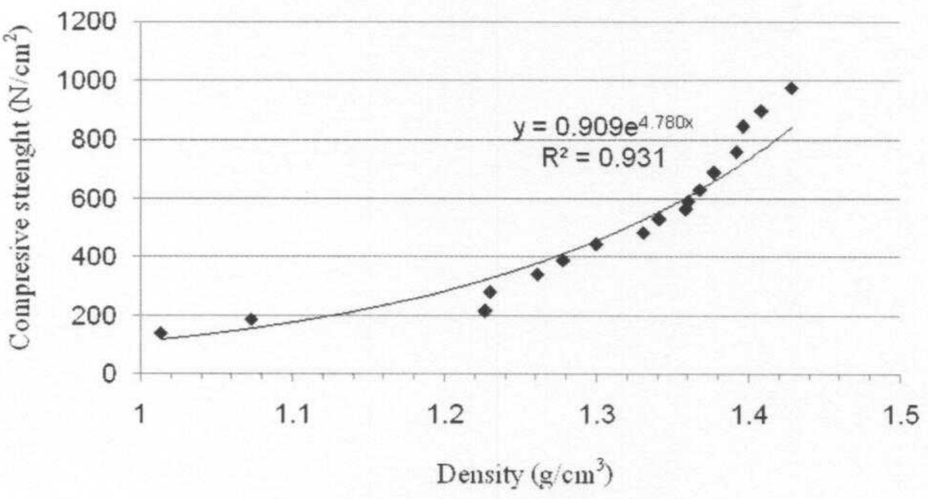
ที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น ตั้งแต่ 2.5 - 3.5% (25-35 g) ต่อทราย 1,000 g อุณหภูมิที่ใช้ให้เกิดการก่อตัว 250°C นั้นสามารถขึ้นรูปในกระบอกโลหะได้ เมื่อทดลองกดสัมผัสเบาๆ ตรงบริเวณผิวหน้าด้านบนของแท่งทรายในกระบอกโลหะจะมีลักษณะแข็ง แต่เม็ดทรายยังยึดเกาะกันได้ไม่ดีและหลุดออกจากกันเป็นเม็ดๆ เมื่อดันแท่งทรายออกมาจากกระบอกโลหะแท่งทรายหลุดออกได้ง่าย และเป็นรูปทรงกระบอกไม่แตก จึงไม่เหมาะที่จะใช้ส่วนผสมนี้

ที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น ตั้งแต่ 4 - 7.5% (40-75 g) ต่อทราย 1,000 g อุณหภูมิที่ใช้ให้เกิดการก่อตัว ใช้อุณหภูมิ 250°C เม็ดทรายเกิดการจับยึดตัวกันทุกเม็ด เมื่อทดลองกดสัมผัสเบาๆ ตรงบริเวณผิวหน้าด้านบนของแท่งทรายในกระบอกโลหะ จะมีความแข็ง จะมีเม็ดทรายหลุดออกมาจากกันน้อย เนื่องจากมีปริมาณฟีโนลิคเรซิ่นมากพอที่จะเคลือบเม็ดทรายให้ยึดเกาะกันเอาไว้ เมื่อดันแท่งทรายออกมาจากกระบอกโลหะ แท่งทรายจะหลุดออกได้ง่าย และเป็นรูปทรงกระบอกไม่แตก จึงเหมาะที่จะใช้ส่วนผสมนี้ ตั้งแต่ช่วง 4-7.5% ทำแท่งทรายตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบหาแรงอัด เนื่องจากมีปริมาณตัวประสานที่พอเหมาะ ทำให้มีความแข็งที่พอดี และไม่ทำให้เสียเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงาน

และที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น ตั้งแต่ 8 - 10% (80-100 g) ต่อทราย 1,000 g อุณหภูมิที่ใช้ให้เกิดการก่อตัว ใช้อุณหภูมิ 250°C เม็ดทรายเกิดการจับยึดตัวกันทุกเม็ด เมื่อทดลองกดสัมผัสเบาๆ ตรงบริเวณผิวหน้าด้านบนของแท่งทรายในกระบอกโลหะ จะมีความแข็งมาก จะมีเม็ดทรายที่หลุดออกมาจากกันน้อยมาก เนื่องจากมีปริมาณฟีโนลิคเรซิ่นมากพอที่จะเคลือบเม็ดทรายให้ยึดเกาะกันเอาไว้ แต่เมื่อดันแท่งทรายออกมาจากกระบอกโลหะ แท่งทรายจะหลุดออกได้

ยากมาก และเป็นรูปทรงกระบอกไม่แตก จึงไม่เหมาะที่จะใช้ส่วนผสมนี้ เนื่องจากมีปริมาณตัวประสานที่มากเกินไป ทำให้เมื่อเย็นตัวแล้วตัวประสานส่วนหนึ่งจะไปติดกับขอบผนังของกระบอกโลหะ ทำให้กระทุ้งออกยาก และทำให้เสียเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงาน

ซึ่งลักษณะการเกาะยึดระหว่างตัวประสานกับทราย ตั้งแต่ส่วนผสมน้อยสุดไปหามากสุดนั้นสามารถพิจารณาความสัมพันธ์ได้จากกราฟ ซึ่งถ้าผสมตัวประสานเพิ่มมากขึ้น ค่าความหนาแน่นและน้ำหนักก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อค่าความแข็งแรงที่จะเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5.3

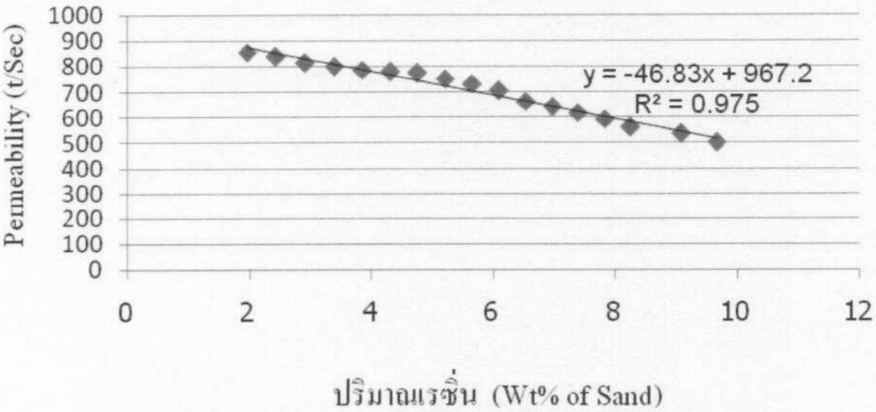


ภาพที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น และ Compressive Strength

จากภาพที่ 5.3 พบว่า เมื่อค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า Compressive Strength มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแบบเอ็กส์โพเนนเชียล โดยเมื่อพิจารณาที่ค่าความหนาแน่น 1.013 g/cm^3 ที่ 2% เรซิ่น ค่า Compressive Strength = 139 N/cm^2 และเพิ่มขึ้นเป็น 280.7 ที่ค่าความหนาแน่น = 1.229 g/cm^3 (3.5% เรซิ่น) คิดเป็น 102 % และเมื่อค่าความหนาแน่นตั้งแต่ 1.261-1.428 g/cm^3 (4-10% เรซิ่น) ค่า Compressive Strength เพิ่มจาก 341.8 N/cm^2 เป็น 974.38 N/cm^2 คิดเป็น 185.1%

จากการทดสอบหาความสามารถในการซึมผ่านของอากาศ ของแท่งทรายตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm. จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณเรซิ่นที่ผสมเพิ่มมากขึ้น ค่าอัตราการซึมผ่านของอากาศที่วัดได้ก็จะมีค่าลดต่ำลง ดังแสดงในภาพที่ 5.4 และขณะเดียวกันน้ำหนักและความหนาแน่นก็จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเรซิ่นที่ผสม เนื่องจากเรซิ่นเมื่อผสม

ขณะร้อนจะละลายและเคลือบผิวระหว่างเม็ดทราย ทำให้ช่องว่างมีน้อยจึงเป็นเหตุให้ค่าความโปร่งต่ำ ทำให้อากาศที่ไหลผ่านมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน

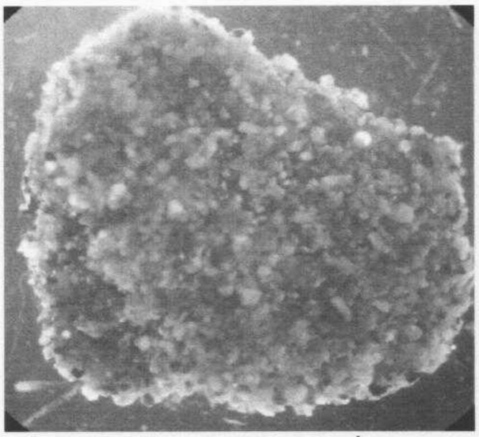


ภาพที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรซิ่นกับความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability)

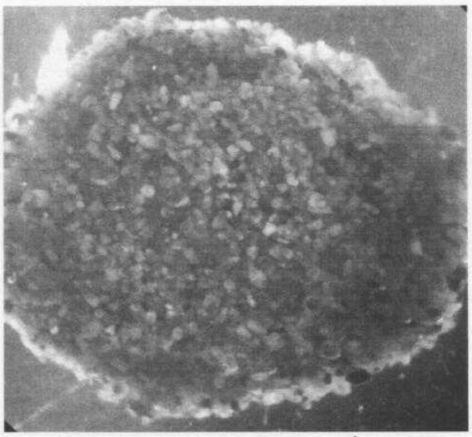
จากกราฟ 5.4 พบว่า เมื่อปริมาณเรซิ่นเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า Permeability ลดลงโดยที่เมื่อพิจารณาจาก ที่ค่า 2% เรซิ่น จะได้ค่า Permeability = 856 และลดลงเป็น 501 เมื่อปริมาณเรซิ่นเพิ่มขึ้นเป็น 10% คิดเป็นลดลง 41.47% แต่อย่างไรก็ตามค่า Permeability ส่งผลต่อชิ้นงานหล่ออย่างมาก ซึ่งถ้าหากว่ามีค่าต่ำไปจะส่งผลต่อการระบายแก๊สขณะเทน้ำโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดตำหนิงานหล่อ (Casting defects) ของชิ้นงานหล่อได้

เมื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกล โดยการนำแท่งทรายไปทดสอบความต้านทานแรงอัด แท่งทรายจะแตกเมื่อเครื่องทดสอบออกแรงกดเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และเวลาในการแตกก็จะใช้เวลามากขึ้นตามอัตราส่วนผสมที่มากขึ้นของตัวประสาน ค่าความต้านทานแรงอัดที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าสูงขึ้น

และเมื่อนำชิ้นส่วนที่แตกออกของแท่งทราย หลังทำการทดสอบหาความต้านทานแรงอัด ไปส่องดูลักษณะการจับยึดกันของเม็ดทราย ด้วยกล้องจุลทรรศน์ Stereo microscope โดยใช้กำลังขยาย 32 เท่า แล้วเปรียบเทียบกันระหว่างส่วนผสมของตัวประสาน ตั้งแต่ 2-3.5% และ 4-10 % ลักษณะการจับยึดกันของเม็ดทราย และปริมาณเรซิ่น มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 5.5



(ก) ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น 2%



(ข) ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น 4%

ภาพที่ 5.5 ลักษณะการจับยึดของเม็ดทรายที่ส่วนผสมของฟีโนลิคเรซิ่น 2% และ 4%

จากภาพที่ 5.5 ที่ส่วนผสมของฟีโนลิคเรซิ่น 2% (20 g) ลักษณะการจับยึดกันของเม็ดทรายจะจับยึดกันไม่แน่นเท่าที่ควร มีช่องว่างระหว่างเม็ดทรายหรือรูพรุนมากทำให้เม็ดทรายหลุดได้ง่ายเมื่อโดนสัมผัส ลักษณะสีจะเห็นเฉพาะสีของเม็ดทราย มองเห็นสีของฟีโนลิคเรซิ่นไม่ชัดเจนเนื่องจากมีปริมาณน้อย แต่ที่ส่วนผสมของฟีโนลิคเรซิ่น ตั้งแต่ 4% (40 g) ขึ้นไปนั้นมีปริมาณของฟีโนลิคเรซิ่นไปอุดและเคลือบอยู่ระหว่างเม็ดทรายมาก ทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดทรายมีน้อย ลักษณะการจับยึดกันระหว่างเม็ดทรายจึงจับยึดกันได้ดีเกือบทุกเม็ด มองเห็นสีของฟีโนลิคเรซิ่นเคลือบเม็ดทรายเป็นสีเหลืองใสชัดเจน เมื่อโดนสัมผัสเม็ดทรายจะไม่หลุดจากกันง่าย และมีความแข็งมากโดยเฉพาะที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น ที่ 10% (100 g)

ส่วนการทดลองหาอัตราส่วนระหว่างทราย และฟีโนลิคเรซิ่นที่เหมาะสม เพื่อทำชิ้นงานตัวอย่างนำไปทดสอบความต้านแรงดึง ซึ่งที่ส่วนผสมตั้งแต่ 2-3.5% (20-35 g) ไม่เหมาะที่จะใช้เนื่องจากจำนวนของตัวประสานที่ไปเคลือบเม็ดทรายอยู่มีน้อย ทำให้เมื่อขึ้นรูปเป็นชิ้นงานแล้วเม็ดทรายยึดเกาะกันไม่สมบูรณ์ และที่ส่วนผสมตั้งแต่ 4-10% ซึ่งจากการนำไปขึ้นรูปทำเป็นชิ้นงานทดสอบความต้านแรงดึง ชิ้นงานตัวอย่างที่ได้เม็ดทรายยึดเกาะกันได้ดีแข็งแรง มีเม็ดทรายหลุดออกจากกันน้อย การแกะแบบนำชิ้นงานตัวอย่างออกมาสามารถทำได้ง่าย และเมื่อนำชิ้นงานตัวอย่างไป หาค่าน้ำหนักและความหนาแน่น ค่าน้ำหนักและค่าความหนาแน่นที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมของเรซิ่น การทดสอบคุณสมบัติทางกลโดยการนำชิ้นงานตัวอย่างไปทดสอบหาความต้านทานแรงดึง ชิ้นงานตัวอย่างจะขาดเมื่อเครื่องออกแรงดึงเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตามอัตราส่วนผสม

ที่มากขึ้นของตัวประสาน ค่าที่ได้จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ตามอัตราส่วนผสมของตัวประสาน

5.3 อัตราส่วนระหว่างทรายและตัวประสานที่เหมาะสม ในการขึ้นรูปทำแบบหล่อทรายเปลือก

5.3.1 เปรียบเทียบแบบหล่อ

จากการทดลองผสมตัวประสานกับทราย โดยใช้ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น ตามที่ทฤษฎีกำหนดไว้ คือ 4-10% กับทรายที่คัดผ่านตระแกรง ตั้งแต่เบอร์ 40, 50, 70, 100, 140, 200 และ 270 รวมกัน โดยใช้อุณหภูมิในการก่อตัว 250 °C เพื่อทำแบบหล่อทราย (Mould) โดยเลือกผสมอยู่ 3 สูตร คือ

สูตรที่ 1 ใช้ส่วนผสมที่ต่ำสุด ที่ฟีโนลิคเรซิ่น 4.5% (215 g) กับทราย 4,785 g หลังจากแกะแบบหล่อทรายออกมาแล้วพบว่า สามารถขึ้นรูปเป็นรูปทรงแบบหล่อได้ แกะออกจากแบบได้ง่ายและรวดเร็ว ทั้งตัวบนและตัวล่าง มีความหนาเท่ากับแบบโลหะ แต่ลักษณะผิวของแบบหล่อที่ได้จะหยาบขรุขระผิวไม่ค่อยเรียบ ยังมีเม็ดทรายแตกและหลุดออกมาเป็นเม็ดๆ เม็ดทรายอัดตัวกันได้ไม่แน่นเท่าที่ควร รายละเอียดบางจุดของแบบหล่อทราย เช่น เหลี่ยม, มุม, สันนูน และส่วนโค้งต่างๆ เวลาถอดแบบออกจะแตกและหลุดหายไป เนื่องจากส่วนผสมของฟีโนลิคเรซิ่นน้อยเกินไป ทำให้การจับยึดเกาะกันของเม็ดทรายตรงบริเวณจุดเล็กๆ ไม่แข็งแรง จึงไม่เหมาะที่จะใช้ส่วนผสมนี้ทำแบบหล่อทราย เนื่องจากจะทำให้ชิ้นงานหล่อที่หล่อออกมาได้เกิดการเสียหายที่ผิวได้ และรูปทรงไม่สมบูรณ์แบบ

สูตรที่ 2 ใช้ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น 6.5% (305 g) กับทราย 4,695 g สามารถขึ้นรูปเป็นรูปทรงแบบหล่อได้ แกะออกจากแบบได้ง่ายและรวดเร็ว ทั้งตัวบนและตัวล่าง มีความหนาเท่ากับแบบโลหะที่เททรายผสมใส่ ลักษณะผิวของแบบหล่อผิวจะค่อนข้างเรียบไม่หยาบขรุขระ เมื่อสัมผัสเม็ดทรายจะไม่ค่อยแตกหรือหลุดออกมา เม็ดทรายอัดตัวกันได้แน่น แข็งรายละเอียดทุกจุดของแบบหล่อทราย เช่น เหลี่ยม, มุม, สันนูน และส่วนโค้งต่างๆ อัดตัวกันได้แน่นหนาตามรูปทรง ไม่แตกหรือหลุดออกมา เนื่องจากส่วนผสมของตัวประสานมีความเหมาะสม ทำให้การจับยึดเกาะกันของเม็ดทรายตรงบริเวณจุดเล็กๆ แข็งแรง จึงเหมาะที่จะใช้ส่วนผสมนี้ทำแบบหล่อทราย

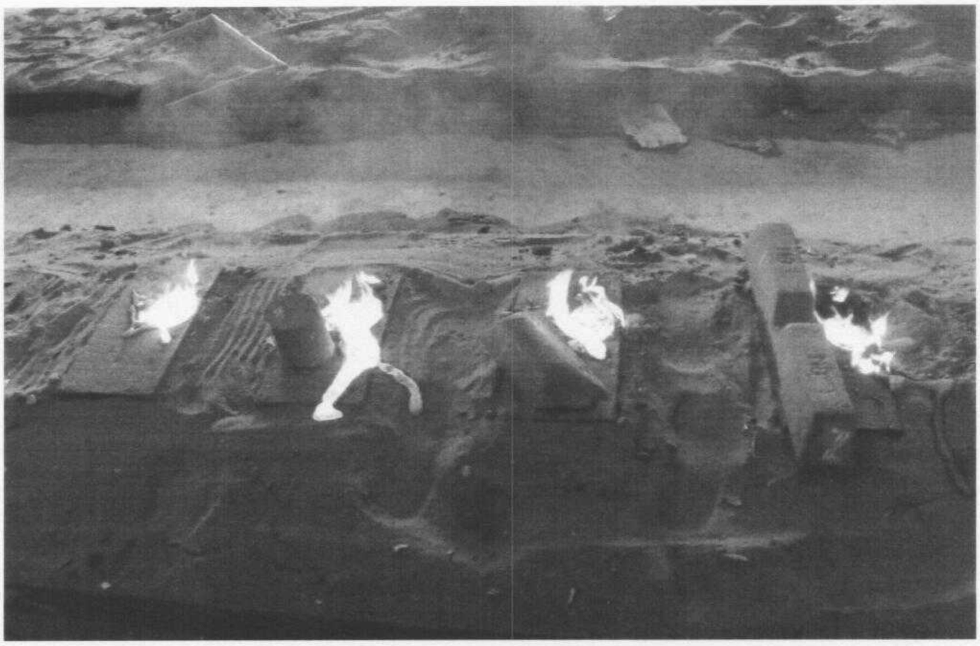
สูตรที่ 3 ที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่น 8.5% (391.5 g) กับทราย 4,609 g สามารถขึ้นรูปเป็นรูปทรงแบบหล่อได้ ผิวของแบบหล่อมีความเรียบ มีความหนาเท่ากับแบบโลหะที่เท

ทรายผสมใส่ เมื่อสัมผัสเม็ดทรายจะไม่ค่อยแตกหรือหลุดออกมา เม็ดทรายอัดตัวกันได้แน่น และมีความแข็งมาก แต่มีข้อเสีย คือ เวลาแกะแบบแกะได้ยากมาก ทั้งตัวบนและตัวล่าง ต้องใช้เวลาและแรงในการแกะแบบนาน รายละเอียดและรูปทรงบางจุดของแบบหล่อทราย เช่น เหลี่ยม, มุม, สันนูน และส่วนโค้งต่างๆ จะติดกับแบบโลหะทำให้รูปทรงตรงจุดนั้นเสียไป เมื่อนำไปเทหล่ออาจเกิดการเสียหายต่อชิ้นงานหล่อได้ เนื่องจากปริมาณของฟีโนลิคเรซิ่นที่ใช้ผสมมีอยู่มาก จึงทำให้ฟีโนลิคเรซิ่นเมื่อเย็นตัวแล้วไปติดอยู่ที่แบบโลหะ ทำให้การแกะแบบทรายออกได้ยาก จึงไม่เหมาะที่จะใช้ส่วนผสมนี้ทำแบบหล่อทราย

เมื่อนำแบบหล่อทั้งสามสูตรที่ได้ไปทำการชั่งน้ำหนัก ก่อนเทหล่อน้ำโลหะทั้งตัวบนและตัวล่างซึ่งน้ำหนักของแบบหล่อที่ได้จะมีค่าน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมของตัวประสาน

จากนั้นนำแบบหล่อทั้งสามสูตรไปทำการเทหล่อน้ำโลหะ จากการสังเกตที่ผิวของแบบหล่อ จะเกิดประกายไฟลุกไหม้แบบหล่อทุกอันหลังจากเทน้ำโลหะ เนื่องจากแบบหล่อได้รับความร้อนจากการเทหล่อน้ำโลหะ ที่อุณหภูมิสูงถึง 1,530 $^{\circ}$C จึงทำให้ติดไฟ ซึ่งนั่นคือเปลวไฟจะลุกไหม้ตัวประสานที่เป็นตัวผสมลงไปในทราย คือฟีโนลิคเรซิ่น นาน 15 นาที จึงดับลง ดังแสดงในภาพที่ 5.6 ซึ่งหลังจากเปลวไฟดับลงก็จะมีเปลวควันรอยกระจายขึ้นมา เกือบประมาณ 30 นาที จึงจางหายไป ซึ่งเปลวควันที่รอยกระจายขึ้นมานั้นก็คือ แก๊สไฮโดรคาร์บอน ไฮโดรเจน คาร์บอนมอนน็อคไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ผสมอยู่ในฟีโนลิคเรซิ่น เกิดการเผาไหม้ ลักษณะแบบหล่อหลังเปลวไฟดับลงไม่มีรอยแตกหรือรอยร้าว มีเพียงรอยไหม้เป็นบางจุดเท่านั้น

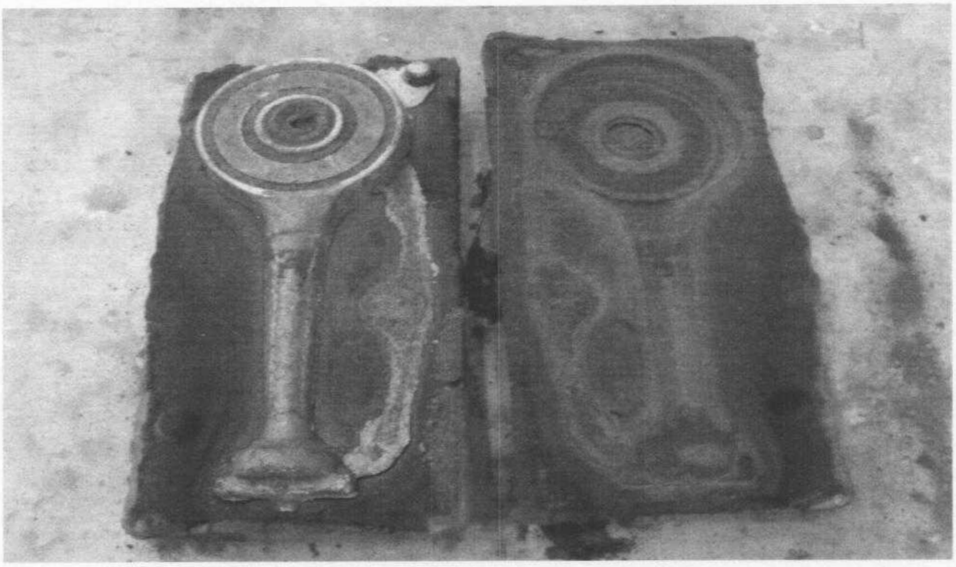
แต่อย่างไรก็ตามแบบหล่อทรายเมื่อได้รับความร้อนมากๆ จะเกิดการอ่อนตัว ซึ่งหลังจากที่เย็นตัวแล้ว แบบหล่อก็จะกลับมาแข็งตัวตามปกติ บริเวณที่ได้รับความร้อนมากๆ ก็จะเกิดรอยไหม้จนกลายเป็นขี้เถ้า และความร้อนก็จะแผ่กระจายจากจุดเริ่มต้นออกมาเรื่อยๆ ซึ่งเวลาทำการรื้อแบบออกมาแบบหล่อก็จะเกิดการเสียรูปทรงไป เช่น ตรงบริเวณที่เกิดรอยไหม้อาจจะเกิดการเปราะแตกง่ายกว่าบริเวณที่ได้รับความร้อนน้อย



ภาพที่ 5.6 ลักษณะเปลวไฟที่ลุกไหม้แบบหล่อทราย

ดังนั้นแก๊สที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพ แต่งานวิจัยนี้เป็นเพียงการทดสอบคุณสมบัติของทราย ที่ใช้ทำแบบหล่อด้วยกรรมวิธีแบบหล่อเปลือกบาง แต่ถ้าในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ต้องหล่อชิ้นงานตลอดเวลา และทำในปริมาณมากๆ อาจส่งผลกระทบได้ ควรหาวิธีการป้องกันและกำจัดแก๊สเหล่านี้ เพื่อไม่ให้เกิดมลพิษ และผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมด้วย

เมื่อแบบหล่อเย็นตัวแล้วนำไปทำการรื้อแบบ ซึ่งจากการรื้อแบบออกจากกันทั้งตัวบนและตัวล่าง จากการสังเกตที่ผิวของแบบหล่อทราย จะมีอยู่สามช่วงที่แบบหล่อนั้นสัมผัสกับความร้อน ช่วงแรก คือ ช่วงที่แบบหล่อสัมผัสกับความร้อนมากที่สุด สีของแบบหล่อจะเป็นสีไหม้มากมีสีดำเทาเป็นขี้เถ้า มีช่วงความกว้างจากร่องชิ้นงานประมาณ 1 เซนติเมตร ช่วงที่สอง คือ ช่วงที่เกิดการแผ่กระจายความร้อนออกมา ลักษณะสีผิวของแบบหล่อจะมีรอยไหม้เป็นสีน้ำตาล มีความกว้างต่อออกมาจากช่วงรอยไหม้ช่วงแรกประมาณ 1 นิ้ว และช่วงที่สาม คือ ช่วงที่แบบหล่อได้รับความร้อนน้อยที่สุดต่อจากช่วงที่สอง สีจะเป็นเหมือนกับสีเม็ดทรายธรรมดาไม่มีรอยไหม้จนถึงขอบนอกสุด ดังแสดงในภาพที่ 5.7



ภาพที่ 5.7 รอยไหม้จากความร้อนของน้ำโลหะ

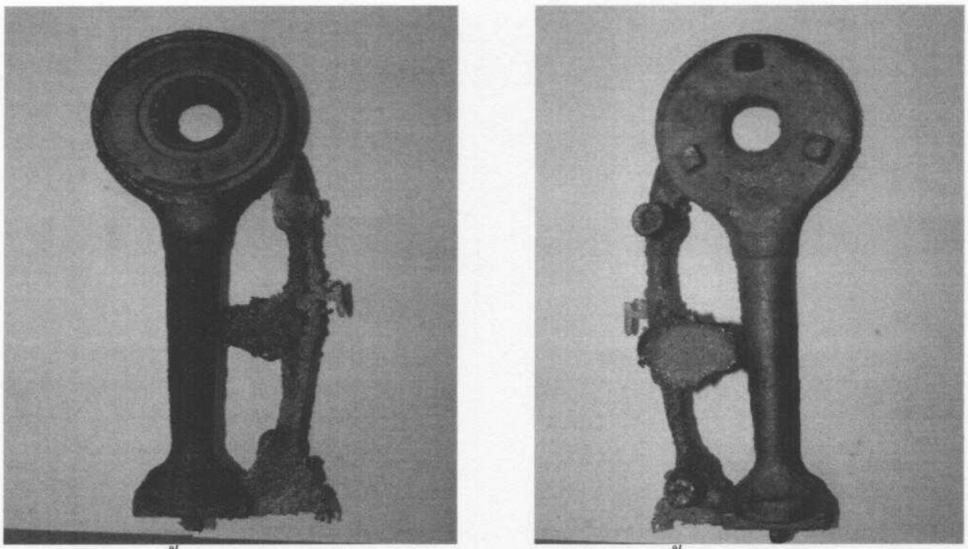
5.3.2 เปรียบเทียบชิ้นงานหล่อ

จากการนำชิ้นงานหล่อออกมาตรวจสอบ ลักษณะของชิ้นงานหล่อที่ได้ตามส่วนผสมแต่ละส่วนผสมนั้นสามารถขึ้นรูปได้ตามแบบหล่อทราย มีขนาดมิติเท่ากับแบบพิมพ์ มีครีบที่ด้านข้างหลังจากทำการรื้อแบบออกมาทุกส่วนผสม ดังแสดงในภาพที่ 5.8 ผิวของชิ้นงานที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่นต่ำสุด 4.5% (215 g) กับทราย 4,785 g ผิวจะหยาบมีรอยหลุมลึกเล็กๆ ประปราย หลุมบางจุดที่ผิวของชิ้นงานเหมือนกับเม็ดทราย เนื่องมาจากปริมาณของส่วนผสมของตัวประสานน้อยเกินไป ทำให้มีช่องว่างระหว่างเม็ดทรายมาก ซึ่งเวลาเทน้ำโลหะจะไหลแทรกเข้าไปบริเวณช่องว่างนั้น จึงทำให้ผิวของชิ้นงานเป็นหลุมผิวไม่เรียบ มีน้ำหนัก 4.5 kg.

ที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่นปานกลาง 6.5% (305 g) กับทราย 4,695 g ผิวของชิ้นงานหล่อที่ได้จะค่อนข้างเรียบเสมอกัน มีรอยหลุมเล็กน้อยเป็นบางจุด เนื่องจากมีปริมาณของตัวประสานไปอุดตรงบริเวณช่องว่างระหว่างเม็ดทรายได้ดี ทำให้น้ำโลหะไหลแทรกตัวได้สม่ำเสมอ ทำให้ได้ชิ้นงานหล่อที่มีลายละเอียดครบทุกส่วน แต่เนื่องจากเม็ดทรายแม่น้ำโขงมีขนาดใหญ่กว่าทรายทะเลผิวของชิ้นงานหล่อที่ได้จึงมีความเรียบไม่มาก มีน้ำหนัก 4.5 kg.

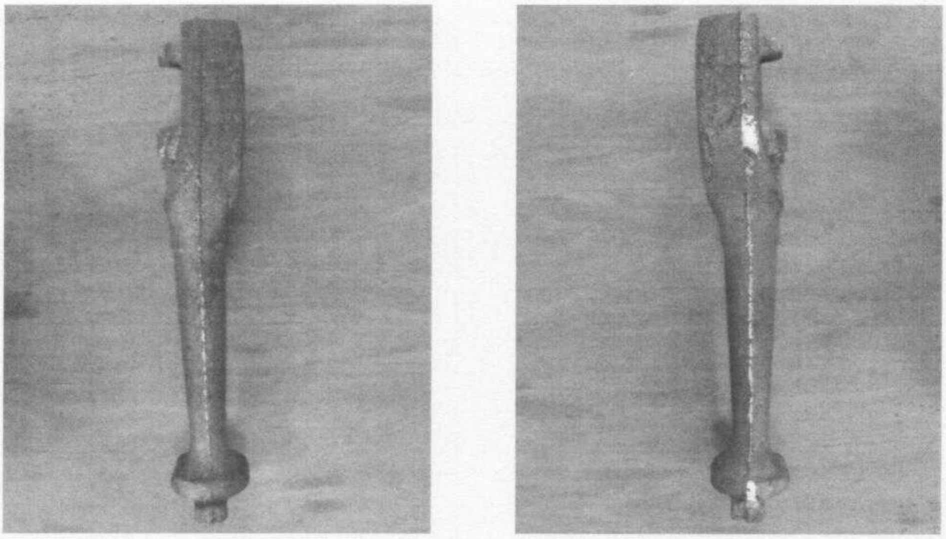
และที่ส่วนผสมฟีโนลิคเรซิ่นมากสุด 8.5% (391.5 g) ต่อทราย 4,609 g ผิวของชิ้นงานหล่อที่ได้ก็จะค่อนข้างเรียบมีรอยหลุมน้อยกว่าส่วนผสมปานกลาง มีน้ำหนัก 4.5 kg. แต่รายละเอียดบางจุด เช่น สันนูนบริเวณส่วนโค้งด้านหัวของชิ้นงานหล่อนั้นแตกหลุดหายไป

เนื่องจากตัวประสานที่ผสมกับทรายตอนขึ้นรูปทำแบบหล่อ บางส่วนจะไปติดแบบโลหะแน่นมาก ช่วงระหว่างการเย็นตัว หลังจากรื้อแบบจึงทำให้ส่วนนั้นแตกหลุดหายไป ส่งผลต่อชิ้นงานหล่อที่ได้รายละเอียดไม่สมบูรณ์

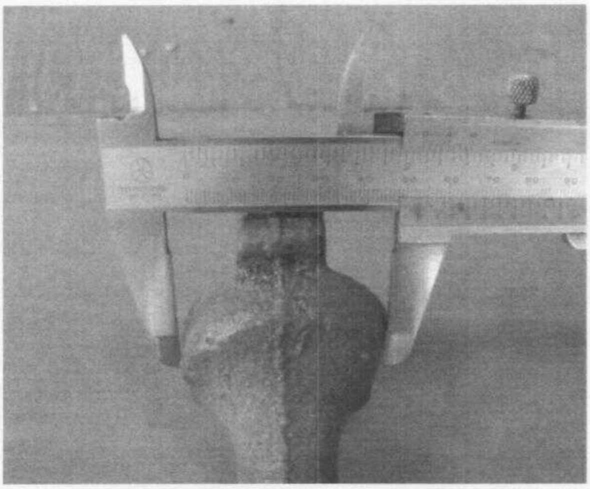


(ก) ชิ้นงานหล่อด้านหน้า (ข) ชิ้นงานหล่อด้านหลัง

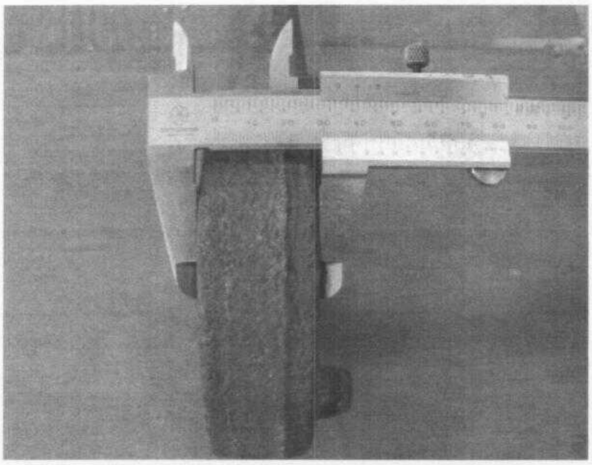
ภาพที่ 5.8 ลักษณะของชิ้นงานหล่อที่นำออกจากแบบหล่อทรายก่อนทำการตกแต่งทุกส่วนผสม



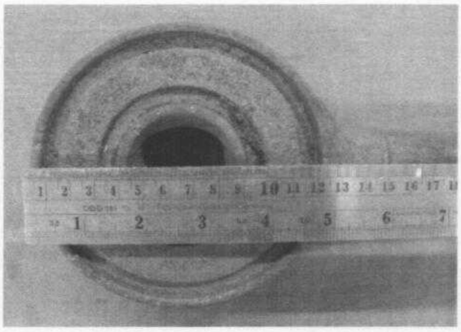
ภาพที่ 5.9 ลักษณะของชิ้นงานหล่อหลังจากตกแต่ง ด้านข้าง ทุกส่วนผสม

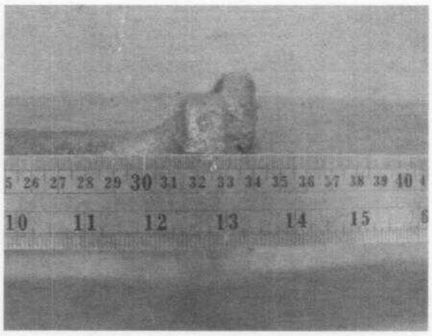


ภาพที่ 5.10 ขนาดของส่วนหาง มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.4 cm. ทุกส่วนผสม



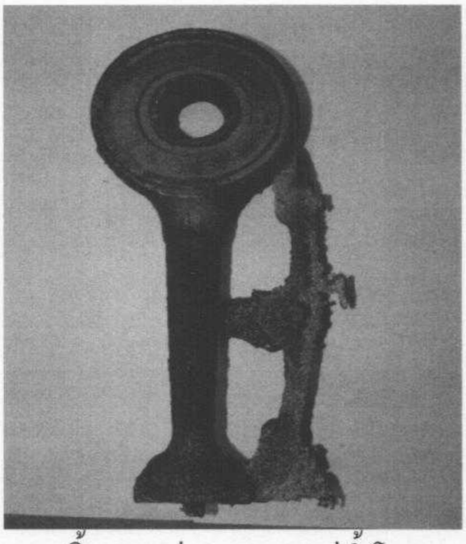
ภาพที่ 5.11 ขนาดความหนาของส่วนหัวเท่ากับ 3.4 cm. ทุกส่วนผสม



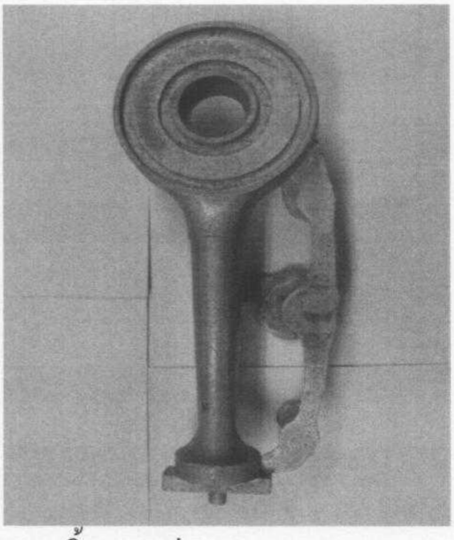


ภาพที่ 5.12 ขนาดความยาวจากส่วนหัวถึงส่วนหางเท่ากับ 24.5 cm. ทุกส่วนผสม

เมื่อนำชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายแม่น้ำโขง ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับแบบโลหะที่ใช้ในการเททราย ซึ่งมีขนาด Ø ของแบบโลหะ ส่วนหัว = 13 cm. Ø ส่วนหาง = 5.4 cm. ความหนาของส่วนหัว = 3.4 cm. และความยาวจากส่วนหัวถึงส่วนหางของแบบโลหะ = 24.5 cm. และนำชิ้นงานหล่อจากทรายแม่น้ำโขงไปเปรียบเทียบกับชิ้นงานหล่อของทรายระยอง พบว่าชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายแม่น้ำโขง ได้ขนาดเท่ากับแบบโลหะทุกส่วนผสม และมีขนาดที่ใกล้เคียงกับชิ้นงานหล่อของทรายระยอง ดังแสดงในภาพที่ 5.13



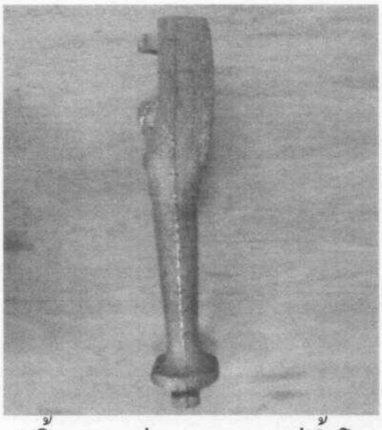
ชิ้นงานหล่อจากทรายแม่น้ำโขง

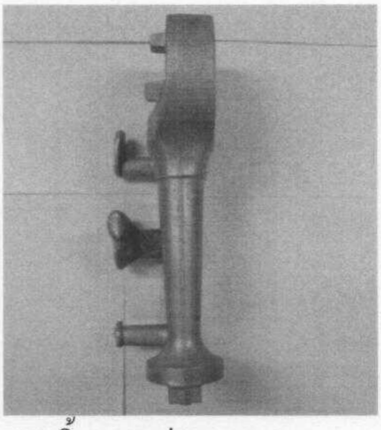


ชิ้นงานหล่อจากทรายระยอง

ภาพที่ 5.13 เปรียบเทียบชิ้นงานหล่อที่ได้จากทรายแม่น้ำโขงกับทรายระยอง

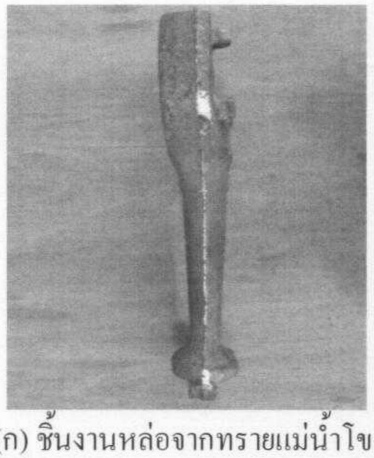
เมื่อนำชิ้นงานหล่อมาเปรียบเทียบด้านข้างขวา ลักษณะของชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายแม่น้ำโขง มีขนาดใกล้เคียงกับชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายระยอง ดังในภาพที่ 5.14

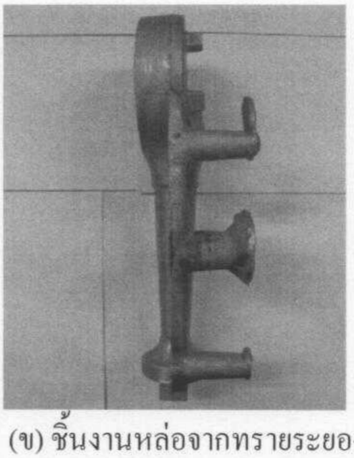

(ก) ชิ้นงานหล่อจากทรายแม่น้ำโขง


(ข) ชิ้นงานหล่อจากทรายระยอง

ภาพที่ 5.14 ชิ้นงานหล่อจากทรายแม่น้ำโขงและทรายระยอง

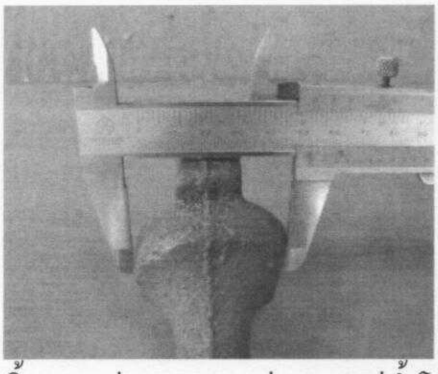
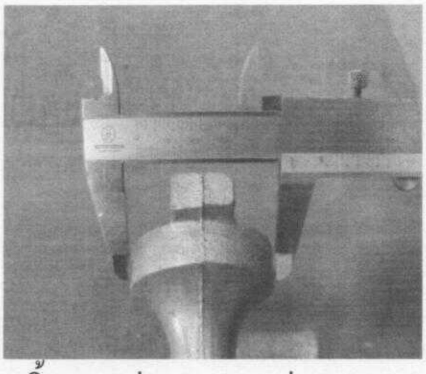
เมื่อนำชิ้นงานหล่อมาเปรียบเทียบด้านข้างซ้าย ลักษณะของชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายแม่น้ำโขง มีขนาดใกล้เคียงกับชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายระยอง ดังในภาพที่ 5.15


(ก) ชิ้นงานหล่อจากทรายแม่น้ำโขง


(ข) ชิ้นงานหล่อจากทรายระยอง

ภาพที่ 5.15 ลักษณะของชิ้นงานหล่อด้านข้างซ้าย

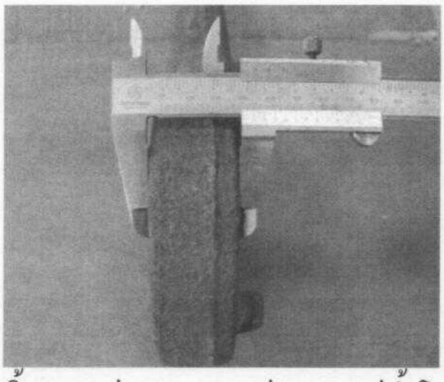
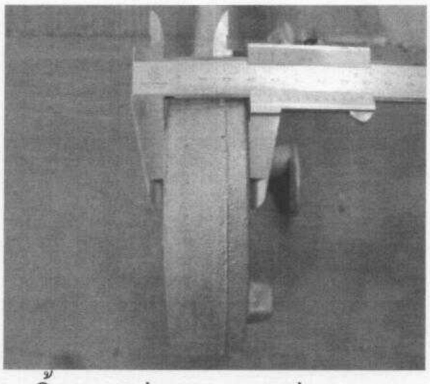
จากนั้นนำมาเปรียบเทียบส่วนหางจะเห็นได้ว่าลักษณะของชิ้นงานหล่อ ที่ได้จากแบบหล่อทรายแม่น้ำโขง มีขนาดใกล้เคียงกันมากกับชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายระยอง ดังแสดงในภาพที่ 5.16

(ก) ชิ้นงานหล่อจากแบบหล่อทรายแม่น้ำโขง (ข) ชิ้นงานหล่อจากแบบหล่อทรายระยอง

ภาพที่ 5.16 เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานหล่อส่วนหางมีขนาด 5.4 cm.

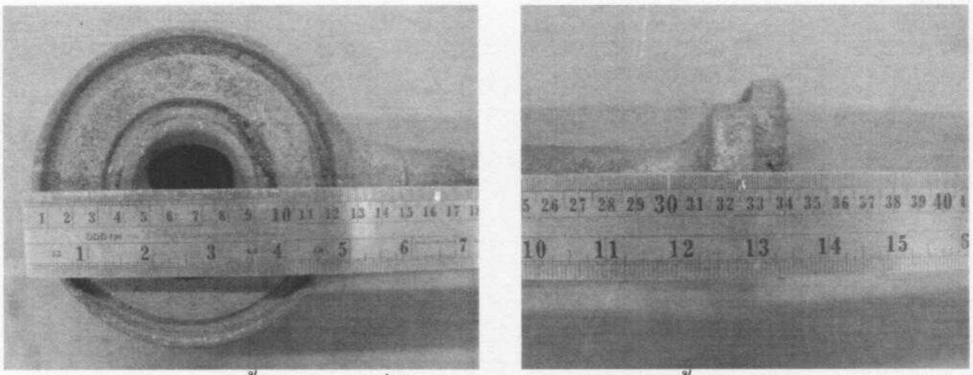
เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับส่วนหัว จะเห็นได้ว่ามีขนาดใกล้เคียงกันมากกับชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายระยอง ดังแสดงในภาพที่ 5.17

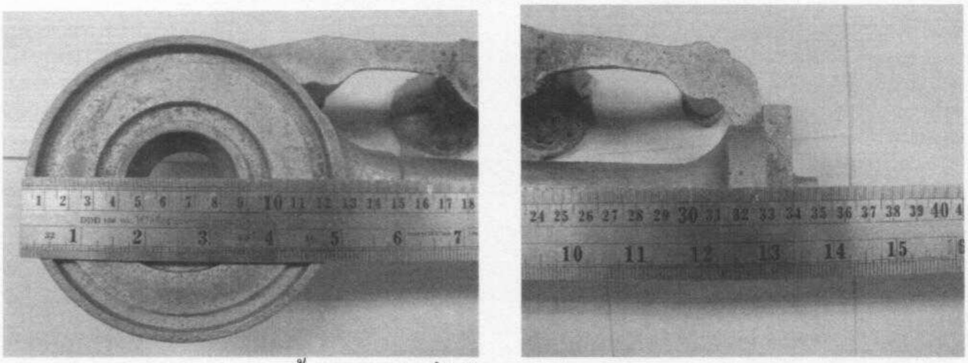
(ก) ชิ้นงานหล่อจากแบบหล่อทรายแม่น้ำโขง (ข) ชิ้นงานหล่อจากแบบหล่อทรายระยอง

ภาพที่ 5.17 ส่วนหัวมีขนาด 3.4 cm.

ส่วนการเปรียบเทียบด้านความยาว จะเห็นได้ว่าขนาดความยาวของชิ้นงานหล่อจากส่วนหัวถึงส่วนหาง ที่ได้จากแบบหล่อทรายแม่น้ำโขง มีขนาดใกล้เคียงกันมากกับชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายระยอง ดังแสดงในภาพที่ 5.18



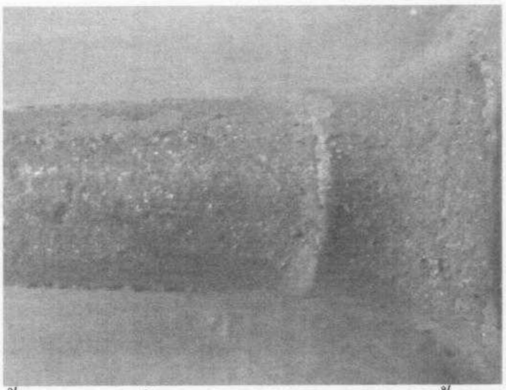
(ก) ชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายแม่น้ำโขง

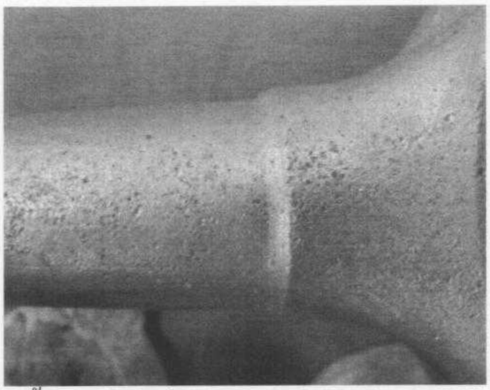


(ข) ชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายระยอง

ภาพที่ 5.18 ขนาดความยาวจากส่วนหัวถึงส่วนหาง เท่ากับ 24.5 cm.

ด้านการเปรียบเทียบสภาพผิวของชิ้นงานหล่อ จะเห็นได้ว่าสภาพผิวของชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายแม่น้ำโขงมีสภาพผิวที่หยาบกว่า เนื่องจากทรายที่ใช้ทำแบบจะมีขนาดใหญ่กว่าทรายระยองเล็กน้อย แต่มีจุดบกพร่อง เช่น รูพรุนหรือตามด น้อยกว่าชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายระยอง ทั้งนี้อาจจะเนื่องจากค่าการซึมผ่านอากาศมีค่ามาก มีการถ่ายเทอากาศออกจากแบบได้ดี ดังแสดงในภาพที่ 5.19





(ก) ชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายแม่น้ำโขง (ข) ชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายระยอง

ภาพที่ 5.19 สภาพผิวของชิ้นงานหล่อ

จากการทดสอบนำแบบหล่อทรายที่รื้อแบบเอาชิ้นงานหล่อออกแล้วไปชั่งน้ำหนัก หลังเทหล่อน้ำโลหะแล้วนำไปเปรียบเทียบกับน้ำหนักของแบบหล่อก่อนเท ที่ส่วนผสม 4.5% น้ำหนักก่อนเท = 12.3 kg. และหลังเท = 12.03 kg. น้ำหนักที่หายไป = 0.27 ที่ส่วนผสม 6.5% น้ำหนักก่อนเท = 14.3 kg. และหลังเท = 14.08 kg. น้ำหนักหายไป = 0.22 ที่ส่วนผสม 8.5% น้ำหนักก่อนเท = 16.38 kg. และหลังเท = 16.13 kg. น้ำหนักหายไป = 0.25 ซึ่งสาเหตุที่น้ำหนักของแบบหล่อทรายหายไปนั้น เนื่องมาจากการระเหยกลายเป็นไอของตัวประสาน (ฟีโนลิคเรซิ่น) และกลายเป็นขี้เถ้า ในช่วงระหว่างที่ได้รับความร้อนจากการเทหล่อน้ำโลหะ ที่อุณหภูมิ 1,530°C จึงทำให้น้ำหนักของแบบหล่อทราย มีน้ำหนักลดลง และอีกอย่างหนึ่งก็คือช่วงทำการรื้อแบบทรายนั้น ทรายทำแบบหล่ออาจจะติดไปกับดินเหนียวผสมกราไฟท์ที่ใช้เป็นตัวอุดกันรั่วระหว่างแบบหล่อตัวบนและตัวล่าง จึงทำให้น้ำหนักที่ได้ลดลง แต่จากการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักที่หายไปมีค่าที่น้อยมาก จึงไม่มีผลใดๆ ต่อการหล่อชิ้นงาน และต่องานวิจัยนี้ จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้ทรายแม่น้ำโขงนี้ทำแบบหล่อ

ดังนั้นการทำแบบหล่อเปลือก (Shell Mould) สามารถใช้ทรายแม่น้ำโขงที่มีในท้องถิ่นเป็นวัตถุดิบทดแทนทรายทะเล หรือทรายระยองได้ โดยได้ทำการทดสอบถึงสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางกล ซึ่งทำการทดสอบตามมาตรฐานของ AFS. เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้ทรายแม่น้ำมาทดแทนทรายทะเล ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาสมบัติทุกด้านแล้ว สามารถใช้ทดแทนกันได้ ทำให้ประหยัดต้นทุน และลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เพราะฉะนั้นทรายแม่น้ำโขงจังหวัดเลย สามารถที่จะใช้ทดแทนทรายทะเลหรือทรายระยองได้จริง

บทที่ 6
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสมบัติของทรายแม่น้ำโขง จังหวัดเลย หลังจากที่ได้ทดสอบและวิเคราะห์ผล ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 และ 5 จึงสามารถนำมาสรุปผลได้ดังนี้

6.1 สมบัติที่เหมาะสมตามมาตรฐาน

ขนาดความละเอียดของเม็ดทรายแม่น้ำโขง มีขนาดความละเอียดและการกระจายตัวที่เหมาะสำหรับนำไปทำแบบหล่อเปลือก (Shell Mould) โดยมีการกระจายตัวที่มากกว่า 75% คือ อยู่ในช่วง Mesh no. 40, 50 และ 70 มีปริมาณรวมกันแล้ว 93% ซึ่งมากกว่า 75% จึงถือได้ว่ามีการกระจายตัวที่มากกว่าและดีกว่า มีขนาดเม็ดทรายที่ไม่เล็กและไม่ใหญ่เกิน จึงเหมาะที่จะนำไปทำแบบหล่อ ส่วนปริมาณฝุ่นที่ได้จากการทดสอบมีค่าต่ำจึงไม่ส่งผลต่อการนำทรายไปทำแบบหล่อ

เปอร์เซ็นต์ดินเหนียวที่ได้จากการทดลองมีจำนวนน้อย ซึ่งเป็นผลดีสำหรับงานหล่อโลหะ ในงานวิจัยนี้ ซึ่งในคุณสมบัติของทรายหล่อที่ดีนั้น ยิ่งถ้าปริมาณดินเหนียวต่ำก็จะจะช่วยให้ลดการใช้ปริมาณเรซิ่น เพราะดินจะส่งผลต่อปริมาณตัวประสานที่จะต้องผสมกับทราย ถ้ามีดินเหนียวมากก็จะทำให้สิ้นเปลืองตัวประสานและจะทำให้ทรายยึดเกาะกับเรซิ่นได้ดี เพิ่มความแข็งแรงของแบบหล่อได้

ลักษณะรูปร่างของเม็ดทราย (Shape) มีหลายสี ผิวหยาบขรุขระ รูปร่างจะมีทั้งที่เป็นเม็ดกลมปานกลาง (Medium sphericity) ปนกับเม็ดกลมต่ำ (Low sphericity) จัดอยู่ในกลุ่มที่มีเหลี่ยมมุมมน (Sub- angular) และชนิดเม็ดกลม (Sub-Rounded) ปนกัน ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์ผลหาขนาดความกลมแล้วจัดอยู่ในกลุ่มที่เป็นเม็ดกลม เมื่อนำไปทำแบบหล่อแล้วให้ความแข็งแรงสูง

6.2 สมบัติทางเคมี

ผลที่ได้จากการศึกษา ทรายแม่น้ำโขงมีซิลิก้า (SiO_2) อยู่ 88.43% เมื่อเปรียบเทียบกับทรายระยองพบว่า มีปริมาณที่ต่ำกว่าทรายระยองเล็กน้อย ซึ่งทรายระยองมีปริมาณซิลิก้าอยู่ 98.8% แต่ทรายแม่น้ำโขงมีธาตุอื่นที่มีมากกว่า คือ Al_2O_3, CaO, และ MgO ส่วนธาตุที่มีในทรายระยองแต่ไม่มี

ในทรายแม่น้ำโขง คือ Fe_2O_3 และธาตุที่มีในทรายแม่น้ำโขงแต่ไม่มีในทรายระยอง คือ K_2O, P_2O_5 และTiO_2 ซึ่งปริมาณของซิลิก้า (SiO_2) เมื่อนำทรายแม่น้ำไปทำแบบหล่อแล้วเทหล่อน้ำโลหะที่อุณหภูมิ 1,530°C แบบหล่อสามารถต้านทานความร้อนได้โดยไม่มีการแตกร้าว ซึ่งปริมาณของซิลิก้าที่มี
ต่ำกว่านี้จึงสามารถนำมาทำแบบหล่อเปลือก (Shell Mould)

ส่วนค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของทรายแม่น้ำที่มีความเป็นด่างจะช่วยในการลดเวลาการก่อตัวของแบบไม่ให้ช้าจนเกินไป เนื่องจากตัวประสานที่ใช้เป็นฟีโนลิคเรซิ่นซึ่งใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จึงทำให้ใช้ตัวประสานน้อยทำให้แบบหล่อที่ได้แข็งตัวได้เร็ว เพราะฉะนั้นจึงมีความเหมาะสมกับการนำไปทำแบบหล่อ

6.3 ส่วนผสมทรายที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบหล่อเปลือก

อัตราส่วนระหว่างทราย และฟีโนลิคเรซิ่นที่เหมาะสม สรุปได้ว่า ตั้งแต่ส่วนผสมของฟีโนลิคเรซิ่น 4-7.5% (40-75 g) ต่อทราย 1,000 g อุณหภูมิที่ใช้ให้เกิดการก่อตัว อุณหภูมิ 250°C จะได้แท่งทรายตัวอย่างหรือชิ้นงานตัวอย่างที่มีความสมบูรณ์ ดันแท่งทรายออกมาจากกระบอกโลหะ หรือแกะชิ้นงานตัวอย่างออกจากแบบโลหะ สามารถทำได้ง่าย มีความแข็งที่พอดี ไม่ทำให้เสียเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงาน และสิ้นเปลืองตัวประสาน

ส่วนอัตราส่วนระหว่างทรายและฟีโนลิคเรซิ่นที่เหมาะสม ในการขึ้นรูปทำแบบหล่อทราย(Mould) คือ สูตรที่ 2 โดยใช้ส่วนผสมของฟีโนลิคเรซิ่น 6.5% (305 g) กับทราย 4,695 g อุณหภูมิในการก่อตัว 250°C ขึ้นรูป จะทำให้ได้แบบหล่อที่มีความสมบูรณ์ แกะออกจากแบบโลหะได้ง่ายและรวดเร็ว ทั้งตัวบนและตัวล่าง ผิวของแบบหล่อจะค่อนข้างเรียบไม่หยาบขรุขระ แข็งแรง มีความสามารถในการซึมผ่านสูง (Permeability) = 704.75 cm/s มีความหนาแน่น (Density) = 1.359 g/cm^3 และมีความต้านทานต่อแรงอัด = 564 N/cm^2 หรือ 57.49 kg/cm^2 ความต้านทานต่อแรงดึง = 187.14 N/cm^2 หรือ 19.07 kg/cm^2 เมื่อนำไปเทหล่อสามารถต้านทานอุณหภูมิได้สูงถึง 1,530°C เมื่อทำการรื้อแบบออกมาชิ้นงานหล่อที่ได้ไม่มีการหดตัว มีขนาดเท่ากับแบบโลหะโดยมีขนาด Ø ของแบบโลหะและชิ้นงาน ส่วนหัว = 13 cm. Ø ส่วนหาง = 5.4 cm. ความหนาของส่วนหัว = 3.4 cm. และความยาวจากส่วนหัวถึงส่วนหาง = 24.5 cm. และผิวของชิ้นงานจะค่อนข้างเรียบไม่มาก เนื่องจากเม็ดทรายแม่น้ำโขงมีขนาดใหญ่กว่าทรายทะเล จึงทำให้ชิ้นงานหล่อที่ได้มีผิวที่เรียบไม่มาก มีรูพรุนหรือตามดเล็กน้อยเป็นบางจุด รายละเอียดของชิ้นงานทุกจุดมีครบสมบูรณ์ มีน้ำหนัก

4.5kg. เมื่อนำชิ้นงานหล่อไปเปรียบเทียบกับแบบโลหะหรือแบบแบบพิมพ์ได้ขนาดและรูปร่างเท่ากันและมีขนาดมิติใกล้เคียงกับชิ้นงานหล่อของทรายระยอง

ดังนั้นการทำแบบหล่อเปลือกสามารถใช้วัตถุดิบทดแทนกันได้ โดยใช้ทรายแม่น้ำโขงที่มีในท้องถิ่นนำมาใช้ในการทำแบบหล่อทรายเปลือก (Shell Mould) ทดแทนทรายทะเลได้จริง

6.4 ข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้

ในการทำแบบหล่อกระสวนโลหะที่ใช้ในการขึ้นรูป กับตัวประสานมีราคาค่อนข้างแพง และต้องใช้พลังงานมากในการให้ความร้อน ซึ่งจะทำให้เกิดมลภาวะโดยส่งกลิ่นออกมาในขณะที่เผาแบบ และเทน้ำโลหะ เพราะฉะนั้นจึงควรมีการพิจารณาถึงผลกระทบที่จะเกิดกับสิ่งแวดล้อม และในด้านความคุ้มค่าต่อการลงทุนด้วย

ส่วนประเด็นที่ยังต้องศึกษาอีก คือ อิทธิพลที่จะเกิดขึ้นจากธาตุผสม และขนาดของทรายที่มีผลต่องานหล่อชนิดต่างๆ ซึ่งขนาดรูปร่างและธาตุผสมของทรายแม่น้ำที่นำมาจากต้นน้ำและตอนปลายของแม่น้ำ จะมีข้อแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระยะทางและพื้นที่ที่น้ำพัดพาไหลผ่าน จะมีวัสดุแร่ธาตุอะไรปะปนมา และถูกพัดพามากับน้ำ โดยเฉพาะลำน้ำใหญ่ๆ เช่น แม่น้ำโขง ชี และแม่น้ำมูล ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดทรัพยากรธรรมชาติที่มีปริมาณมาก หากสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มได้ก็จะก่อให้เกิดผลกระทบทางเศรษฐกิจอย่างมากต่อประเทศ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

นิรันดร์ ลาภสาร และ นายศุภชัย ชัยโยชน์.การศึกษาเครื่องปั้นดินเผาจากแหล่งโบราณสถานบ้านคูเมือง ตำบลคูเมืองอำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี โดยเทคนิคการวาวด้วยรังสีเอกซ์.โครงการวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ :มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, 2555.

บรรเจิด แสงจันทร์. การเปรียบเทียบคุณสมบัติทรายหล่อแต่ละแหล่งในประเทศไทย.วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2541.

พรศิลป์ พิเศษ และ มณีรัตน์ พิมพ์พิทักษ์.การศึกษาคุณสมบัติของแบบหล่อทราย ฟูรานที่ผ่านการใช้งาน กรณีศึกษา : ทรายจากแม่น้ำโขงและแม่น้ำมูล.โครงการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ :มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2547.

ศศิพันธุ์ คะวีรัตน์. "การวิเคราะห์ธาตุโดยการวาวรังสีเอกซ์ (X-ray Fluorescence Spectroscopy: XRFS)", http://www.tint.or.th/adv/phys_oap/xrf/xrf00.html.สิงหาคม, 2550.

สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ.เทคโนโลยีการผลิตเหล็กหล่อเบื้องต้น. สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ: สมาพันธ์สมาคมอุตสาหกรรม,2532.

สุทน พัฒนศิริ และ บัณฑิต ใจชื่น.หล่อโลหะ2.กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์ประกอบเมไตร, 2528.

สุภชัย ประเสริฐสกุล.เทคโนโลยีงานหล่อโลหะ2.อุบลราชธานี:สำนักพิมพ์ไซน์แอนด์เอ็นจีเนียริ่ง, 2545.

สุริยา โชคสวัสดิ์. การศึกษาความเป็นไปได้การนำทรายแม่น้ำมูลมาใช้ทำแบบหล่อโดยวิธี FURAN NO-BAKE. โครงการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ :มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2550.

สุริยา โชคสวัสดิ์. เอกสารประกอบการสอน วิชา การประลองการหล่อโลหะเบื้องต้น. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะวิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2550.

หริส สูตะบุตร และ เคนยิจิยิอิวา.หล่อโลหะ. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์การพิมพ์ดวงกมล, 2527.

Robert Maxwell.Mould& Core Material for the steel foundry. England: New York, 1967.

R.Yangand et al."Alloy development and shell mould casting of gamma TiAl",The Journal of materials processing technology.135: 179-188,2003.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

MehrnetSimsir,LeventCenkKumruoglu and Ali Ozer."An investigation into stainless-steel/structural-alloy-steel bimetal produced by shell mould casting", Material and Design. 30: 264-270, 2003.

Y.M.LiandR.D.Li."Effect of the casting process variables on microporosity and mechanical properties in an investment cast aluminum alloy", Science and technology of advance material. 2: 277-280, 1999.

Liu Feng,GuoXueFengandYang Gencavg."Special shellmould for solidification of undercoolednickel – based alloy melts", Materials Science and Engineering. 300: 190-195, 2000.

ภาคผนวก

การปรับตั้งค่าการทำงานของเครื่องคัดขนาดแบบใช้แรงสั่นสะเทือน (Vibratory sieve shaker) ยี่ห้อ FRITSCH รุ่น Ibratory sieve shaker analysette 3

การปรับตั้งค่าการทำงานเครื่องสั่นที่แผงควบคุม มีปุ่มให้เลือกในการปรับตั้ง 4 อย่าง คือ

1. Timer : position " off " = off

Position " on" = Continuous operation

Position "0-60" = Sieving time 0 to 60 minutes

กำหนดให้ใช้เวลา 15 นาที ตามมาตรฐานของ AFS.

2. Set Amplitude : ความรุนแรงของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง สามารถเลือกได้ระยะความสูง ตั้งแต่ 0.5 ถึง 3 mm. เริ่มต้นจาก 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 mm. ปกติแล้วจะเลือกใช้ 2.0 mm.

3. Interval Time : ช่วงห่างของเวลาการสั่น สามารถเลือกปรับได้ตั้งแต่ 1 - 10 วินาที

4. Function switch : ลักษณะการสั่นมีให้เลือก 4 แบบ ดังนี้

- Permanent approx. 3000 vibrations / minute, amplitude variable, no interval control
- Interval approx. 3000 vibrations / minute, amplitude variable, Interval control variable
- Micro Permanent approx. 4500 vibrations / minute, amplitude constant,no interval.
- Micro Interval approx. 4500 vibrations / minute, amplitude constant,interval variable.

ถ้าเลือกแบบ Interval ให้ปรับตั้งค่า Interval Time ตามที่ต้องการ

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายตีเพชร ไชยศล
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2535-2538 วิทยาลัยเทคนิคนครพนม ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)สาขาวิชาช่างเชื่อมโลหะ พ.ศ. 2538-2540 วิทยาลัยเทคนิคนครพนม ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชาเทคนิคโลหะ พ.ศ. 2540-2542 วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม ประกาศนียบัตรครูเทคนิคชั้นสูง (ปทส.) สาขาวิชาเชื่อมและประสาน
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2542-2546 : อาจารย์แผนกช่างเชื่อมโลหะ วิทยาลัยเทคนิคสกลนคร พ.ศ. 2546-2548 : อาจารย์แผนกเทคนิคพื้นฐาน วิทยาลัยเทคนิคบ้านแพง
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	อาจารย์ สาขางานโลหะการ วิทยาลัยเทคนิคนครพนม มหาวิทยาลัยนครพนม เลขที่ 214 หมู่ 12 ถนนนิตโย ตำบลหนองญาติ อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม 48000 โทรศัพท์ (042) 511484