

ผลของสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อขึ้นต่อสภาพผิวชิ้นงานเหล็กหล่อ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2558

**EFFECTS OF ADDITIVES IN GREEN SAND MOLD  
ON SURFACE FINISH OF CAST IRON**



**Wichet Phueaktaeng**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Metallurgical Engineering  
Suranaree University of Technology**

**Academic Year 2015**

## ผลของสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อขึ้นต่อสภาพผิวชิ้นงานเหล็กหล่อ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.ฐาปนีย์ พัทธวิเศษ)

ประธานกรรมการ

(อ. ดร.สงบ คำค้อ)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รศ. ดร.พรวิภา วงศ์ปัญญา)

กรรมการ

(อ. ดร.สารัมภ์ บุญมี)

กรรมการ

(อ. ดร.ปัญญา บัวฮัมบุรา)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

วิเชษฐ์ เผือกแดง : ผลของสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อขึ้นต่อสภาพผิวชิ้นงานเหล็กหล่อ (EFFECTS OF ADDITIVES IN GREEN SAND MOLD ON SURFACE FINISH OF CAST IRON) อาจารย์ที่ปรึกษา: อาจารย์ ดร.สงวน คำคือ, 82หน้า.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อขึ้นที่มีต่อสภาพผิวของชิ้นงานเหล็กหล่อและการส่งผลต่อการเกิดมลภาวะทางอากาศในพื้นที่การทำงาน การศึกษามี 3 ส่วน คือ 1) การศึกษาผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติของทรายแบบหล่อ 2) การศึกษาผลของสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อขึ้นที่มีต่อสภาพผิวของชิ้นงานหล่อ และ 3) การศึกษาการเกิดแก๊สจากแบบหล่อทรายที่ผสมด้วยสารเติมแต่งชนิดกัน สารเติมแต่งที่ทำการศึกษา ได้แก่ แป้ง ข้าวโพด เดกซ์ทริน โพลีคาร์บอน และซีโคล โดยผสมสารเติมแต่งปริมาณ 1-10เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในทรายแบบหล่อขึ้นที่มีเบนทอไนต์เป็นตัวประสานในปริมาณที่ต่างกัน การทดสอบสมบัติทรายแบบหล่อที่ผสมด้วยสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ ได้ดำเนินการตามมาตรฐานการทดสอบทรายแบบหล่อของสมาคมการหล่อ โลหะแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา ทรายแบบหล่อที่มีสมบัติที่เหมาะสมโดยการผสมสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ จะนำมาปั้นแบบหล่อทรายและนำไปทำการหล่อเหล็กหล่อเทาชิ้นงานเหล็กหล่อที่ได้ถูกนำไปตรวจวัดความหยาบผิวด้วยเครื่อง Mitutoyo Surftest SV 400และในระหว่างน้ำเหล็กเย็นตัวในแบบหล่อได้ทำการเก็บแก๊สที่เกิดขึ้นจากแบบหล่อ แก๊สตัวอย่างที่ได้ถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี จากการศึกษาพบว่า การผสมทรายแบบหล่อด้วยดินเหนียวชนิด โซเดียมเบนทอไนต์ในปริมาณ 6เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและสารเติมแต่งชนิด โพลีคาร์บอนในปริมาณ 2เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะทำให้ทรายแบบหล่อมีสมบัติที่ดี โดยมีค่าความแข็งแรงอัดในสภาพขึ้น 108kN/mm<sup>2</sup>และความแข็งแรงเฉือนในสภาพขึ้น 26.67kN/mm<sup>2</sup>เมื่อนำทรายดังกล่าวไปทำการหล่อเหล็กหล่อเทา พบว่าชิ้นงานที่ได้จากการหล่อด้วยทรายแบบหล่อที่ผสมด้วยโพลีคาร์บอนทำให้ชิ้นงานหล่อมีค่าความหยาบผิวน้อยที่สุด คือ 3.58-11.01µmจากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจากแบบหล่อทรายในระหว่างการเย็นตัวของน้ำเหล็กในแบบหล่อ พบว่าเกิดสารเบนซีนขึ้นเพียงชนิดเดียว โดยเกิดจากการผสมทรายด้วยโพลีคาร์บอนและซีโคล ซึ่งทำให้เกิดแก๊สในปริมาณ 1.796-3.306ppm และ 1.799-2.780ppm ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เบนซีนที่เกิดขึ้นมีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยอยู่มาก

ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา\_\_\_\_\_



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีอันเนื่องมาจากได้รับความร่วมมือจากบุคคลหลายส่วนด้วยกัน ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบุคคลต่างๆ เหล่านี้ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือข้าพเจ้าในระหว่างการดำเนินงานวิจัยนี้

อาจารย์ ดร. สงบ คำคือ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้โอกาสทางศึกษา ให้คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัยนี้ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมถึงช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนกระทั่งงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

อาจารย์ ดร. สारัมภ์ บุญมี อาจารย์ ดร.รัตนบริสุทธิกุล อาจารย์ ดร.ปัญญา บัวสมบุรา รองศาสตราจารย์ ดร.พรวิสา วงศ์ปัญญา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐาปนีย์ พัชรวิชญ์อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่คอยให้คำปรึกษาในด้านวิชาการ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เกียรติศักดิ์ บัตรสูงเนิน อาจารย์ประจำสาขาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่คอยให้คำปรึกษาในด้านวิชาการ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณวิชาญ วีระชัยสุนทร คุณชัยวัฒน์ คงมันกลาง เจ้าหน้าที่ประจำ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผู้ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ และอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท แอมคอล อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล (ไทยแลนด์) จำกัด ที่สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณอัญชลี เกียรติศักดิ์ศรี บริษัท พี.เอส.สตีล จำกัด ที่คอยช่วยเหลือวัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย

และสุดท้าย คุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่งตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่เป็นกำลังใจที่ดีในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ดี

วิเชษฐ์ เผือกแดง

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฐ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ</b> .....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	4
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	5
<b>2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	6
2.1 ทรายแบบหล่อ.....	6
2.1.1 ชนิดของแบบหล่อทราย.....	6
2.1.2 สมบัติของทรายแบบหล่อ.....	7
2.1.3 ตัวประสาน.....	9
2.2 สารเติมแต่ง.....	12
2.2.1 ชนิดของสารเติมแต่ง.....	12
2.2.2 ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อความหยابผิว.....	14
2.2.3 ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสภาวะแวดล้อม.....	17

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>3 การทดสอบสมบัติทรายแบบหล่อ</b> .....	21
3.1 ชนิดและสมบัติของทรายแบบหล่อ.....	21
3.1.1 รูปร่างของเม็ดทราย.....	21
3.1.2 ประเภทของทรายแบบหล่อ.....	22
3.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง.....	23
3.3 ตัวแปรการทดสอบ.....	23
3.4 การทดสอบสมบัติของทรายแบบหล่อ.....	24
3.4.1 การทดสอบความชื้น.....	24
3.4.2 การทดสอบความโปร่งอากาศ.....	25
3.4.3 การทดสอบความแข็งแรง.....	27
3.4.4 การวัดค่าปริมาณดินเหนียว.....	28
3.4.5 การวัดค่าความละเอียดของเม็ดทราย.....	33
3.5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล.....	36
3.5.1 ผลของเวลาในการผสมทรายแบบหล่อต่อค่าความแข็งแรง.....	36
3.5.2 ผลของปริมาณน้ำต่อค่าความแข็งแรงของทรายแบบหล่อ ชนิดที่มีโซเดียมเบนทอไนต์เป็นตัวประสาน.....	39
3.5.3 ผลของสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ ต่อค่าความแข็งแรง ของทรายแบบหล่อที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน.....	44
3.6 สรุปผลการทดลอง.....	49
<b>4 การทดสอบความหยาบผิวของชิ้นงานหล่อ</b> .....	50
4.1 บทนำ.....	50
4.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	55
4.3 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล.....	58
4.3.1 ผลของแป้งข้าวโพดในทรายแบบหล่อต่อความหยาบผิว ของชิ้นงานหล่อ.....	58



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.2 ผลของเดกซ์ทรินในทรายแบบหล่อต่อความหยาบผิว ของชิ้นงานหล่อ.....	60
4.3.3 ผลของโพลีคาร์บอนในทรายแบบหล่อต่อความหยาบผิว ของชิ้นงานหล่อ.....	61
4.3.4 ผลของซีโกลในทรายแบบหล่อต่อความหยาบผิว ของชิ้นงานหล่อ.....	62
4.4 สรุปผลการทดลอง.....	63
<b>5 ผลของสารเติมแต่งต่อสถานะแวลลุ่ม</b> .....	<b>64</b>
5.1 บทนำ.....	64
5.2 ชนิดของแก๊สที่เกิดขึ้นจากแบบหล่อทรายในระหว่างการเย็นตัวของเหล็กหล่อ.....	64
5.2.1 สารประกอบอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน.....	64
5.2.2 สารอินทรีย์ระเหย.....	65
5.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	66
5.4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล.....	69
5.4.1 การคำนวณหาความเข้มข้นของแก๊ส.....	72
5.4.2 ผลของโพลีคาร์บอนในทรายแบบหล่อต่อการเกิดแก๊สเบนซีน.....	74
5.4.3 ผลของซีโกลในทรายแบบหล่อต่อการเกิดแก๊สเบนซีน.....	76
5.5 สรุปผลการทดลอง.....	77
<b>6 บทสรุป</b> .....	<b>78</b>
6.1 ผลของสารเติมแต่งต่อสมบัติของทรายแบบหล่อ.....	78
6.2 ผลของสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อขึ้นต่อสภาพผิวของชิ้นงานหล่อ.....	78
6.3 ผลของสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อต่อสถานะแวลลุ่ม.....	79
รายการอ้างอิง.....	80
ประวัติผู้เขียน.....	82

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การเกิดสารมลพิษต่าง ๆ จากการหล่อเหล็กด้วยทรายแบบที่มีส่วนผสมของสารเติมแต่งต่างกัน .....	2
1.2 ความแตกต่างของความหยาบผิวชิ้นงานหล่อและการเกิดสารระเหยอินทรีย์เมื่อใช้สารเติมแต่งต่างกัน .....	3
2.1 ส่วนประกอบทางเคมี ของโซเดียมเบนทอไนต์และแคลเซียมเบนทอไนต์ .....	
.....102.2 ผลของโซเดียมเบนทอไนต์และแคลเซียมเบนทอไนต์ต่อสมบัติของทรายแบบ .....	10
2.3 ความเข้มข้นของสารเคมีที่ปลอดภัยในการทำงาน .....	20
3.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของทรายหล่อธรรมชาติ .....	22
3.2 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของทรายหล่อสังเคราะห์ .....	23
3.3 ตัวอย่างการคำนวณค่าความละเอียดของเม็ดทราย .....	35
3.4 ผลของเวลาการผสมทรายแบบหล่อต่อความแข็งแรงของทรายแบบหล่อที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน .....	38
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบของพื้นผิวและสัญลักษณ์ .....	51
4.2 ปริมาณ โซเดียมเบนทอไนต์และสารเติมแต่งของสภาวะการทดลองต่าง ๆ .....	56
5.1 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของแก๊สอินทรีย์จากการหล่อเหล็กโดยใช้ทรายแบบหล่อที่เติมสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ .....	74

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	ขั้นตอนการศึกษาวิจัย.....5
2.1	ผลของปริมาณน้ำต่อความแข็งแรงของทรายแบบหล่อ.....11
2.2	ผลของปริมาณน้ำต่อความต้านทานแรงอัดในสภาพชื้นของทรายแบบหล่อ.....12
2.3	กลไกการเกิดฟิล์มคาร์บอนที่ผิวทรายแบบหล่อของการหล่อเหล็กกล้า.....16
2.4	กลไกการเกิดฟิล์มคาร์บอนที่ผิวทรายแบบหล่อของการหล่อแบบโฟมหาย.....16
3.1	รูปร่างลักษณะของเม็ดทราย.....21
3.2	เครื่องทดสอบความชื้นของทรายแบบหล่อ.....24
3.3	เครื่องทดสอบความโปร่งอากาศ.....25
3.4	อุปกรณ์เตรียมทรายมาตรฐาน.....26
3.5	เครื่องทดสอบความแข็งแรงของทรายเอนกประสงค์.....28
3.6	เครื่องมือการวัดค่าปริมาณดินเหนียว.....29
3.7	ชุดอุปกรณ์ทดสอบหาปริมาณดินเหนียวที่คงสภาพในทรายแบบหล่อ.....30
3.8	การสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อทดสอบหาปริมาณดินเหนียวในทรายแบบหล่อ.....32
3.9	ตัวอย่างผลการทดสอบปริมาณดินเหนียวที่คงสภาพเมื่อใช้ 5% และ 10% ของดินเหนียวที่ยังคงสภาพ.....33
3.10	การทดสอบหาความละเอียดของเม็ดทราย.....34
3.11	ผลของเวลาในการผสมทรายแบบหล่อต่อความแข็งแรงของทรายแบบหล่อ ที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ 2%.....36
3.12	ผลของเวลาในการผสมทรายแบบหล่อต่อความแข็งแรงของทรายแบบหล่อ ที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ 4%.....37
3.13	ผลของเวลาในการผสมทรายแบบหล่อต่อความแข็งแรงของทรายแบบหล่อ ที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ 6%.....38

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 ผลของปริมาณน้ำต่อค่าความแข็งแรงอัดของทรายแบบหล่อในสภาพชื้น ที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน .....	40
3.15 ผลของปริมาณน้ำต่อค่าความแข็งแรงอัดของทรายแบบหล่อในสภาพแห้ง ที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน .....	41
3.16 ผลของปริมาณน้ำต่อค่าความแข็งแรงเฉือนของทรายแบบหล่อในสภาพชื้น ที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน .....	42
3.17 ผลของปริมาณน้ำต่อค่าความแข็งแรงเฉือนของทรายแบบหล่อในสภาพแห้ง ที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน .....	43
3.18 ผลของแป้งข้าวโพดต่อค่าความแข็งแรงอัดของทรายแบบหล่อในสภาพชื้น ที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน .....	44
3.19 ผลของแป้งข้าวโพดต่อค่าความแข็งแรงเฉือนของทรายแบบหล่อในสภาพชื้น ที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน .....	45
3.20 ผลของเดกซ์ทรีนต่อค่าความแข็งแรงอัดของทรายแบบหล่อในสภาพชื้น ที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน .....	45
3.21 ผลของเดกซ์ทรีนต่อค่าความแข็งแรงเฉือนของทรายแบบหล่อในสภาพชื้น ที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน .....	46
3.22 ผลของโพลีคาร์บอนต่อค่าความแข็งแรงอัดของทรายแบบหล่อในสภาพชื้น ที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน .....	46
3.23 ผลของโพลีคาร์บอนต่อค่าความแข็งแรงเฉือนของทรายแบบหล่อในสภาพชื้น ที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน .....	47
3.24 ผลของซีโคลต่อค่าความแข็งแรงอัดของทรายแบบหล่อในสภาพชื้น ที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน .....	47
3.25 ผลของซีโคลต่อค่าความแข็งแรงเฉือนของทรายแบบหล่อในสภาพชื้น ที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน .....	48
4.1 ค่าความหยาบสูงสุด (R <sub>y</sub> ).....	51
4.2 ความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิต (R <sub>a</sub> ).....	52

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3	ค่าเฉลี่ยความหยาบของพื้นผิวแบบลิปจุด (Rz)..... 53
4.4	เครื่องวัดความหยาบผิวMitutoyoSurftest SV 400..... 53
4.5	ตัวอย่างค่าความหยาบผิวที่อ่านได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว และค่าความหยาบผิวที่สามารถตั้งพิมพ์ออกมาจากเครื่องวัดความหยาบผิว..... 54
4.6	แสดงผิวชิ้นงานมาตรฐานของสมาคมหล่อโลหะแห่งประเทศไทย C-9..... 54
4.7	การเทน้ำโลหะลงในแบบหล่อทราย..... 56
4.8	ชิ้นงานที่ได้จากการหล่อ..... 57
4.9	ตัวอย่างชิ้นงานสำหรับนำไปวิเคราะห์ความหยาบผิว..... 57
4.10	ผลของของแข็งข้าวโพดในแบบหล่อทรายที่มีต่อความหยาบผิวชิ้นงานหล่อ..... 58
4.11	ผลของเดกซ์ทรินในแบบหล่อทรายที่มีต่อความหยาบผิวชิ้นงานหล่อ..... 60
4.12	ผลของโพลีคาร์บอนในแบบหล่อทรายที่มีต่อความหยาบผิวชิ้นงานหล่อ..... 61
4.13	ผลของซีโคลในแบบหล่อทรายที่มีต่อความหยาบผิวชิ้นงานหล่อ..... 62
5.1	การต่อฟุ้งชุดอุปกรณ์เก็บแก๊สเข้ากับปั๊มดูดอากาศขนาดเล็ก..... 67
5.2	หลอดแก้วชาโคลที่ได้จากการทดลอง..... 67
5.3	การเติมสารละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์เพื่อให้สารละลายอินทรีย์ อยู่ในรูปสารละลาย..... 68
5.4	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารอินทรีย์..... 68
5.5	การฉีดสารละลายเข้าไปในช่องฉีดสารของตัวเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี..... 69
5.6	ผลของโครมาโทแกรมจากการวัดแก๊สซึ่งอยู่ในตัวอย่างส่วนหน้า..... 70
5.7	ตัวอย่างผลของแก๊สเบนซีนที่ได้จากการวัดแก๊สซึ่งอยู่ในตัวอย่างส่วนหน้า..... 70
5.8	ผลของโครมาโทแกรมจากวัดแก๊สซึ่งอยู่ในตัวอย่างส่วนหลัง..... 71
5.9	ตัวอย่างผลของแก๊สเบนซีนที่ได้จากการวัดแก๊สซึ่งอยู่ในตัวอย่างส่วนหลัง..... 72
5.10	ผลของโพลีคาร์บอนในทรายแบบหล่อต่อความเข้มข้นของแก๊สเบนซีนที่เกิดขึ้น..... 75
5.11	ผลของซีโคลในทรายแบบหล่อต่อความเข้มข้นของแก๊สเบนซีนที่เกิดขึ้น..... 76

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

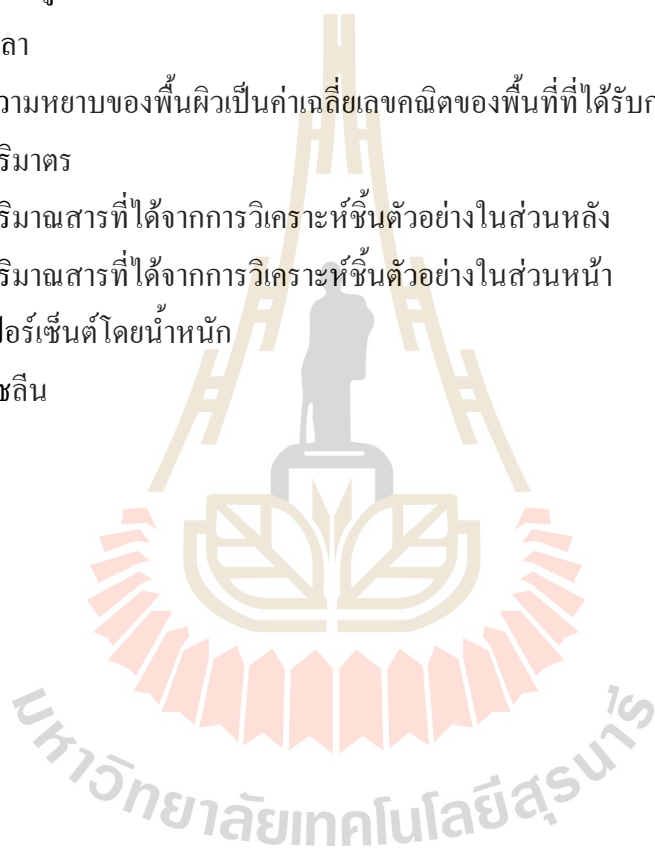
$\mu\text{L}$	=	ไมโครลิตร
$\mu\text{m}$	=	ไมโครเมตร
%	=	เปอร์เซ็นต์
A.F.S	=	สมาคมหล่อโลหะแห่งประเทศไทย
B	=	เบนซีน
Bf	=	ปริมาณของสารที่ได้จากกราฟของการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างในส่วนหน้า
Bb	=	ปริมาณของสารที่ได้จากกราฟของการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างในส่วนหลัง
C	=	คาร์บอน
C	=	ความเข้มข้น
CO	=	คาร์บอนมอนอกไซด์
CO <sub>2</sub>	=	คาร์บอนไดออกไซด์
CS <sub>2</sub>	=	คาร์บอนไดซัลไฟด์
°C	=	องศาเซลเซียส
cc	=	หน่วยปริมาตรมีค่าเท่ากับ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร
cc/sec	=	ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที
cm	=	เซนติเมตร
cm <sup>3</sup>	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
E	=	เอทิลเบนซีน
FC 200	=	เหล็กหล่อเทา ทนแรงดึง 200 MPa ตามมาตรฐานญี่ปุ่น (JIS)
Fe-Mn	=	เฟอร์โรแมงกานีส
Fe-S	=	เฟอร์โรซัลเฟอร์
Fe-Si	=	เฟอร์โรซิลิคอน
FID	=	Flame Ionization Detector
GC	=	Gas Chromatography
g	=	กรัม
H	=	ความสูงของตัวอย่างแบบทรายมาตรฐาน

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

h	= ชั่วโมง
k	= กิโล
kN/m <sup>2</sup>	= กิโลนิวตันต่อตารางเมตร
L	= ลิตร
L/min	= ลิตรต่อนาที
lbs.	= ปอนด์
MB	= Methylene blue
MW	= น้ำหนักโมเลกุล
m <sup>3</sup>	= ลูกบาศก์เมตร
mg	= มิลลิกรัม
mg/kg	= มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
mg/m <sup>3</sup>	= มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
min	= นาที
mL	= มิลลิลิตร
mm	= มิลลิเมตร
mol	= โมล
Na	= โซเดียม
nm	= นาโนเมตร
P	= ความดันของอากาศ
ppm	= หนึ่งในล้านส่วน
Q	= อัตราการไหลของอากาศ
RMS	= root mean square
Ra	= ค่าความเฉลี่ยของพื้นที่ผิวตามอนุกรมเลขคณิต
Ry	= ความหยาบสูงสุด
Rz	= ค่าเฉลี่ยระยะระหว่างช่วงเส้นกราฟไม่สม่ำเสมอ
rpm	= รอบต่อนาที
S	= อัตราส่วนความยาวในช่วงเส้นกราฟ
s	= วินาที

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

$\text{SiO}_2$	=	ซิลิกา (ทรายแก้ว)
$S_m$	=	ค่าเฉลี่ยระยะระหว่างยอดเส้นกราฟ
$T$	=	โทลูอิน
$T$	=	อุณหภูมิ
Temp	=	อุณหภูมิ
$t$	=	เวลา
$tp$	=	ความหยาบของพื้นผิวเป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตของพื้นที่ที่ได้รับการสุ่มเลือก
$V$	=	ปริมาตร
$W_b$	=	ปริมาณสารที่ได้จากการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างในส่วนหลัง
$W_f$	=	ปริมาณสารที่ได้จากการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างในส่วนหน้า
w. p.	=	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
$X$	=	ไซลีน





# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

อุตสาหกรรมงานหล่อจำเป็นต้องใช้ทรายแบบเพื่อช่วยในด้านต้นทุนการผลิต โรงงานหล่อโลหะโดยทั่วไปที่ใช้ทรายแบบขึ้นจึงได้นิยมนำทรายแบบที่ผ่านการหล่อมาปรับปรุงสมบัติ เพื่อให้สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ ทรายที่หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้จะถูกเรียกว่า ทรายในระบบ ก่อนที่จะนำทรายในระบบมาขึ้นเป็นทรายแบบจะต้องตรวจเช็คสมบัติของทรายก่อน โดยจะตรวจเช็คปริมาณดินเหนียวที่เหลืออยู่ ปริมาณดินเหนียวที่เสื่อมสภาพความแข็งแรงอัด/เจือปนทรายขึ้น ความละเอียดของเม็ดทราย เป็นต้น จากนั้นจะปรับปรุงสมบัติส่วนที่ขาดหายไปของทรายเพื่อให้เหมาะสมและพร้อมที่จะใช้งานต่อไปได้ ในทางปฏิบัติจะมีการเติมสารเติมแต่งเพื่อให้ทรายมีคุณภาพเหมาะกับการใช้เป็นทรายแบบหล่อ สิ่งที่น่าสนใจคือผลของคุณภาพ และ/หรือสมบัติของทรายแบบหล่อที่มีต่อสภาพผิวของชิ้นงานหล่อ โรงงานโดยส่วนใหญ่นิยมใช้สารเติมแต่งซีโคล ซึ่งเป็นสารให้คาร์บอนโดยการผสมเข้ากับทรายแบบขึ้นในระบบซึ่งจะช่วยทำให้ผิวสุดท้ายของชิ้นงานหล่อดีมีคุณภาพดี อย่างไรก็ตามสารที่เติมลงไปในการปรับปรุงทรายแบบหล่อที่อาจใช้แทนซีโคลได้ เช่น แป้งข้าวโพด, เดกซ์ทริน และ โพลีคาร์บอน ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จะทำการศึกษาทดลองเปรียบเทียบสารแต่ละชนิดที่เติมลงไปในการปรับปรุงทรายแบบหล่อขึ้นที่จะส่งผลต่อสภาพผิวชิ้นงานหล่อ

A. B. Draper (1977) ได้รายงานการวิจัยเกี่ยวกับผลของ lustrous carbon ในทรายแบบหล่อ โดยพบว่า จะเกิดฟิล์มบางซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของน้ำโลหะกับแบบทราย โดยฟิล์มนี้จะส่งผลทำให้ผิวของชิ้นงานหล่อมีความหยาบต่ำ แม้ว่าการเกิด lustrous carbon ในทรายแบบ จะเป็นที่รู้จักในแวดวงการผลิตโลหะมานานอย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานในเชิงลึกที่อธิบายถึงผลของสารเติมแต่งต่อลักษณะการเกิด lustrous carbon และการส่งผลต่อสภาพผิวของชิ้นงานหล่ออย่างเป็นระบบ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความยุ่งยากในการเตรียมการหล่อและเทคนิคในการสังเกตการเกิด lustrous carbon ในระหว่างการหล่อ การก่อตัวของ lustrous carbon จะเพิ่มขึ้นมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งที่มีอยู่ในทรายแบบขึ้นและขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ อีกเช่น การลดความโปร่งอากาศของทรายแบบการลดระยะเวลา และเพิ่มอุณหภูมิเทของน้ำโลหะหลอมเหลว

Jaroslav Beno และ Petr Jelinek(2008) ได้ศึกษาผลของสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อต่อการเกิดมลพิษในบริเวณที่ทำการหล่อ โดยมีผลแสดงดังตารางที่ 1.1จากการศึกษาพบว่าทรายแบบที่ผสมสารเติมแต่งปล่อยมลพิษน้อยกว่าและทรายแบบที่มีสารเติมแต่งแกรไฟต์ปล่อยมลพิษออกมาน้อยที่สุด

Jaroslav Beno และ Petr Jelinek(2008) ได้ศึกษาเพิ่มเติมถึงอิทธิพลของเบนทอนไนต์ต่อความหยาบผิวของเหล็กหล่อและปริมาณสารระเหยง่ายในทรายผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 1.2 โดยแบ่งเป็น 3 ส่วนผสมของทรายสำหรับการปั้นแบบทรายขึ้น จากนั้นนำเหล็กหล่อเทลงแบบทรายขึ้นที่ปั้นไว้ รอจนน้ำโลหะแข็งตัวแล้วเอาชิ้นงานออกจากแบบหล่อทราย จากนั้นจะนำเอาชิ้นงานหล่อไปปิดด้วยแปรงทองเหลืองเพื่อทำความสะอาดไม่ให้ทรายติดกับผิวชิ้นงาน แล้วจึงนำชิ้นงานมาทดสอบความหยาบผิว ซึ่งมีอุปกรณ์ทดสอบ 2 แบบด้วยกันคือ 1. SVMU Standard และ 2. Mitutoyo Surf test 211 ผลการทดสอบที่ได้พบว่า ค่าความหยาบเฉลี่ยของผิว (Ra) ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง SVMU Standard ของชิ้นงานที่ได้จากการหล่อด้วยทรายแบบที่เป็นทรายแก้วผสมกับตัวประสานชนิดอะมอร์ฟัสพิเศษมีค่าความหยาบเฉลี่ยของผิวต่ำที่สุด ส่วนค่าความหยาบเฉลี่ยของผิว (Ra) ที่ทดสอบด้วยเครื่อง Mitutoyo Surf test 211 พบว่าชิ้นงานจากทรายแบบที่เป็นทรายแก้วผสมกับตัวประสานชนิดโซเดียมเบนทอนไนต์และแกรไฟต์มีค่าความหยาบเฉลี่ยของผิวต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามทรายที่ผสมสารชนิดอะมอร์ฟัสจะ ทำให้ค่าความหยาบผิวลดลงและค่ามลพิษจากสารอินทรีย์ระเหยง่ายลดลงจากเดิม

ตารางที่ 1.1 การเกิดสารมลพิษต่าง ๆ จากการหล่อเหล็กด้วยทรายแบบที่มีส่วนผสมของสารเติมแต่งต่างกัน(Jelinek และคณะ, 2008)

องค์ประกอบของส่วนผสม	ความชื้น (%)	VOC (mg) <sup>+</sup>
100 w. p. SiO <sub>2</sub> 8 w. p. Na-bentonite C-additive = 0.4 % PC	4.0	B 705.27 T 185.94 X 28.32 TOC 1315.8
100 w. p. SiO <sub>2</sub> 8 w. p. Na-bentonite C-additive = 0.2 % PC 0.3 w. p. graphite	4.0	B 25.5 T 4.2 X 1.2 TOC 95.7
100 w. p. SiO <sub>2</sub> 8 w. p. Na-bentonite C-additive = 0.2 % PC 0.3 w. p. anthracite	4.0	B 59.4 T 11.7 X 3.3 TOC 257.1
+) ถูกกำหนดในปริมาณของการดูดซับแก๊ส		

ตารางที่ 1.2 ความแตกต่างของความหยาบผิวชิ้นงานหล่อและการเกิดสารระเหยอินทรีย์ เมื่อใช้  
สารเติมแต่งต่างกัน (Jelinek และคณะ, 2008)

ส่วนประกอบ	ความหยาบของผิวโดยเฉลี่ย ( $\mu\text{m}$ )		BTEX (mg/kg)
	1)	2)	
100 w. p. SiO <sub>2</sub> 7 w. p. Na-bentonite	16-25	25.34	B 7.62 T 22.31 X 2.31 TOC 21.56
100 w. p. SiO <sub>2</sub> 8.5 w. p. A	10-16	15.69	B 1.26 T 5.14 X 0.56 TOC 8.07
100 w. p. SiO <sub>2</sub> 8 w. p. B	6.3-10	16.48	B 0.06 T 0.15 X 0.09 TOC 0.33
1) มาตรฐาน SVUM 2) Mitutoyo Surf-test-211 (วัด โดยเฉลี่ย 5 จุด)			

จากการศึกษาวิจัยในเรื่องนี้พบว่า ปริมาณดินเหนียว ค่าความโปร่งอากาศ ชนิดและปริมาณสารเติมแต่งที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ระยะเวลาเทน้ำโลหะ อุณหภูมิเทน้ำโลหะ มีผลต่อความหยาบของผิวชิ้นงานหล่อสำหรับอุตสาหกรรมหล่อโลหะในประเทศไทยโดยส่วนใหญ่ใช้สารเติมแต่งซีโคลผสมกับตัวประสานเบนทอนไนด์ในการปั้นแบบ อย่างไรก็ตามหากมีการใช้สารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ ก็ควรที่จะมีการศึกษาถึงผลของสารชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อสภาพผิวของชิ้นงานหล่อทั้งนี้เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาสารเติมแต่งที่ผสมในทรายแบบหล่อขึ้นที่จะส่งผลต่อสภาพผิวชิ้นงานหล่อทั้งนี้ เพื่อจะสามารถเพิ่มคุณภาพผิวของชิ้นงานและลดมลภาวะทางอากาศได้

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อขึ้นที่ส่งผลต่อสภาพผิวของชิ้นงานหล่อ

1.2.2 ศึกษาชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งที่จะมีผลทำให้เกิดปัญหาหاملพิษโดยเฉพาะ BTEX ในบริเวณที่ทำการหล่อ

## 1.3 สมมติฐานการวิจัย

1.3.1 สารเติมแต่งต่างชนิดกัน จะส่งผลต่อสมบัติทรายแบบต่างกัน

1.3.2 สารเติมแต่งต่างชนิดกันมีโอกาสทำให้สภาพผิวชิ้นงานหล่อต่างกัน

1.3.3 สารเติมแต่งที่ผสมในทรายแบบหล่อต่างชนิดกันจะให้ปริมาณสาร BTEX ที่ต่างกัน

## 1.4 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้มีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1.4.1 ศึกษาผลของ สารเติมแต่ง ต่อสมบัติทรายแบบหล่อและการทดสอบสมบัติทรายแบบหล่อ

1.4.2 ทดสอบความหยาบของผิวชิ้นงานเหล็กหล่อที่ได้จากการหล่อโดยใช้ทรายแบบที่มีการเติมสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ

1.4.3 วัดปริมาณสาร BTEX ที่เกิดจากทรายแบบหล่อที่มีการเติมสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อขึ้นที่จะทำให้ทรายแบบหล่อขึ้นมีสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้สำหรับการหล่อเหล็ก โดยส่งผลให้ชิ้นงานเหล็กหล่อที่ได้มีสภาพผิวที่ดีและสารเติมแต่งที่ผสมในทรายแบบหล่อไม่ก่อให้เกิดมลภาวะในระหว่างการหล่อเหล็ก

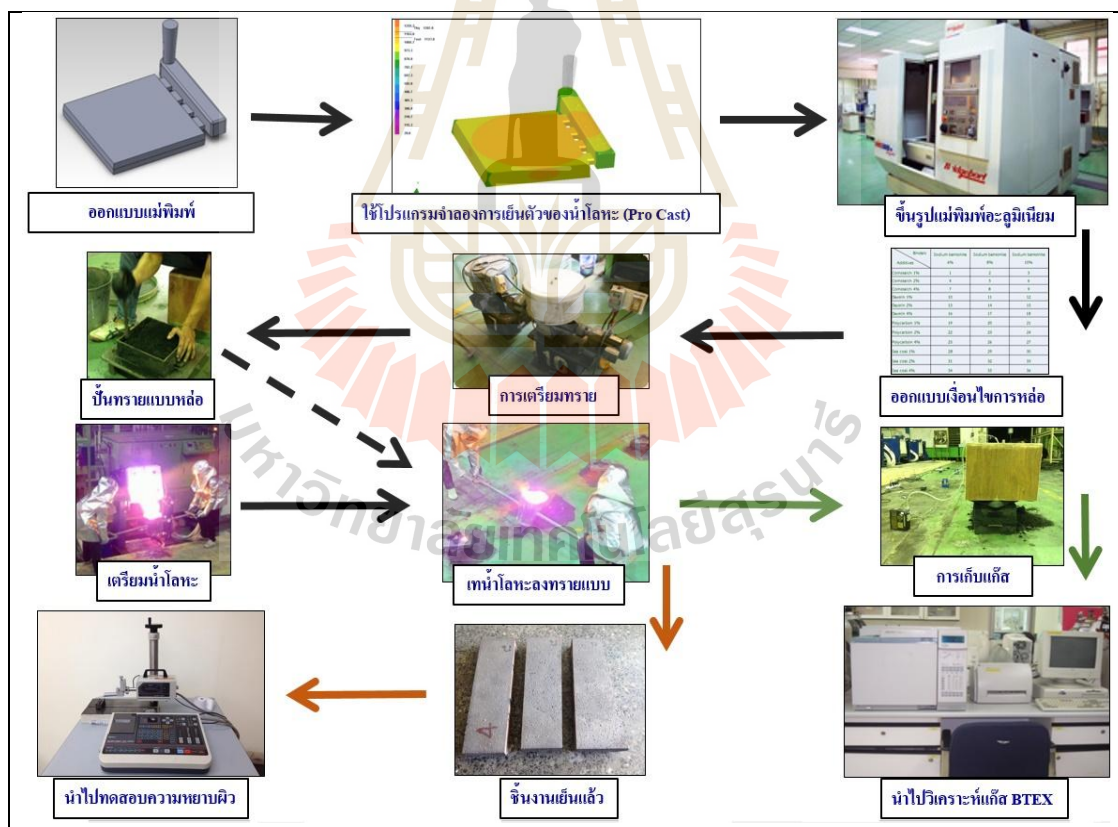
## 1.6 ขั้นตอนการศึกษา

ในการศึกษาวิจัยนี้ประกอบด้วยหัวข้อที่สำคัญ 3 ส่วนและมีขั้นตอนการศึกษาทดลองดังแสดงในรูปที่ 1.1

1.6.1 การทดสอบทรายได้เรียบเรียงไว้ในบทที่ 3 มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของดินเหนียวที่ส่งผลต่อสมบัติของทรายแบบหล่อ และศึกษาถึงชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติของทรายแบบหล่อ

1.6.2 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งที่มีต่อสภาพผิวของชิ้นงานหล่อที่ได้ โดยจะทำการวัดความหยาบของผิวชิ้นงานหล่อที่ได้จากทรายแบบหล่อที่มีสารเติมแต่งต่างชนิดกัน และปริมาณต่างกัน

1.6.3 ศึกษาผลของสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อต่อการเกิดมลภาวะในระหว่างการหล่อ โดยการวัดปริมาณแก๊สต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

## บทที่ 2

### ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทราบบรรเบบหล่อ

ส่วนประกอบของทราบบรรเบบหล่อ สำคัญ มี 2 ส่วนคือ ทราบบรรกับตัวประสาณ (binder) ทั้ง ทราบบรรและตัวประสาณที่ใช้กันอยู่ในโรงงาณอุตสาหกรรมหล่อโลหะมีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับลักษณะของโลหะที่จะหล่อและกรรมวิธีกรปั้นแบบหล่อ ชนิดและสมบัติของทราบบรรแบบหล่อสรุปได้ดังนี้ (มนัส สติรจินดา, 2538)

##### 2.1.1 ชนิดของแบบหล่อทราบบรร

ทราบบรรที่ใช้ในการสร้างแม่พิมพ์โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นทราบบรรซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) ซึ่งโดยปกติแล้วทราบบรรไม่สามารถที่จะคงรูปร่างเป็นโพรงตามที่เราร้องการได้ จึงมีการเตรียมทำทราบบรรโดยเติมตัวประสาณต่างๆเข้าไปด้วย ทำให้เราสามารถแบ่งประเภทของทราบบรรแบบหล่อตามลักษณะของการเตรียมแบบได้ 4 ประเภทดังนี้

##### 1) ทราบบรรแบบหล่อชื้น

ทราบบรรแบบหล่อชื้น (green sand mold) เป็นแบบหล่อที่มีองค์ประกอบของทราบบรร น้ำ และดินเหนียวหรือสารยึดเกาะ ในอัตราส่วนผสมทราบบรร 90%, น้ำ 3%, 5% และ 7% ของดินเหนียวหรือสารยึดเกาะ โดยแบบหล่อประเภทนี้ราคาถูกลง และเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย

##### 2) ทราบบรรผิวแบบหล่อ

ทราบบรรผิวแบบหล่อ (skin-dried mold) ลักษณะแบบหล่อในตอนเริ่มต้นจะคล้ายกับ Green sand mold แต่จะมีความต่างกันที่ Skin-dried mold มีการเติมหรือเพิ่มวัสดุบางตัวเพื่อเคลือบผิวแบบหล่อไว้ทำให้มีความแข็งแรงเมื่อได้รับความร้อน เช่น น้ำยาพ่นที่ใช้ได้จากน้ำมันลินสีด molasses water, gelatinized starch และสารละลายของเหลวที่มีลักษณะคล้ายกัน ทำให้แบบหล่อประเภทนี้ราคาแพงขึ้น และใช้เวลาในการผลิตนานขึ้น

### 3)ทรายแบบแห้ง

ทรายแบบแห้ง (dry sand mold) เป็นการนำเอาทรายแบบหล่อขึ้น มาอบเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับแบบหล่อ ขนาดของแบบหล่อถูกต้องไม่เปลี่ยนแปลง มีราคาแพงและส่งผลให้อัตราการผลิตลดลง

### 4)No-bake mold

ทรายจะถูกผสมกับเรซินเหลวซึ่งจะทำให้ลักษณะของทรายแบบในตอนแรกยังเหลวอยู่ แต่เมื่อเวลาผ่านไปสักพักทรายแบบดังกล่าวจะเกิดการเซตตัวและแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง

#### 2.1.2 สมบัติของทรายแบบหล่อ

ทรายทำแบบที่ใช้ในโรงงานหล่อหลอมมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวประสาน และลักษณะของโลหะที่จะนำมาเทลงแบบหล่อ ตลอดจนกรรมวิธีการทำแบบหล่อแต่ ทรายแบบหล่อจะเป็นชนิดใดก็ตาม ย่อมจะต้องมีคุณสมบัติที่จำเป็นต้องทำให้เกิดขึ้นในทรายแบบหลายประการ ดังนี้

##### 1)ความโปร่งอากาศ

ความโปร่งอากาศ (permeability)เป็นสมบัติที่ทรายแบบจะยอมให้แก๊สหรือไอน้ำที่เกิดขึ้นเมื่อโลหะหลอมเหลวสัมผัสกับทรายแบบมีทางหนีออกไปได้สะดวก เพราะถ้าแก๊สหรือไอน้ำที่เกิดขึ้นไม่สามารถจะหนีออกไปได้จะเกิดความดันและจะดันกลับเข้าไปแทรกอยู่กับโลหะ ซึ่งขณะที่เกิดแก๊สโลหะยังไม่แข็งตัว จะทำให้งานหล่อที่ได้เกิดรูพรุนตามบริเวณผิว โดยเฉพาะด้านบน

##### 2)ความแข็งแรงในสภาพชื้น

ทรายแบบที่ดีจะต้องมีความแข็งแรงในสภาพที่ยังไม่แห้ง (green strength) และจะต้องแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักตัวเองได้ ในขณะที่ถอดแบบออกแล้ว และสามารถเคลื่อนย้ายได้ โดยไม่พังหรือบิดเบี้ยวไปจนทำให้เสียรูปทรง

##### 3)ความแข็งแรงในสภาพแห้ง

เป็นสมบัติที่ทรายจะต้องมีความแข็งแรงในขณะแห้ง (dry strength) หรือทำการย่าง (baking) ไล่ความชื้นไปหมดแล้ว ความแข็งแรงที่ต้องการนี้ เพื่อที่จะสามารถรับแรงที่เกิดจากการเทน้ำโลหะลงไปแบบหล่อ ซึ่งต้องรับทั้งน้ำหนักและการเซาะ (erosion) ซึ่งเกิดจากการไหลผ่านของโลหะหลอมเหลว แบบหล่อจะต้องไม่บิดเสียรูปทรง (deformation) ความแข็งแรงในสภาพแห้งนี้กำหนดอุณหภูมิของทรายไว้ไม่เกิน 120°C

#### 4) ความแข็งแรงในสภาพร้อน

ความแข็งแรงในสภาพร้อน (hot strength) ของทรายแบบ คือความแข็งแรงที่คงรูปร่างอยู่ได้ เมื่อทรายแบบได้รับความร้อนจากน้ำโลหะหลอมเหลว เมื่อทรายแบบมีอุณหภูมิสูงเกิน  $120^{\circ}\text{C}$  ความแข็งแรงในช่วงนี้มีความสำคัญเช่นเดียวกัน เพราะทรายแบบอาจจะมีการขยายตัว เม็ดทราย และตัวประสานอาจจะอ่อนตัวลง อาจเป็นสาเหตุให้แบบหล่อเกิดการเปลี่ยนรูปทรงในขณะที่โลหะยังไม่แข็งตัว ทรายแบบที่ดีจะต้องมีความแข็งแรงรับน้ำหนักของโลหะอยู่ได้จนถึงจุดที่โลหะแข็งตัวหมดแล้ว

#### 5) คุณสมบัติยุบตัวเอง

คุณสมบัติยุบตัวเอง (collapsibility) เป็นสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของทรายแบบ ในขณะที่โลหะแข็งตัวคงรูปร่างแล้ว ทรายแบบที่ดีจะต้องไม่คงสภาพความแข็งแรงไว้ จะต้องยุบตัวเองหรืออยู่ในสภาพกรอบ ขาดความแข็งแรงทั้งนี้ก็เพื่อให้ได้ง่ายต่อการรื้อแบบเอาชิ้นงานหล่อออกจากแบบหล่อออกมาได้สะดวก และอีกประการหนึ่งที่สำคัญก็คือ ทรายแบบจะต้องไม่ไปดันการหดตัวของโลหะในขณะที่เย็นตัวในแบบหล่อ มิฉะนั้นอาจจะทำให้ชิ้นงานหล่อเกิดตำหนิ (defect) ขึ้นได้

#### 6) คุณสมบัติคงรูปในสภาพร้อน

ความร้อนจากโลหะหลอมเหลวเมื่อสัมผัสกับผนังของแบบหล่อ จะทำให้เกิดการขยายตัวของเม็ดทรายที่ได้รับความร้อน ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหากับแบบหล่อมามาก ดังเช่น อาจทำให้แบบทรายเกิดรอยแยก ผิวแฉก โค้งงอ หรืออาจจะทำให้ทรายส่วนบนบนแตกหลุดตกลงมา ในขณะที่โลหะหลอมเหลวยังไม่เต็มแบบหล่อ ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวเป็นเหตุให้ชิ้นงานหล่อที่ได้รับมีคุณภาพ โดยเฉพาะบริเวณผิวไม่ดี ดังนั้น ทรายแบบที่ดีควรจะต้องมีการขยายตัวน้อยที่สุดเมื่อได้รับความร้อน หรือมีความคงรูปในสภาพร้อน (thermal stability)

#### 7) คุณสมบัติทนต่อความร้อน

ทรายแบบที่ดีจะต้องทนอุณหภูมิสูง (refractoriness) ได้โดยไม่ละลาย โดยเฉพาะงานหล่อโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูงๆ เช่น เหล็กกล้า หรือเหล็กผสมสูง (high alloy steel) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงตั้งแต่  $1300-1600^{\circ}\text{C}$  ถ้าทรายแบบหล่อไม่ทนต่อความร้อนระดับนี้ได้ ทรายจะละลายประสานติดแน่นกับโลหะ เป็นการยากที่จะเอาทรายออกทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงหรือไม่อาจจะต้องทิ้งชิ้นงานหล่อและนำกลับไปหลอมใหม่

#### 8) คุณสมบัติการเคลื่อนตัวง่าย

การเคลื่อนตัว (flowability) หมายถึงทรายแบบเมื่อนำมาขึ้นแบบ โดยถูกแรงกดหรือกระแทก ทรายแบบจะต้องเคลื่อนตัวไปตามจุดต่างๆ ภายในหีบแบบหล่อได้ง่าย ไม่จำเป็นต้องใช้



แรงอัดมาก คุณสมบัตินี้จะมีผลถึงความยากง่ายของการปั้นแบบ แบบหล่อที่ได้มีความสมบูรณ์มากน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการเคลื่อนตัวของทรายแบบ

### 2.1.3 ตัวประสาน

เป็นส่วนผสมที่สำคัญของทรายแบบหล่อเพราะทรายเพียงอย่างเดียวไม่สามารถจะปั้นแบบหล่อได้ เนื่องจากขาดความแข็งแรง ที่กล่าวถึงต่อไปนี้เป็นตัวประสานที่ใช้กับทรายแบบ ส่วนตัวประสานที่ใช้กับไส้แบบ (core) จะกล่าวถึงเป็นอันดับต่อไป ตัวประสานที่ใช้กับทรายแบบมีหลายชนิด ดังนี้

#### 1) ดินเหนียว

ทรายแบบหล่อที่ใช้ดินเหนียว (clay) เป็นตัวประสานทำให้เกิดความแข็งแรง จะใช้ดินเหนียวตั้งแต่ 2 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับลักษณะของแบบหล่อและชนิดของดินเหนียว โดยธรรมชาติดินเหนียวส่วนใหญ่จะประกอบด้วยไฮเดรทซิลิเกตอะลูมินาแยกเป็น 3 กลุ่ม คือ

(1) ดินเหนียวkaoliniteหรือไชน่าเคลย์ เป็นดินสีขาวมีสูตรทางเคมี  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  เป็นดินเหนียวที่มีคุณสมบัติทางด้านทนความร้อนสูง แต่ความเหนียวจะมีน้อย ในงานปั้นแบบหล่อใช้ดินเหนียวประเภทนี้น้อยมาก

(2) ดินเหนียว ball clay มีลักษณะคล้ายไชน่าเคลย์ แต่จะมีละเอียดมากกว่า และให้ความเหนียวมากกว่าดินเหนียวประเภทแรก ใช้ผสมทรายแบบเพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงในสภาพแห้งและความแข็งแรงในสภาพร่วน

(3) ดินเหนียว (bentonite clay) หรือ montmorillonite เป็นดินเหนียวที่ได้มาจากการสลายตัวของแร่ถ่านภูเขาไฟ มีสูตรทางเคมี  $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 2H_2O$  เป็นดินเหนียวที่ดูดซึมน้ำและขยายตัว (swelling) ได้มาก ทำให้มีความเหนียวสูงมาก เหมาะสำหรับผสมทรายปั้นแบบ ดินเหนียวเบนทอไนต์แบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ

(3.1) โซเดียมเบนทอไนต์ (sodium bentonite) เป็นเบนทอไนต์ในสภาพของโซเดียม(sodium base) ทนต่อความร้อนได้ดี มีความแข็งแรงอัดขณะแห้งค่อนข้างสูง เมื่อรวมตัวกับน้ำในปริมาณที่เหมาะสมจะให้ความแข็งแรงอัดขณะขึ้นปานกลาง

(3.2) แคลเซียมเบนทอไนต์ (calcium bentonite) เป็นเบนทอไนต์ในสภาพแคลเซียม (calcium base) ทนความร้อนได้ปานกลาง มีความแข็งแรงอัดในขณะแห้งต่ำกว่าโซเดียมเบนทอไนต์ และเมื่อรวมตัวกับน้ำในปริมาณที่เหมาะสมจะให้ความแข็งแรงอัดค่อนข้างสูง

(3.3) เบนทอไนต์ผสม (blended หรือ mixed bentonite) ที่เกิดจากการผสมระหว่างโซเดียมเบนทอไนต์และแคลเซียมเบนทอไนต์ปริมาณที่เราต้องการใช้ เพื่อให้ได้เบนทอไนต์ที่มีคุณสมบัติของทั้ง 2 ชนิด

เนื่องจากการทำแบบหล่อทรายจำเป็นต้องใช้เบนทอไนต์ผสมด้วย เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวประสานระหว่างอนุภาคของเม็ดทรายเข้าด้วยกัน จึงจะสามารถทำเป็นแบบหล่อให้ได้สมบัติที่ดี ดังนั้น เบนทอไนต์ชนิดที่เรานิยมนำมาใช้ในการทำแบบหล่อทราย คือโซเดียมเบนทอไนต์ (sodium bentonite) และ แคลเซียมเบนทอไนต์ (calcium bentonite) ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และมีผลต่อสมบัติของทรายแบบหล่อ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของโซเดียมเบนทอไนต์และแคลเซียมเบนทอไนต์ (Richard และคณะ, 1967)

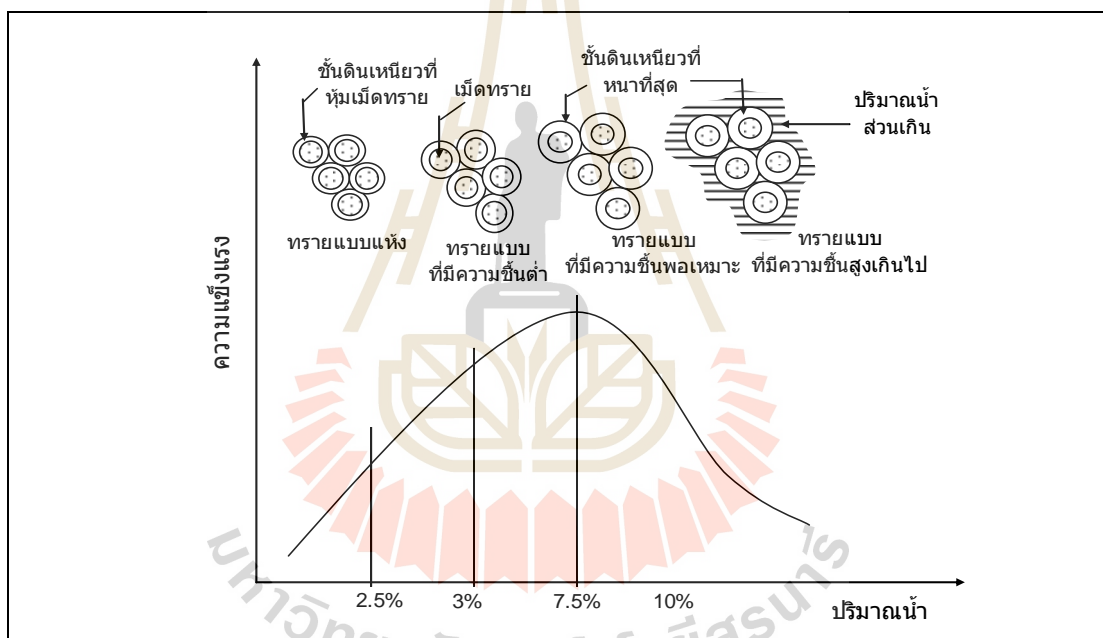
ส่วนผสมทางเคมี	โซเดียมเบนทอไนต์	แคลเซียมเบนทอไนต์
SiO <sub>2</sub>	60-62%	56-59%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21-23%	18-21%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3-4%	5.4-9%
Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.5-2.7%	0.34-4.6%
MgO	0.2-0.3%	3.0-3.3%
CaO	0.5-1.5%	1.2-3.5%
H <sub>2</sub> O	5-9%	5-8%
K <sub>2</sub> O	0.4-0.45%	-

ตารางที่ 2.2 ผลของโซเดียมเบนทอไนต์และแคลเซียมเบนทอไนต์ต่อสมบัติของทรายแบบ (Richard และคณะ, 1967)

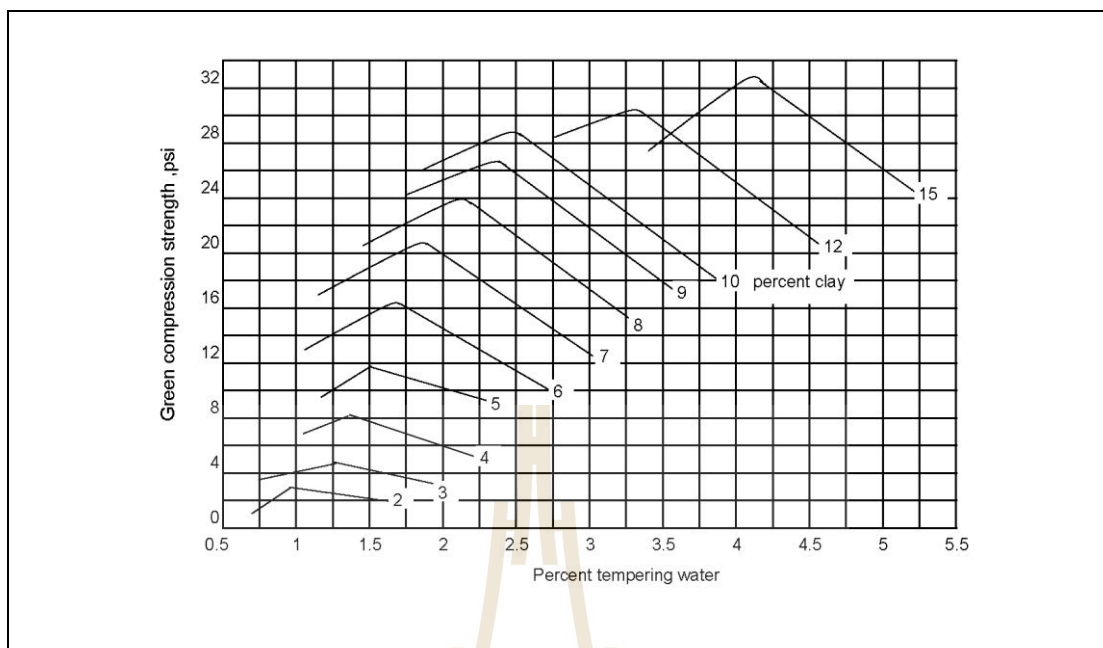
คุณสมบัติ	โซเดียมเบนทอไนต์	แคลเซียมเบนทอไนต์
ความแข็งแรงในสภาพแห้ง	สูง	ต่ำ
ความแข็งแรงในสภาพชื้น	ต่ำ	สูง
ความแข็งแรงสภาพร้อน	สูงมาก	ต่ำ
ความยืดหยุ่น	ต่ำ	สูง
การใช้งาน	เหล็กกล้าและเหล็กหล่อหนัก	เหล็กหล่อเบา

ทรายแบบหล่อที่ใช้ดินเหนียวโดยเฉพาะดินเหนียวประเภทเบนทอไนต์ จะมีชื่อเรียกว่า green sand ซึ่งมีความหมายถึงทรายแบบที่มีน้ำหรือความชื้นอยู่ในทรายด้วย

น้ำเป็นส่วนช่วยให้ดินเหนียวเกิดแรงดึงดูดระหว่างดินเหนียวและเม็ดทรายแต่ปริมาณของน้ำต้องอยู่ใน ปริมาณ ที่พอเหมาะ คือระหว่าง 4-8 เปอร์เซ็นต์ จะเป็นปริมาณที่ทำให้ดินเหนียวยึดเหนี่ยวกับทราย ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ รูปที่ 2.2 ทำให้ดินเหนียวกับทราย มีความแข็งแรงของการยึดเหนี่ยวพอเหมาะ ถ้าน้ำน้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์จะทำให้ดินเหนียวผสมกับน้ำไม่ทั่วถึง ขาดความแข็งแรงและยังมีส่วนทำให้ทรายแบบมีความแน่นมากแก๊สและไอน้ำที่เกิดขึ้นในขณะสัมผัสกับโลหะหลอมเหลวหนีออกภายนอกโดยผ่านเม็ดทรายได้ยาก เป็นเหตุให้สูญเสียคุณสมบัติทางด้านความโปร่งอากาศ



รูปที่ 2.1 ผลของปริมาณน้ำต่อความแข็งแรงของทรายแบบหล่อ (มนัส สติรจินดา, 2538)



รูปที่ 2.2 ผลของปริมาณน้ำต่อความต้านทานแรงอัดในสภาพชื้นของทรายแบบหล่อ (มนัส สติรจินดา, 2538)

## 2.2 สารเติมแต่ง

ในทางปฏิบัติทรายเพียงอย่างเดียวไม่สามารถปั้นเป็นทรายแบบได้ เพราะสมบัติที่สำคัญของทรายแบบหล่อมียหลายประการดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจึงต้องผสมสารอื่นๆ ลงไปอีก เพื่อปรับปรุงสมบัติของทรายแบบที่ขาดไป

### 2.2.1 ชนิดของสารเติมแต่ง

#### 1) ผงซีเรียลส์

ผงซีเรียลส์ (cereals) ที่ใช้ในงานปั้นแบบหล่อทราย ได้แก่พวกแป้งที่ทำจากข้าวโพด (corn flour) หรือผงกาวที่ทำมาจากกระดูกสัตว์ผสม ผงซีเรียลส์ในทรายแบบหล่อ เพื่อเพิ่มสมบัติทางด้านความแข็งแรงในสภาพชื้นและแห้งและสมบัติการยุบตัวเอง โดยผสมในปริมาณไม่เกิน 2%

#### 2) ผงซีโคล

ผงซีโคล (sea coal) เป็นผงถ่านหินที่มีความละเอียดมากๆ บางครั้งอาจจะใช้ถ่านโค้ก บดให้ละเอียดหรืออาจใช้กิลโซไนท์ซึ่งเป็นแร่ประเภทถ่านหินชนิดหนึ่ง บดให้ละเอียดผสมทำแบบหล่อทรายทั้งแบบชื้นและแบบแห้ง เพื่อช่วยให้ชิ้นงานหล่อมียคุณภาพผิวที่ดีขึ้น เมื่อผสมประมาณ 2-8% จะช่วยทำหน้าที่ปกป้องและต่อต้านการ กัดเซาะของ โลหะหลอมเหลว เมื่อโลหะหลอมเหลว

สัมผัสกับผิวของแบบหล่อที่ประกอบด้วย ซิโคลจะเกิดการเผาไหม้และกลายเป็นแก๊ส CO และ CO<sub>2</sub>ปกคลุมยังผลในการช่วยป้องกันการหลอมตัวของทรายติดกับน้ำโลหะ และป้องกันการแทรกซึมของน้ำโลหะเข้าไปตามช่องว่างระหว่างเม็ดทรายที่ผิวของแบบหล่อ นอกจากนี้ ยังช่วยให้แบบหล่อสามารถยุบตัวได้มากขึ้นในขณะที่โลหะเกิดการหดตัว การใช้ ซิโคลจะทำให้เพิ่มทั้งค่า ความแข็งแรงของทรายในสภาพขึ้นและความแข็งแรงของทรายในสภาพแห้ง ลดการขยายตัวของทรายลดแนวโน้มที่จะเกิดตำหนิที่เกิดการแทรกของน้ำโลหะตามช่องว่างของเม็ดทรายแต่มีแนวโน้มที่จะลดค่าความโปร่งอากาศของทรายแบบ

### 3) ผงขี้เลื่อย

ผงขี้เลื่อย (wood flour) ที่ละเอียดของไม้ทุกประเภท สามารถช่วยเพิ่มสมบัติคงรูปในสภาพร้อนของทรายแบบ ผงขี้เลื่อยในทรายแบบจะทำหน้าที่คล้ายกันชนให้กับเม็ดทรายในขณะที่เกิดการขยายตัวของเม็ดทรายและจะช่วยทำให้เกิดสมบัติยุบตัวเอง เมื่อผงขี้เลื่อยถูกความร้อนจากโลหะ จะเกิดการเผาไหม้หมดไป โดยทั่วไปจะผสมผงขี้เลื่อยในทรายแบบที่ทำจากซิลิกา โดยผสมลงไปประมาณ 0.5-2%

### 4) โพลีคาร์บอน

โพลีคาร์บอน (polycarbon) เป็นสารผสมระหว่างซิโคลกับเรซิน 15% ช่วยทำหน้าที่ปกป้องกันและต่อต้านการ ยึดเกาะของน้ำโลหะหลอมเหลว เมื่อโลหะหลอมเหลวสัมผัสกับผิวของแบบหล่อจะเกิด lustrous carbon ซึ่งจะส่งผลให้ผิวชิ้นงานมีความหยาบต่ำ แต่ต้องระวังเพราะถ้าใช้ปริมาณมากเกินไปจะเกิด lustrous carbon defect ที่ชิ้นงานได้

### 5) เดกซ์ทริน

เดกซ์ทริน (dextrin) เป็นสารที่ได้จากการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้ง มีลักษณะเป็นผงขนาดเล็ก สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งความสามารถในการละลายน้ำของเดกซ์ทรินแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับ กระบวนการทางความร้อน สำหรับการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและทางเคมี เพื่อเปลี่ยนแป้งให้กลายเป็นเดกซ์ทริน สีของเดกซ์ทริน มีตั้งแต่ สีขาว สีเหลือง จนถึงสีน้ำตาล ซึ่งสีที่นิยม ใช้งานสำหรับเป็นสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อหรือทรายใส่แบบคือ สีเหลือง เนื่องจากช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการเสียรูป เพิ่มความแข็งแรงบริเวณผิวหน้าของ ทรายแบบหล่อ เพิ่มความแข็งแรงให้ทรายแบบหล่อขณะแห้งและทรายแบบหล่อยังสามารถร้อนตัวได้ง่ายหลังจากหรือแบบอีกด้วย

## 2.2.2 ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อความหยาบผิว

ทรายแบบหล่อขึ้นที่ใช้ในงานหล่อโลหะมีส่วนผสมหลัก ๆ ประกอบไปด้วย ทรายซิลิกา, ดินเหนียวเบนทอนไนต์และสารเติมแต่งโดยที่เบนทอนไนต์จะทำหน้าที่เป็นตัวประสานระหว่างเม็ดทราย, น้ำ และสารเติมแต่ง ส่วนสารเติมแต่งประกอบด้วยสารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากคาร์บอนที่เติมลงไปจะช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่จะเกิดขึ้นบริเวณ ระหว่างผิวสัมผัสทรายแบบหล่อกับชิ้นงานหล่อ ทำให้ผิวชิ้นงานหล่อดีขึ้น

D. Chowhary(2008) ได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อความเรียบของผิวชิ้นงาน ภายหลังกการหล่อ ได้แก่ แก๊สที่มีออกซิเจน (gas cushion), บรรยากาศรีดิวซ์ (reducing atmosphere) และฟิล์มคาร์บอน(lustrous carbon)

1. แก๊สที่มีออกซิเจนเมื่อเทโลหะหลอมเหลวลงในแบบ หล่อทรายขึ้น โลหะจะแผ่รังสีความร้อนทำให้อุณหภูมิของคาร์บอน ที่ใช้เป็นสารเติมแต่ง กระจายตัวผ่านทรายขึ้น อุณหภูมิที่อยู่ติดกับผิวของช่องว่างของทรายแบบขึ้นจะระเหยเป็นไอได้เร็วและที่อุณหภูมิระหว่าง 300-680°C จะทำให้เกิดสารระเหยมากที่สุด ในขณะที่สารระเหยกลายเป็นไอ ส่งผลให้เกิดแก๊สขึ้นและแก๊สดังกล่าวพยายามหนีออกจากช่องว่างแบบทรายขึ้น หรือแม้กระทั่งผ่านชิ้นงานหล่อ ดังนั้นปัจจัยของแก๊สจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยสารเติมแต่งต้องมีปริมาณและอุณหภูมิการเกิดการเกิดแก๊สที่มีออกซิเจนของสารที่ระเหยได้เหมาะสมกับการซึมผ่านของแก๊สเมื่อผ่านช่องว่างในทรายแบบหล่อขึ้น ซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องแบบรูพรุน และแบบรูกลม

2. บรรยากาศรีดิวซ์ คาร์บอนเริ่มเผาไหม้ที่ อุณหภูมิประมาณ 680°C และคาร์บอนค่อยๆ กลายเป็นไอแล้ว รวมตัวกับออกซิเจน ที่มีอยู่ในช่องว่างของแบบทรายหล่อขึ้น เพื่อก่อตัวเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ การเกิด แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ทำให้ออกซิเจนลดลงส่งผลให้เกิดบรรยากาศที่มีออกซิเจนน้อยในช่องว่างของทรายแบบหล่อและช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำโลหะกับออกซิเจนที่ผิวชิ้นงานที่ติดกับทรายแบบหล่อ ทำให้โอกาสที่จะเกิดรูพรุน และข้อบกพร่องจากการแทรกซึมของน้ำโลหะก็จะลดลงเช่นกัน

ปรากฏการณ์นี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์บอนที่จะกลายเป็นแก๊ส และปริมาณคาร์บอนในสารเติมแต่ง ต้องเป็น สัดส่วนที่เหมาะสม เช่นปริมาณของงานหล่อและ การควบคุมปัจจัยต่างๆ ของการหล่อ อัตราส่วนของทรายกับโลหะ และความโปร่งอากาศของทราย

3. ฟิล์มคาร์บอน คาร์บอน ที่ใช้เป็นสารเติมแต่งในแบบหล่อทรายจะช่วยเติมเต็มช่องว่างระหว่างเกรนของเม็ดทราย ทำให้บริเวณผิวที่สัมผัสระหว่างแบบหล่อทรายกับน้ำโลหะ มีความเรียบ ส่งผลต่อการแทรกซึมของโลหะหลอมเหลวขณะแข็งตัวตลอดจนช่วยลดการ เสียรูปของแบบหล่อทรายและป้องกันไม่ให้เกิดข้อบกพร่องที่เกิดจากการขยายตัว

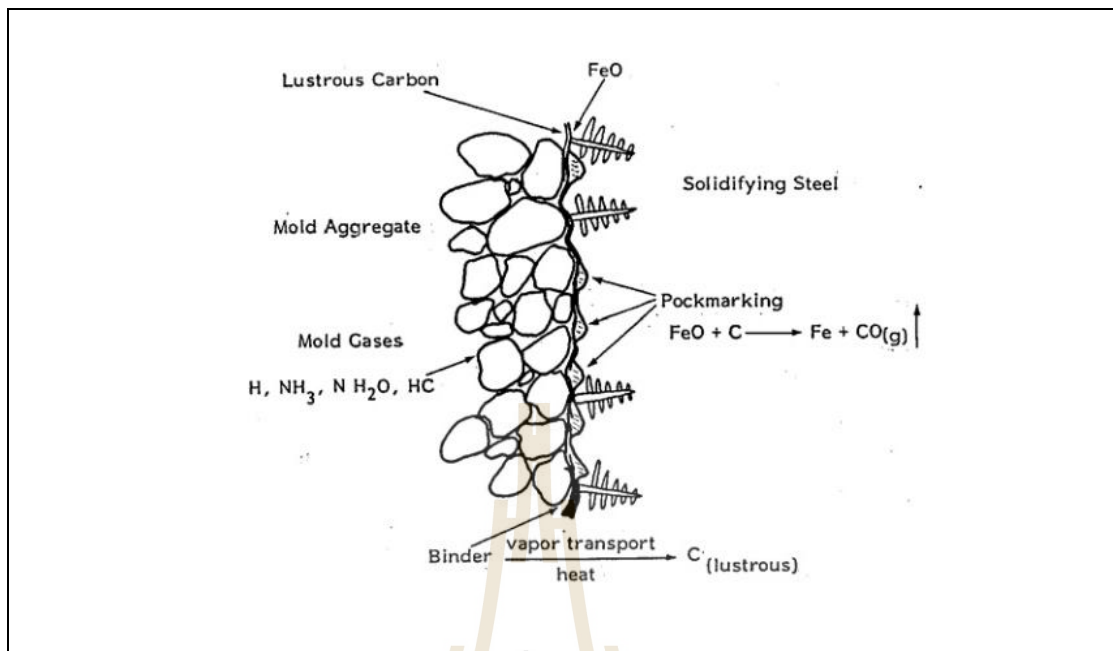
คาร์บอนบางส่วนถูกเผาไหม้และทำให้เกิดอนุภาคเล็กๆ ซึ่งฟอรัมตัวเป็นแบบชั้นบาง ๆ ซึ่งคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยทั่วไปจะเรียกว่าฟิล์มคาร์บอน (lustrous carbon) โดยจะปรากฏอยู่บนพื้นผิวในแบบทราย หล่อขึ้น โดยชั้นบางๆของคาร์บอนนี้จะกั้นไม่ให้น้ำโลหะสัมผัสกับแบบทรายขึ้น ส่งผลให้ผิวชิ้นงานหล่อมีความเรียบ

P. Jelínek และ J. Beno(2008) พบว่าการผสมถ่านหิน ในทรายแบบหล่อขึ้น ทำให้คุณภาพผิวของงานหล่อดีขึ้น เนื่องจากเมื่อผิวของทรายแบบหล่อขึ้นได้รับความร้อน จะเกิดการฟอรัมตัวเป็นผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า ฟิล์มคาร์บอนและทรายแบบหล่อที่เสื่อมสภาพ จากความร้อนของน้ำโลหะหลอมเหลว จะทำให้เกิดสารระเหยอินทรีย์ (aromatic hydrocarbons) เพิ่มขึ้นอย่างมากและฟุ้งกระจายและเป็นผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมในโรงงาน

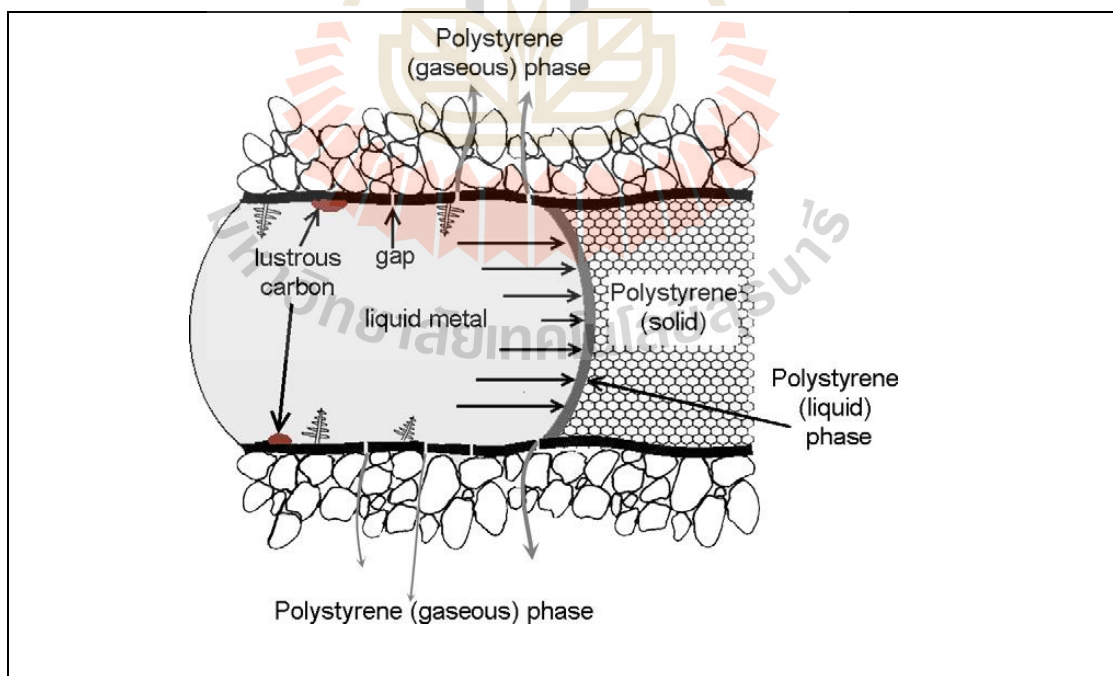
R.L. Naro (2002) พบว่าเมื่อน้ำเหล็กสัมผัสที่ผิวของทรายจะเกิดปฏิกิริยา โดยที่คาร์บอนส่วนหนึ่งอยู่ในรูปของแก๊สไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นแก๊สที่ระเหยได้ง่ายโดยจะซึมผ่านตามช่องว่างของทรายแบบออกสู่ภายนอก ส่วนคาร์บอนที่ไม่กลายเป็นแก๊สจะเกาะตัวรวมกันอยู่บริเวณระหว่างทรายแบบหล่อกับน้ำโลหะหลอมเหลวเกิดเป็นฟิล์มบาง ๆ มีสีดำมันเงาเรียกว่าฟิล์มคาร์บอน ดังแสดงในรูปที่ 2.3

A. Akbari และคณะ (2011) พบว่าเมื่อเทน้ำโลหะหลอมเหลวลงแบบหล่อโพลีที่ทำจากโพลีสไตรีน (polystyrene) จากกระบวนการ lost foam คาร์บอนส่วนหนึ่งที่อยู่ในสถานะแก๊สจะระเหยและซึมผ่านตามช่องว่างของทรายแบบหล่อส่วนคาร์บอนที่ได้จากโพลีสไตรีนจะไปเกาะที่ผิวระหว่างน้ำโลหะกับทรายแบบหล่อ ซึ่งมีลักษณะเป็นสีดำเงา เรียกว่า ฟิล์มคาร์บอนดังแสดงในรูปที่

2.4



รูป ที่ 2.3 กลไกการเกิดฟิล์มคาร์บอนที่ผิวทรายแบบหล่อของการหล่อเหล็กกล้า  
(R.L. Naro, 2002)



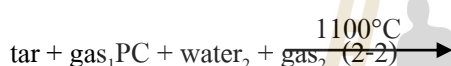
รูป ที่ 2.4 กลไกการเกิดฟิล์มคาร์บอนที่ผิวทรายแบบหล่อของการหล่อแบบโฟมหาย  
(A. Akbari และคณะ, 2011)



### 2.2.3 ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสถานะแวดล้อม

ทรายแบบหล่อขึ้นที่ใช้สำหรับทำแบบหล่อในอุตสาหกรรมงานหล่อ โลหะ โดยทั่วไป ประกอบด้วย ทรายซิลิกาผสมด้วยดินเหนียวเบนทอไนต์และสารเติมแต่งที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยสารเติมแต่งที่ใช้จะอยู่ในรูปผงละเอียดเมื่อผงละเอียดได้รับอิทธิพลของความร้อนที่แผ่ออกมาจากการแข็งตัวของเหล็กหล่อจะทำให้สารอินทรีย์ที่เป็น โมเลกุลใหญ่ที่เป็นองค์ประกอบแยกตัวออกเป็นสารประกอบต่างๆเกิดขึ้น ซึ่งจะเป็นแหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ที่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมในการทำงาน

ตัวอย่างสารการสลายตัวของสารเติมแต่งประเภทซีโคลในระหว่างการหล่อเหล็ก เป็นดังนี้



โดยที่

$\text{gas}_1$  หมายถึง ส่วนผสมของอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbon) และ อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (aliphatic hydrocarbon)

$\text{gas}_2$  หมายถึง ส่วนผสมของแก๊สที่สลายตัวได้ยาก เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) แก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) แก๊สไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $\text{CO}$ ) เป็นต้น

จากสมการที่ (2-1) และ (2-2) พบว่า เมื่อสารเติมแต่งได้รับความร้อนจากการถ่ายเทของน้ำโลหะประมาณ  $900^{\circ}\text{C}$  จะเกิดผลิตภัณฑ์  $\text{gas}_1$  เกิดขึ้น บางส่วนของ  $\text{gas}_1$  จะเกิดการเผาไหม้ในช่วงอุณหภูมิ  $1100^{\circ}\text{C}$  โดยเกิดกระบวนการไพโรไลซิสคาร์บอน (PC) หรือเกิดเป็นฟิล์มคาร์บอนเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามแก๊สบางส่วนจะไม่ถูกเผาไหม้ แต่จะเกิดการแยกสลายโดยเป็นสารที่ระเหยได้ง่าย (volatile organic compound ; VOCs) ขึ้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อมลภาวะทางอากาศได้

### สารพิษที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการหล่อโลหะ

ในระหว่างการหล่อโลหะอาจเกิดสารที่ส่งผลต่อมลภาวะ 2 กลุ่มดังนี้

**กลุ่มแรกสารกลุ่ม BTEX**เป็นสารประกอบอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนที่ระเหยได้ง่าย มี 4 ชนิด ประกอบด้วย เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีนและไซลีน

**เบนซีน(benzene)** เป็นตัวทำละลายกลุ่มอโรมาติกชนิดหนึ่ง ลักษณะใสไม่มีสี ที่ความเข้มข้นต่ำๆ จะมีกลิ่นหอม ในอดีตนิยมใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมหลายชนิด สารเบนซีนมีสมบัติกัดไขกระดูก และก่อมะเร็งเม็ดเลือดขาวในมนุษย์โดยจากการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่าเมื่อเบนซีนดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย จะไปสะสมที่ไขมันและเยื่อไขมัน เบนซีนเป็นสารที่มีความเป็นพิษเฉียบพลัน (acute toxicity) ต่ำแต่จากการศึกษาความเป็นพิษเรื้อรัง (chronic toxicity) พบว่าการได้รับเบนซีนเป็นระยะเวลานานมีผลทำให้เกิดพิษต่อไขกระดูกและการสร้างเม็ดเลือดทั้งในคนและสัตว์

**โทลูอิน(toluene)** เป็นสารตัวทำละลายอินทรีย์ ที่สำคัญในกลุ่มของสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมถ่านหิน และอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยใช้ประโยชน์เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมยา เคมี ยาง พลาสติก รวมทั้งใช้เป็นองค์ประกอบในสูตรผสมน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ โทลูอินสามารถเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจและดูดซึมผ่านผิวหนังได้ เมื่อทดสอบความเป็นพิษ พบว่า มีความเป็นพิษเฉียบพลันสูงกว่าเบนซีน ส่วนความเป็นพิษเรื้อรัง ไม่ก่อให้เกิดความมีนงแบบรุนแรงหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของเม็ดเลือด แต่จะก่อให้เกิดความไม่สัมพันธ์กันของการเคลื่อนไหว ระบบประสาทสัมผัสไม่ดี ซึ่งมีผลทำให้เกิดอุบัติเหตุหกล้มได้ง่าย นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อผิวหนัง และผิวหนังอักเสบ

**เอทิลเบนซีน (ethylbenzene)**เป็นสารอินทรีย์ระเหยง่าย ใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเคมี พลาสติก ยา สิ่งพิมพ์ สารกำจัดศัตรูพืช อุตสาหกรรมปิโตรเคมี รวมทั้งใช้เป็นส่วนประกอบของน้ำมันเชื้อเพลิง แหล่งกำเนิดที่สำคัญของสารเอทิลเบนซีนได้แก่ การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงจากยานพาหนะ ควันทูรี่ รวมทั้ง โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ผลการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่ามีผลทำให้เกิดมะเร็งปอด ตับ และไต

**ไซลีน (xylene)**ไซลีนเป็นตัวทำละลายในกลุ่มอโรมาติกชนิดหนึ่ง ระเหยได้ในอุณหภูมิห้อง นำมาใช้อย่างแพร่หลายทั้งในอุตสาหกรรมพลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ ใช้เป็นตัวทำละลายในการผสมสารเคมีทำการเกษตร รวมทั้งเป็นส่วนผสมในน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ไอระเหยของสารชนิดนี้ทำให้เกิดอาการระคายเคืองตา เยื่อหูทางเดินหายใจ และกระบบประสาทได้ การสัมผัสในรูปของเหลวทำให้ระคายเคืองผิวหนัง การกินเข้าไปทำให้ระคายเคืองทางเดินอาหาร

**กลุ่มสอง สารพิษอื่นๆ ประกอบด้วย**

**คาร์บอนมอนนอกไซด์(CO)** จัดเป็นแก๊สพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ เนื่องจากเป็นแก๊สที่ไม่มีกลิ่นทำให้เข้าสู่ร่างกายได้โดยที่เราไม่รู้ตัว ส่งผลให้ร่างกายเกิดอาการอ่อนเพลีย สมองขาดออกซิเจน และถ้าได้รับในปริมาณมากอาจทำให้ร่างกายเกิดอาการขาดออกซิเจนเฉียบพลันถึงขั้นเสียชีวิตได้

**ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO<sub>x</sub>)** เป็นแก๊สไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีกลิ่นแสบจมูก ละลายน้ำได้ดีในน้ำ โดยจะเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูริก ถ้าสูดดมเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคือง ทำลายเยื่อเมือกทางเดินหายใจ ไอ หายใจติดขัด คลื่นไส้ อาเจียน ปวดศีรษะ กล้ามเนื้อหดเกร็ง กล้องเสียงและหลอดลมใหญ่อักเสบ

**ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO<sub>x</sub>)** ในบรรดาออกไซด์ทั้งหมดของไนโตรเจนมีเพียง 2 ชนิดเท่านั้น คือ NO และ NO<sub>2</sub> ที่ปล่อยสู่บรรยากาศเป็นปริมาณมากในกระบวนการหล่อโลหะ

-แก๊สไนตริกออกไซด์ (NO) เป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ละลายน้ำได้เล็กน้อย ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ แต่เมื่ออยู่ในอากาศจะทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนกลายเป็นแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์

-แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) เป็นแก๊สที่มีสีน้ำตาลแกมแดง มีกลิ่นฉุนคล้ายกลิ่นคลอรีน มีสมบัติละลายน้ำได้ดี เมื่อรวมตัวกับน้ำจะกลายเป็นกรดไนตริก เมื่อสูดดมเข้าไปจะทำให้เกิดอาการแสบจมูก แสบคอ และแสบตา ถ้าได้รับเป็นระยะเวลาอันยาวนานจะเกิดการอักเสบของระบบทางเดินหายใจ

โรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยได้มีหน่วยงานหนึ่ง คือกรมควบคุมมลพิษที่คอยดูแลเรื่องความเข้มข้นของสารเคมีในการทำงาน ดังแสดงในตารางที่ 2.3 เพื่อให้โรงงานอุตสาหกรรมมีสิ่งแวดล้อมในการทำงานที่ดี และพนักงานมีความปลอดภัยในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับสารเคมี

ตารางที่ 2.3 ความเข้มข้นของสารเคมีที่ปลอดภัยในการทำงาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2520)

ลำดับ ที่	ชื่อสารเคมี	ปริมาณสารเคมี			ปริมาณความ เข้มข้นที่อาจยอม ให้มีได้
		ความเข้มข้นเฉลี่ย ตลอดระยะเวลา ทำงานปกติ	ปริมาณความเข้มข้นสูงสุด ในช่วงเวลาที่จำกัด		
			ปริมาณความเข้มข้น	ระยะเวลาที่กำหนด ให้ทำงานได้	
1	เบนซีน (Benzene)	10 ส่วน/ล้านส่วน	50 ส่วน/ล้านส่วน	10 นาที	25 ส่วน/ล้านส่วน
2	เบริลเลียมและสารประกอบเบริลเลียม (Beryllium and Beryllium compounds)	2 ไมโครกรัม/ ลูกบาศก์เมตร	25 ไมโครกรัม/ ลูกบาศก์เมตร	30 นาที	5 ไมโครกรัม/ ลูกบาศก์เมตร
3	ฟุ้งแคดเมียม (Cadmium fume)	0.1 มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์เมตร	-	-	0.3 มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์เมตร
4	ฝุ่นแคดเมียม (Cadmium dust)	0.2 มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์เมตร	-	-	0.6 มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์เมตร
5	คาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbondisulfide)	20 ส่วน/ล้านส่วน	100 ส่วน/ล้านส่วน	30 นาที	30 ส่วน/ล้านส่วน
6	คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon tetrachloride)	10 ส่วน/ล้านส่วน	200 ส่วน/ล้านส่วน	5 นาทีในทุกช่วงเวลา 4 ชั่วโมง	25 ส่วน/ล้านส่วน
7	เอทิลีน ไดโบรมิเด (Ethylene dibromide)	20 ส่วน/ล้านส่วน	50 ส่วน/ล้านส่วน	5 นาที	30 ส่วน/ล้านส่วน
8	เอทิลีน ไดคลอไรด์ (Ethylene dichloride)	50 ส่วน/ล้านส่วน	200 ส่วน/ล้านส่วน	5 นาทีในทุกช่วงเวลา 3 ชั่วโมง	100 ส่วน/ล้านส่วน
9	ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	3 ส่วน/ล้านส่วน	10 ส่วน/ล้านส่วน	30 นาที	5 ส่วน/ล้านส่วน
10	ฝุ่นฟลูออไรด์ (Fluoride as dust)	2.5 มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์เมตร	-	-	-
11	ตะกั่วและสารประกอบอนินทรีย์ของตะกั่ว (Lead and its inorganic compounds)	0.2 มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์เมตร	-	-	-
12	เมทิล คลอไรด์ (Methyl chloride)	100 ส่วน/ล้านส่วน	300 ส่วน/ล้านส่วน	5 นาทีในทุกช่วงเวลา 3 ชั่วโมง	200 ส่วน/ล้านส่วน
13	เมทิลีน คลอไรด์ (Methylene chloride)	500 ส่วน/ล้านส่วน	2,000 ส่วน/ล้านส่วน	5 นาทีในทุกช่วงเวลา 2 ชั่วโมง	1,000 ส่วน/ ล้านส่วน
14	ออร์แกนอ (แอลคิล) เมอร์คิวรี (Organo (alkyl) (mercury))	0.01 มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์เมตร	-	-	0.04 มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์เมตร
15	สไตรีน (Styrene)	100 ส่วน/ล้านส่วน	600 ส่วน/ล้านส่วน	5 นาทีในทุกช่วงเวลา 3 ชั่วโมง	200 ส่วน/ล้านส่วน
16	ไตรคลอโร เอทิลีน (Trichloroethylene)	100 ส่วน/ล้านส่วน	300 ส่วน/ล้านส่วน	5 นาทีในทุกช่วงเวลา 2 ชั่วโมง	200 ส่วน/ล้านส่วน
17	เตตระคลอโร เอทิลีน (Tetrachloroethylene)	100 ส่วน/ล้านส่วน	300 ส่วน/ล้านส่วน	5 นาทีในทุกช่วงเวลา 3 ชั่วโมง	200 ส่วน/ล้านส่วน
18	โทลูอีน (Toluene)	200 ส่วน/ล้านส่วน	500 ส่วน/ล้านส่วน	10 นาที	300 ส่วน/ล้านส่วน
19	ไฮโดรเจน ซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide)	-	50 ส่วน/ล้านส่วน	10 นาที	20 ส่วน/ล้านส่วน
20	ปรอท (Mercury)	-	-	-	0.05 มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์เมตร
21	กรดโครมิก และเกลือโครเมตส์	-	-	-	0.1 มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์เมตร

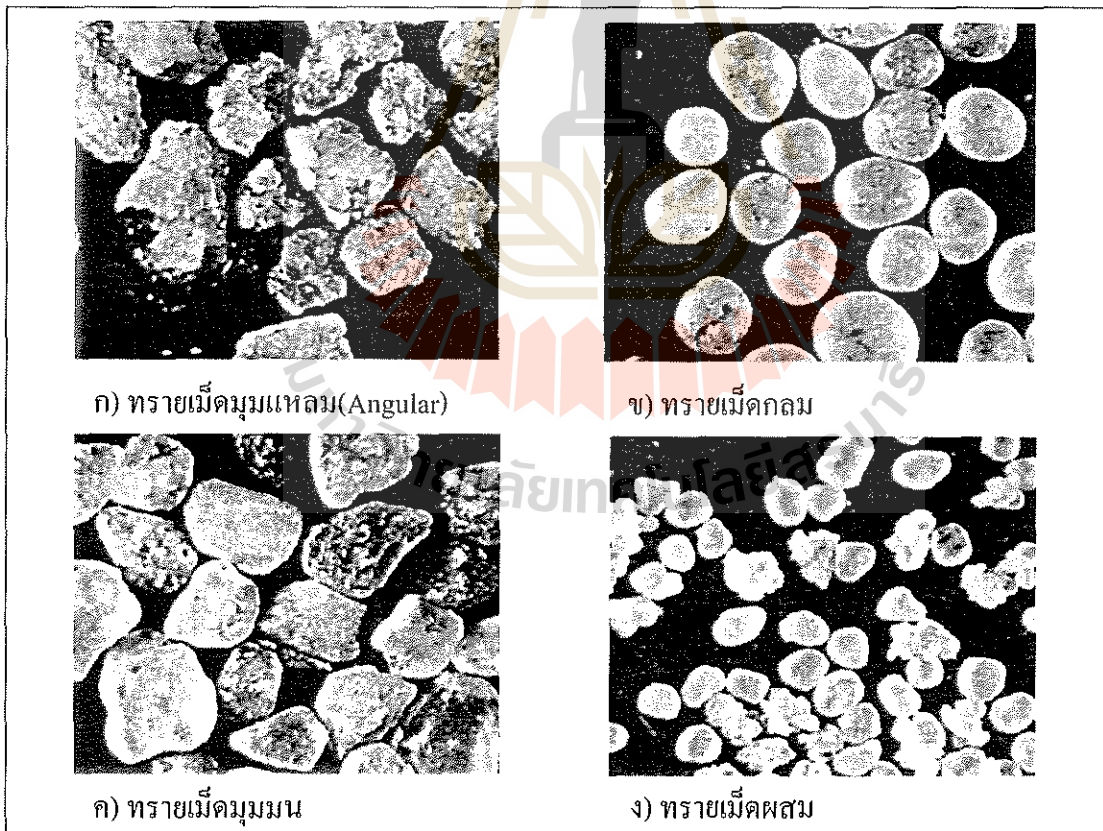
## บทที่ 3

### การทดสอบสมบัติทรายแบบหล่อ

#### 3.1 ชนิดและสมบัติของทรายแบบหล่อ

ทรายแบบหล่อได้จากการผสม ทราย ดินเหนียวและน้ำ ในสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการป็นเป็นแบบสำหรับหล่อโลหะ ซึ่งทรายที่ผสมกับวัสดุอื่น ๆ แล้วจะเรียกว่าทรายแบบหล่อ และเมื่อนำไปป็นเป็นแบบหล่อแล้วจะเรียกว่าแบบหล่อทราย โดยลักษณะของเม็ดทรายสำหรับการทำแบบหล่อและประเภทของทรายแบบหล่ออธิบายได้ดังนี้

3.1.1 รูปร่างของเม็ดทราย รูปร่างลักษณะเม็ดทรายทั่วไปแสดงดังในรูปที่ 3.1 คือทรายเม็ดมุมแหลม เม็ดกลม เม็ดมุมมน และทรายเม็ดผสม



รูปที่ 3.1 รูปร่างลักษณะของเม็ดทราย (หริส สุตะบุตร และ เคนยิ จิยิอิวา, 2543)

รูปร่างลักษณะของทรายที่เหมาะสมในการนำมาทำแบบหล่อทรายคือทรายเม็ดกลม ซึ่งจะ ทำให้แบบหล่อทรายมีความโปร่งอากาศสูง น้ำ โลหะไหล ได้ดี ชิ้นงานมีความเรียบผิวดี และใช้ ปริมาณตัวประสานน้อยกว่าทรายรูปร่างอื่น ๆ เพื่อให้ทรายแบบหล่อมีความแข็งแรง พอดีการหล่อ โลหะ อย่างไรก็ตาม ทรายรูปร่างเม็ดกลมหาได้ยาก ในทางปฏิบัติจึงใช้ทรายรูปร่างเม็ดมนมน ทดแทนได้

### 3.1.2 ประเภทของทรายแบบหล่อ

#### (1) แบบหล่อทรายธรรมชาติ (natural sand mold)

แบบหล่อทรายธรรมชาติได้จากการผสมทราย ดินเหนียว น้ำ และอาจเติมสารเติมแต่ง อื่น ๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติของทรายแบบให้มีสมบัติที่ต้องการ โดยผสมด้วยเครื่องผสมทราย ซึ่ง ทรายแบบหล่อประเภทนี้ใช้งานกันมากในอุตสาหกรรมการหล่อเหล็กหล่อ เนื่องจากต้นทุนการผลิตต่ำ แต่อย่างไรก็ตามการใช้แบบหล่อทรายธรรมชาติ ก็มีข้อดีข้อเสียดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของทรายหล่อธรรมชาติ

(หริส สุตะบุตร และ เคนยิ จิยอิวา, 2543)

ข้อดี	ข้อเสีย
- เม็ดทรายมีขนาดสม่ำเสมอ	- ความชื้นขึ้นอยู่กับสถานะอากาศ
- อัดตัวได้ดีในแบบหล่อ	- ต้องกำจัดซากพืชซากสัตว์ที่ปะปนอยู่
- ไม่แยกตัวในขณะที่ขนย้ายหีบหล่อ	- มีปริมาณดินเหนียวที่มากจนเกินไป
- ทำงานในช่วงความชื้นปกติในช่วง 4-8%	- ควบคุมส่วนผสมได้ยาก
- ไม่แห้งเร็วเหมือนทรายวิทยาศาสตร์	- ต้องผสมกับทรายเก่า ๆ ก่อนนำไปใช้งาน
- หาได้ง่ายราคาถูก	- เมื่อใช้ไปนาน ๆ จะมีสีดำ
- ไม่ต้องควบคุมคุณภาพมากนัก	

#### (2) แบบหล่อทรายสังเคราะห์ (synthetic sand mold)

แบบหล่อทรายสังเคราะห์ได้จากการผสมทรายซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) ทรายเซอร์คอน (zircon) ทรายโอลิวีน (olivine) หรือทรายโครไมต์ (chromite) ผสมกับตัวประสาน น้ำ และสารเติมแต่ง เพื่อให้ได้สมบัติที่ต้องการ ซึ่งตัวประสานที่นิยมใช้คือ เบนทอนไนต์ (bentonite) การนำไปใช้ในงาน ทรายสังเคราะห์ก็มีข้อดีและข้อเสีย ต่อการนำไปใช้งานแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของทรายหล่อสังเคราะห์

(ทริส ตูตะบุตร และ เคนยิ จิยิอิวา, 2543)

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> <li>- อายุการใช้งานนานกว่าทรายธรรมชาติ</li> <li>- ความโปร่งอากาศดีกว่าทรายหล่อธรรมชาติ</li> <li>- มีแก๊สอยู่น้อยเนื่องจากใช้วัสดุอินทรีย์</li> <li>- ปริมาณน้ำพอดี</li> <li>- ไม่มีปัญหาเรื่องกระทุ้งแบบหล่อนาน ๆ</li> <li>- คุณสมบัติเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสม</li> <li>- ควบคุมคุณภาพได้ง่าย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- แห้งเร็ว</li> <li>- ต้องใช้น้ำสะอาดในการผสมเท่านั้น</li> <li>- ต้องให้มีปริมาณอัตราส่วนในการผสมแน่นอนและคงที่</li> <li>- ต้องใช้เครื่องผสมทรายให้เข้ากันโดยทั่วถึง</li> <li>- ต้องใช้ความรู้และความชำนาญในการตรวจสอบเม็ดทรายที่ผ่านการไม่ทรายแล้ว</li> </ul>

### 3.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

ศึกษาผลของโซเดียมเบนทอไนต์ต่อความแข็งแรงของทรายแบบหล่อในระบบ ที่มีชนิดและปริมาณสารเติมแต่งต่างกัน

### 3.3 ตัวแปรการทดสอบ

ตัวแปรควบคุม คือ

1. แป้งข้าวโพด (corn starch)
2. เดกซ์ทรีน (dextrin)
3. โพลีคาร์บอน (polycarbon)
4. ซีโคล (sea coal)

ตัวแปรรอง ได้แก่

1. โซเดียมเบนทอไนต์
2. เวลาที่ใช้ในการผสมทรายแบบหล่อ 4 นาที
3. ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมในทรายแบบหล่อ
4. ทรายซีกาขนาดเมช 55-60

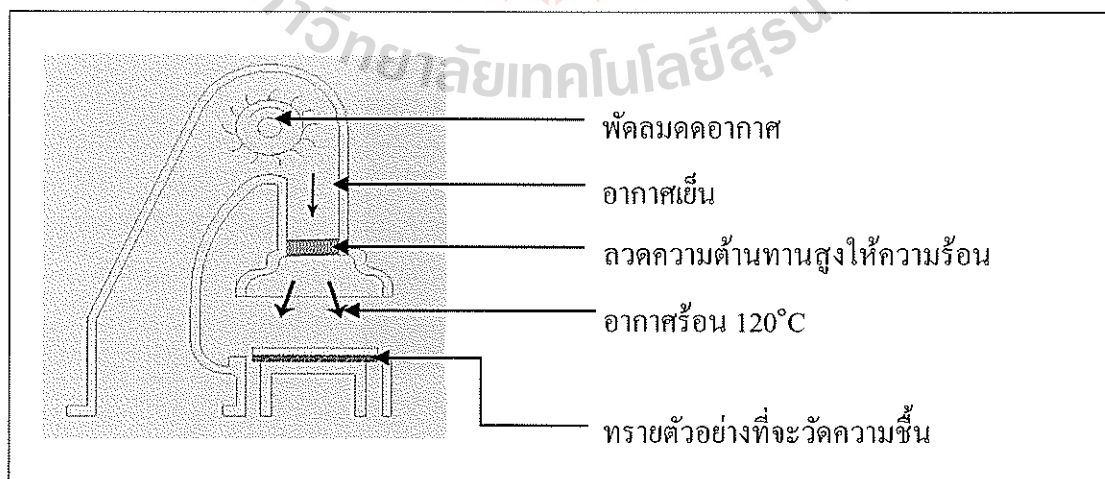
### ตัวแปรที่ต้องศึกษา

1. ความแข็งแรงของทราย ประกอบด้วย
  - ความแข็งแรงอัดสภาพขึ้น
  - ความแข็งแรงอัดสภาพแห้ง
  - ความแข็งแรงเฉือนสภาพขึ้น
  - ความแข็งแรงเฉือนสภาพแห้ง
2. ความโปร่งอากาศ
  - ความโปร่งอากาศทรายขึ้น
  - ความโปร่งอากาศทรายแห้ง
3. ปริมาณดินเหนียว
4. ความชื้นของทรายแบบหล่อ

### 3.4 การทดสอบสมบัติของทรายแบบหล่อ

#### 3.4.1 การทดสอบความชื้น

เครื่องที่ใช้ในการทดสอบหาความชื้นของทรายแบบหล่อ แสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งประกอบด้วยพัดลมดูดอากาศ แล้วเป่าผ่านขวดหลอดไฟฟ้าที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ลมที่ผ่านขวดหลอดไฟฟ้าจะร้อนจนถึงอุณหภูมิ  $120^{\circ}\text{C}$  และจะเป่าผ่านตัวอย่างทรายซึ่งจะใส่ไว้ในตะแกรงละเอียดทางด้านล่าง โดยจะมีอุปกรณ์ควบคุมเวลาที่ใช้ในการอบทรายให้ได้เวลา 15 นาที โดยอัตโนมัติ



รูปที่ 3.2 เครื่องทดสอบความชื้นของทรายแบบหล่อ ( มนัส สติรจินดา, 2538)



### ขั้นตอนการทดสอบ ทำได้ดังนี้

1) ชั่งทรายตัวอย่างให้ได้น้ำหนักประมาณ 50 กรัม โดยสุ่มทรายจากหลายจุดจากภาชนะและรักษาสภาพของทรายให้อยู่กับสภาวะเดียวกับแหล่งที่นำมา

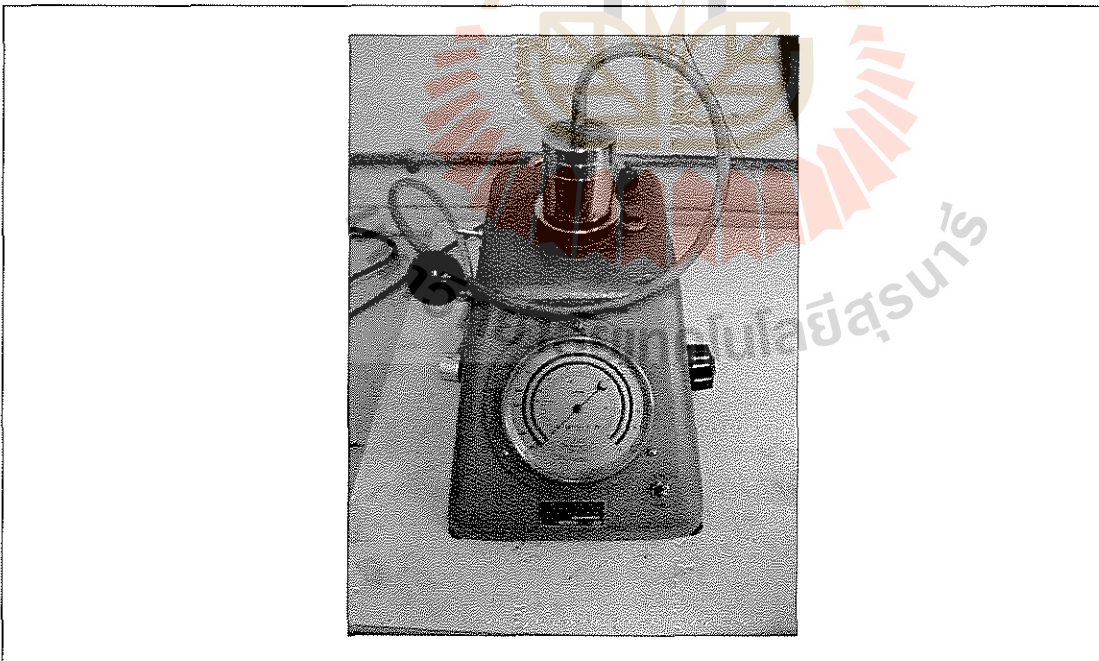
2) นำทรายตัวอย่างที่ได้จากการชั่งไปอบที่อุณหภูมิ 120°C ใช้เวลา 15 นาที ด้วยเครื่องทดสอบปริมาณน้ำ

3) นำทรายไปชั่ง น้ำหนักที่หายไปจะเป็นปริมาณของน้ำที่อยู่ในทราย 50 กรัม เราสามารถหา % ความชื้นโดยมีวิธีคำนวณดังนี้

$$4) \% \text{ ความชื้น} = \frac{[\text{น้ำหนักทรายก่อนอบ} - \text{น้ำหนักทรายหลังอบ}] \times 100}{\text{น้ำหนักทรายก่อนอบ}} \quad (3-1)$$

### 3.4.2 การทดสอบความโปร่งอากาศ

ความโปร่งอากาศของทรายแบบขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ รูปร่างและขนาดของเม็ดทราย ความละเอียด ปริมาณน้ำ ปริมาณสารผสมที่มีอยู่ในทรายแบบหล่อและความหนาแน่นของทรายแบบ ดังนั้นการวัดความโปร่งอากาศจึงจำเป็นต้องทำให้ตัวแปรต่าง ๆ นี้นิ่งไป โดยการทำให้ชิ้นงานให้ได้มาตรฐาน ซึ่งเครื่องทดสอบความโปร่งอากาศที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบความโปร่งอากาศ (ศูนย์เครื่องมือ 6 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี)

### ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนนำไปทดสอบความโปร่งอากาศ

- 1) ชั่งน้ำหนักทราย (ทรายมีหลายชนิด แต่ละชนิดจะมีความหนาแน่นของเม็ดทรายไม่เท่ากัน โดยเฉลี่ยจะอยู่ระหว่าง 140–175 กรัม)
- 2) บรรจุทรายตัวอย่างลงในกระบอกมาตรฐานซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว
- 3) หมุนเพลาลูกเบี้ยว ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ที่มีน้ำหนักกระแทก ซึ่งน้ำหนัก 14 ปอนด์ โดยที่ลูกเบี้ยวจะเป็นด้วยน้ำหนักให้สูงจากด้านบนของทรายตัวอย่างในกระบอกเป็นระยะ 2 นิ้ว ปล่อน้ำหนัก 14 ปอนด์ ตกกระแทกบนทรายตัวอย่าง 3 ครั้ง ทรายแบบตัวอย่างในกระบอกจะอัดตัวกันแน่น
- 4) หลังจากนั้นวัดความสูงให้ได้ 50.8 mm บวกลบได้ไม่เกินค่า tolerant ตามมาตรฐานของสมาคมหล่อโลหะแห่งประเทศอเมริกา ถ้าไม่ได้ความสูงนี้จะต้องทำใหม่
- 5) เมื่อได้ตามขนาดแล้ว นำไปทดสอบหาค่าความโปร่งอากาศด้วยเครื่องทดสอบความโปร่งอากาศ



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์เตรียมทรายมาตรฐาน (ศูนย์เครื่องมือ 6 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี)

### ขั้นตอนการทดสอบความโปร่งอากาศ

- 1) เปิดลิ้น โดยเปิดสวิตช์ทางขวาสุด ดึงกระบอกบรรจุอากาศขึ้นมาสุด (กระบอกบรรจุอากาศ 2000 ซีซี)
- 2) ปิดลิ้น โดยปิดสวิตช์มาทางซ้ายสุด ใส่ตัวอย่างที่เตรียมไว้ลงในท่อทดสอบ
- 3) ทำการทดสอบ โดยให้สวิตช์อยู่ตรงกลาง เพื่อทำการทดสอบ ลมในกระบอกบรรจุอากาศจะไหลผ่านกระบอกบรรจุตัวอย่างที่เตรียมไว้

#### 4) อ่านค่าที่ได้จากหน้าจอเครื่องทดสอบความ โปร่งอากาศ

#### 3.4.3 การทดสอบความแข็งแรง

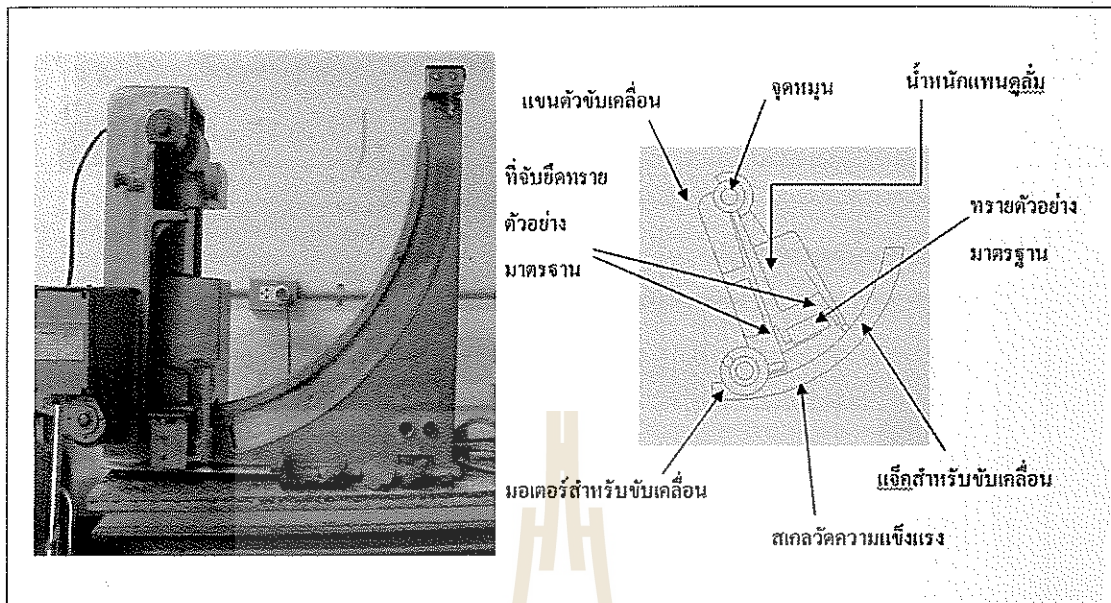
เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบเรียกว่า universal sand strength machine ประกอบด้วย น้ำหนักเพนดูลัมติดอยู่บนเฟลม และมีแขนตัวจับเคลื่อนซึ่งจะหมุนให้น้ำหนักเพนดูลัมเคลื่อนที่ขึ้นสูงจากแนวตั้งด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าหรือด้วยมือหมุน ทางตอนล่างของน้ำหนักเพนดูลัมจะมีที่วางตัวอย่างทรายแบบ ซึ่งจะต้องผ่านการทำมาตรฐานแบบของสมาคมหล่อ โลหะแห่งประเทศอเมริกา เมื่อหมุนน้ำหนักเพนดูลัมขึ้น ไปจะทำให้เกิดแรงอัดต่อตัวอย่างทรายแบบจนทรายแตก สามารถอ่านค่าของแรงหรือค่าความแข็งแรง บนสเกลได้โดยตรงโดยอาศัยแท่งแม่เหล็กเป็นตัวชี้บอกค่าบนสเกล

ถ้าเป็นการวัดความแข็งแรงในสภาพแห้ง จะต้องเอาทรายที่ทำเป็นตัวอย่างมาตรฐานไปอบที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาวัดบนเครื่องทดสอบความแข็งแรง ในกรณี ที่ทรายมีความแข็งสูงเกินสเกลของเครื่องทดสอบ จะต้องใช้อุปกรณ์ช่วย (adapter) เพื่อเพิ่มแรงอัด และหาค่าความต้านทานแรงอัดจากสเกลคูณด้วยแฟกเตอร์ขยาย (modifying factor)

การวัดความแข็งแรงของทรายแบบ มีวิธีการวัดได้ 3 ประเภท คือ

- 1) วัดความแข็งแรงดึง (tensile strength)
- 2) วัดความแข็งแรงโดยใช้แรงอัด (compressive strength)
- 3) วัดความแข็งแรงโดยใช้แรงเฉือน (shearing strength)

ส่วนใหญ่จะนิยมวัดความแข็งแรงในลักษณะแรงอัด ( compressive strength ) โดยเฉพาะกับทรายขึ้นเพราะงานทำแบบหล่อจะเห็นว่า ทรายจะต้องมีแรงอัดมากกว่าแรงประเภทอื่น



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบความแข็งแรงของทรายเอนกประสงค์ (ศูนย์เครื่องมือ 6 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี)

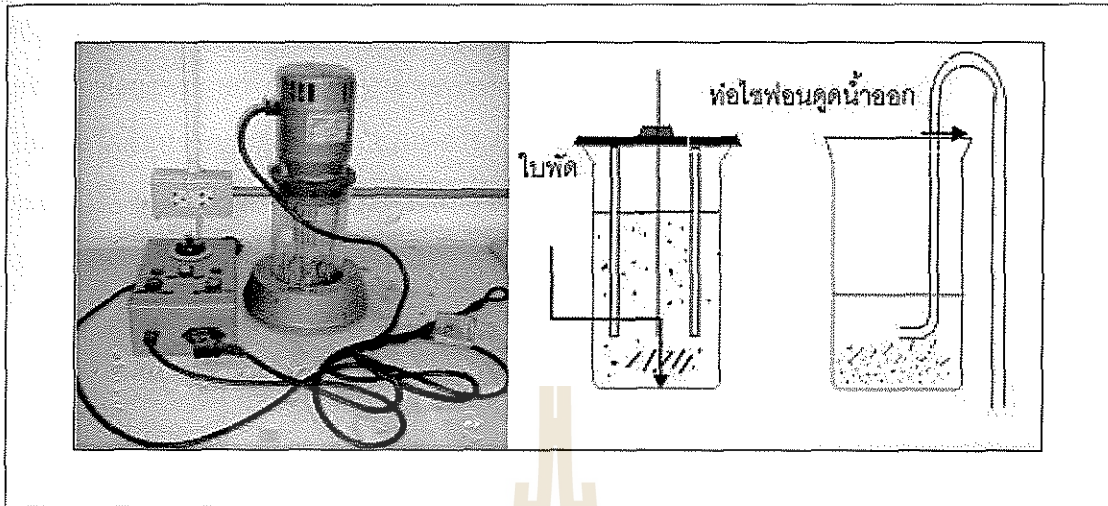
#### ขั้นตอนในการทดสอบความแข็งแรงของทราย

- 1) ชั่งน้ำหนักทรายให้ได้ปริมาณพอเหมาะ โดยเฉลี่ยจะอยู่ระหว่าง 140-165 กรัม
- 2) บรรจุทรายลงในกระบอกมาตรฐานเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว หรือ 5.08 cm.
- 3) ทำการอัดเป็นชั้นงานทดสอบด้วยเครื่องกระทุ้งทราย (sand rammer and compactability tester)
- 4) หมุนเพลาลูกเบี้ยวที่มีน้ำหนักกระแทกซึ่งมีน้ำหนัก 14 ปอนด์ โดยที่ลูกเบี้ยวจะเป็นตัวก่น้ำหนักให้สูงจากด้านบนของทรายตัวอย่างในระยะกระบอกเป็นระยะ 2 นิ้ว ปล่อน้ำหนัก 14 ปอนด์ ตกกระแทกบนทรายตัวอย่าง 3 ครั้ง ทรายแบบตัวอย่างในกระบอกจะต้องอัดตัวกันแน่น
- 5) หลังจากนั้นวัดความสูงให้ได้ 50.8 mm. ถ้าไม่ได้ความสูงนี้จะต้องทำใหม่ทั้งหมดจนกว่าจะได้ความสูงเท่ากับ 50.8 mm
- 6) สามารถนำไปทดสอบหาค่าความโปร่งอากาศและความแข็งแรงได้ตามต้องการ

#### 3.4.4 การวัดค่าปริมาณดินเหนียว

การวัดปริมาณของดินเหนียวจะปฏิบัติตามหลักการวัดและทดสอบหาปริมาณดินเหนียวของสมาคมหล่อโลหะแห่งประเทศไทย ดินเหนียวคือสารที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก

กว่า 20 ไมครอน หรือ 0.0008 นิ้ว ซึ่งทั้งนี้จะรวมไปถึงวัสดุที่มีความละเอียดต่าง ๆ ที่ปนมากับดินเหนียว จะเรียกว่าดินเหนียว



รูปที่ 3.6 เครื่องมือการวัดค่าปริมาณดินเหนียว เครื่องปั่นล้างความเร็วสูง (ซ้าย) ลักษณะการทดสอบหาปริมาณดินเหนียว (ขวา) (ศูนย์เครื่องมือ 6 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี)

การหาปริมาณดินเหนียว มีขั้นตอนดังนี้

- 1) ชั่งตัวอย่างทรายที่อบแห้งแล้ว 50 กรัม ใส่ในขวด
- 2) เติมน้ำกลั่น 475 ml ผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 3% จำนวน 25 ml ใช้เครื่องกวนประมาณ 5 นาที ปล่อยให้ตกตะกอน 10 นาที
- 3) ดูดเอาน้ำที่ผสมดินเหนียวออกด้วยท่อดูดแบบไซฟอน จนระดับน้ำลดลง 5 นิ้ว
- 4) เติมน้ำกลั่นลงไปอีก ให้ระดับน้ำสูงขึ้นมา 6 นิ้ว ปล่อยให้ตกตะกอน 10 นาที ดูดน้ำออกอีก 6 นิ้ว ปล่อยให้ตกตะกอนประมาณ 5 นาที กระทำเช่นนี้ต่อไปจนน้ำที่เติมลงไปใส แสดงว่าดินเหนียวถูกล้างออกไปหมดแล้ว

5) เอาทรายที่เหลือออกจากขวด โดยใช้เครื่องกรอง แล้วอบให้แห้ง

6) นำทรายไปชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวทั้งหมด

$$7) \% \text{ clay content} = \frac{\text{น้ำหนักทรายก่อนอบ} - \text{น้ำหนักทรายหลังอบ}}{\text{น้ำหนักทรายก่อนอบ}} \times 100 \quad (3-3)$$

#### 3.4.4.1 การทดสอบหาปริมาณ active clay ด้วย methylene blue

การทดสอบหาปริมาณ active clay โดยใช้วิธี methylene blue clay test เป็นวิธีที่ใช้สำหรับหาตัวชี้วัดผลของการทดสอบทรายแบบห่อ ว่ามีส่วนประกอบที่ขาดหายไปชั้นรุนแรงหรือไม่ การตรวจสอบ methylene blue clay test จะทำให้ทราบข้อมูลวิกฤติเกี่ยวกับปริมาณของเบนทอไนต์ที่อยู่ในทรายทำแบบห่อ ด้วยการตรวจสอบหาปริมาณเบนทอไนต์ที่ยังสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ซึ่งปรากฏอยู่ในทราย เบนทอไนต์ที่ยังมีความสามารถที่จะแลกเปลี่ยนไอออนจะส่งเสริมคุณสมบัติของทรายทำแบบห่อทั้งในแง่ความแข็งแรงสภาพขึ้น ความแข็งแรงสภาพแห้งและความแข็งแรงขณะร้อน

**Active Clay** คือดินเหนียวที่ยังสามารถทำหน้าที่เป็นตัวประสานระหว่างเม็ดทราย โดยสามารถห่อหุ้มเม็ดทรายดูคซึมน้ำแล้วขยายตัว ทำให้มีความเหนียว แล้วเกิดแรงดึงดูระหว่างดินเหนียวและเม็ดทราย ทำให้ทรายแบบมีความแข็งแรงทั้งในสภาพขึ้น และในสภาพร้อน

**Dead Clay** คือปริมาณดินเหนียวที่หมดสภาพเป็นตัวประสานแล้ว เพราะถูกความร้อนจากโลหะหลอมเหลว ในทางปฏิบัติจะพยายามเอาออกจากทรายแบบ หรือให้มีอยู่น้อยที่สุด เพราะดินเหนียวที่เสื่อมสภาพแล้ว เมื่อเหลืออยู่ในทรายแบบในปริมาณสูง จะทำให้ความโปร่งอากาศของทรายแบบลดลงความแข็งแรงของทรายจะต่ำ ปัญหาที่ตามมาคือ ความแข็งแรงสภาพแห้งและความแข็งแรงขณะร้อนต่ำมาก



รูปที่ 3.7 ชุดอุปกรณ์ทดสอบหาปริมาณดินเหนียวที่คงสภาพในทรายแบบห่อ  
(มนัส สติรจินดา, 2538)

### หลักการและวิธีการทดสอบ

การทดสอบจะทำ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือ การสร้างกราฟมาตรฐานและขั้นตอนที่สองคือ การหาปริมาณดินเหนียวที่ยังคงสภาพอยู่จากทรายแบบหล่อที่นำมาทดสอบ

#### ขั้นตอนที่ 1 การสร้าง calibration curve

1) เตรียมส่วนผสมเบนทอไนต์ 10% จากน้ำหนัก 5 กรัม (เบนทอไนต์ จำนวน 0.5 กรัมและทรายแก้ว ที่มี fineness number 60-90 จำนวน 4.5 กรัม) อบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C ผสมทรายแก้วกับ เบนทอไนต์ในบีกเกอร์สเตนเลส

2) เติมผงซิลิกอนคาร์ไบด์ (silicon carbide) ขนาดความละเอียด 220 mesh จำนวน 5 กรัม ลงไปผสมกับทราย และเบนทอไนต์

3) เติม sodium pyrophosphate ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) 2% ลงในบีกเกอร์สเตนเลส 50 ml

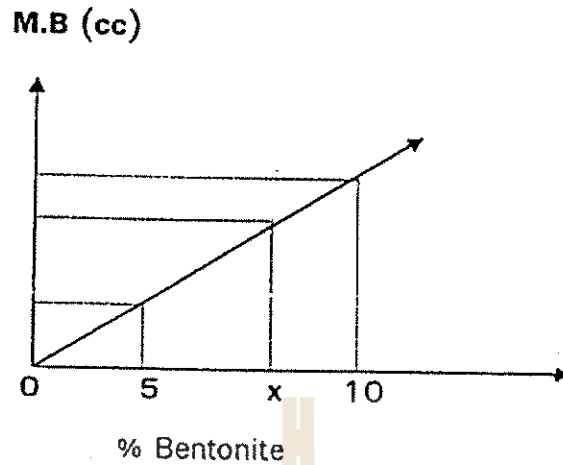
4) วางบีกเกอร์ในเครื่อง ultrasonic ที่ใส่น้ำไว้สูงประมาณ 4-5 เซนติเมตร แล้วเปิดให้เครื่องทำงานประมาณ 5 นาที

5) เติมสารละลาย methylene blue โดยใช้ buret โดยเติมประมาณ 80-90% ที่คาดว่าต้องใช้ จากนั้น ทำการกวนส่วนผสมในบีกเกอร์โดยใช้พัดกวน เป็นระยะเวลา 2 นาที พยายามอย่าให้ส่วนผสมของเบนทอไนต์จับตัวมากเกินไป

6) นำแท่งแก้วจุ่มในส่วนผสม แล้วหยดลงบนกระดาษกรอง (hardened 50) โดยวางกระดาษกรองไว้บนบีกเกอร์ ให้เขียนกำกับปริมาณ methylene blue ที่ใช้แต่ละจุด สังเกตดูรัศมีเป็นวงสีฟ้า (blue halo) ดังแสดงในรูปที่ 3.9 หากไม่ปรากฏรัศมีของ blue halo แสดงว่า methylene blue น้อยเกินไป หรือเรียกว่า weak halo ให้ทำซ้ำอีกโดยเพิ่ม methylene blue อีก 1 ml และใช้เวลากวน 2 นาที ถ้ายังไม่ปรากฏ blue halo ชัดเจน ให้ทำต่อไปอีกจนปรากฏ blue halo ชัดเจนเรียกว่า good halo แต่หากเป็นวงกว้างมากขึ้น จนอยู่ในลักษณะ over halo จึงหยุดและบันทึกค่าปริมาตรของ methylene blue ที่ทำให้เกิดลักษณะ good blue halo ที่ชัดเจนที่สุดไว้

7) ทำการทดลองในลักษณะเดิม โดยเปลี่ยนปริมาณเปอร์เซ็นต์ของเบนทอไนต์เป็น 5% จากน้ำหนัก 5 กรัม (เบนทอไนต์ จำนวน 0.25 กรัมและทรายแก้ว ที่มี fineness number 60-90 จำนวน 4.75 กรัม) บันทึกค่าปริมาตรของ methylene blue ที่ทำให้เกิดลักษณะ good blue halo ที่ชัดเจน

8) สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของ methylene blue ที่ทำให้เกิด ในการทดสอบส่วนผสมที่มีเบนทอไนต์ 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 3.8 จะได้ calibration curve ซึ่งเป็นเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด

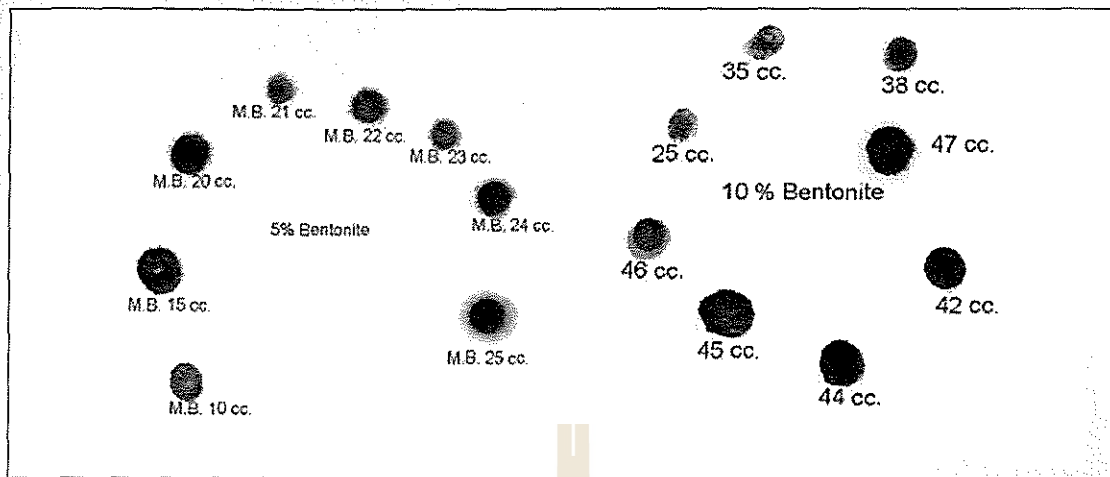


รูปที่ 3.8 การสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อทดสอบหาปริมาณดินเหนียวในทรายแบบหล่อ  
(มนัส สติรจินดา, 2538)

#### ขั้นตอนที่ 2 การหาปริมาณดินเหนียวในทรายแบบ

- 1) ชั่งทรายแบบที่อบแห้งแล้วจำนวน 5 กรัม นำมาใส่ในบีกเกอร์ แล้วผสม  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ , ความเข้มข้น 2% จำนวน 50 ml แล้วนำไปวางในเครื่อง ultrasonic vibration แล้วเปิดให้เครื่องทำงานเป็นเวลา 5 นาที
- 2) เติมสารละลาย methylene blue จำนวนประมาณ 80 - 90% ของที่คาดคะเนไว้แล้วนำไปกวน 2 นาทีลักษณะเดียวกับที่ทำในขั้นตอนสร้าง calibration curve
- 3) ทำการทดสอบ blue halo บนกระดาษกรอง ถ้าไม่ปรากฏ blue halo ในครั้งแรก ให้กระทำต่อไปอีก โดยการเพิ่มสารละลาย methylene blue ครั้งละ 1 ซีซี จนปรากฏ blue halo ชัดเจน
- 4) นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เบนทอนไนต์จาก calibration curve





รูปที่ 3.9 ตัวอย่างผลการทดสอบปริมาณดินเหนียวที่คงสภาพ เมื่อใช้ 5% และ 10% ของคนเหนียวที่ยังคงสภาพ (มนัส สติรจินดา, 2538)

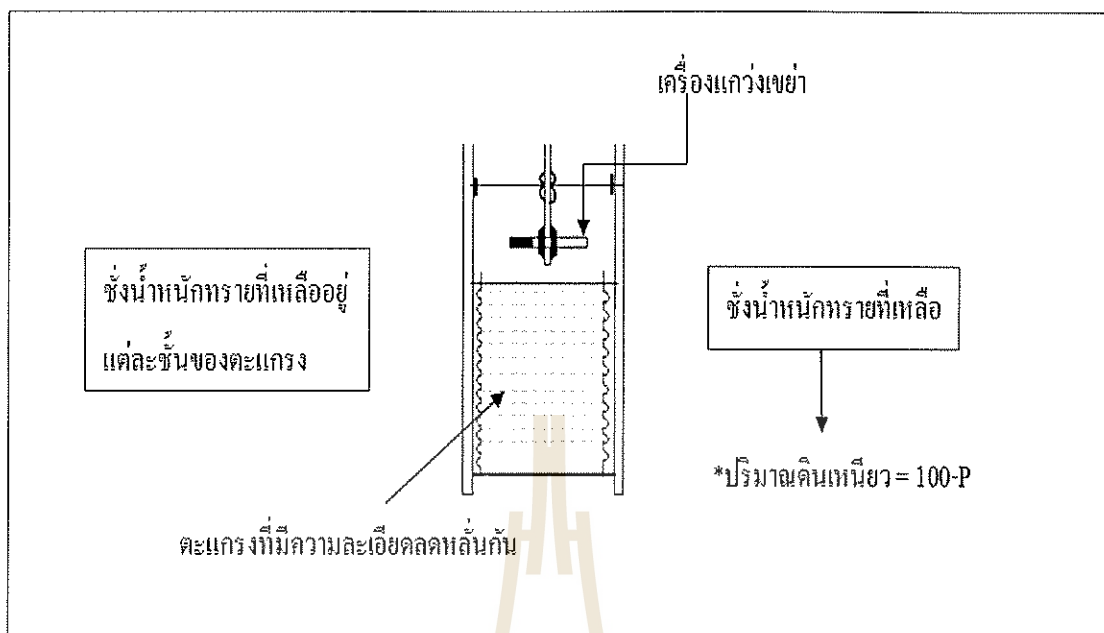
#### 3.4.4.2 การทดสอบค่าปริมาณดินเหนียวที่หมดสภาพ

ดินเหนียวที่หมดสภาพ (dead clay) คือดินเหนียวที่หมดสภาพเป็นตัวประสานเพราะความร้อนจากโลหะหลอมเหลวทำให้สมบัติของการเชื่อมประสานลดลง ทำให้ทรายแบบมีความโปร่งอากาศลดลง และมีความแข็งแรงต่ำ ในทรายควรมี % dead clay น้อยที่สุด และไม่ควรมีเกิน 3% เราสามารถหาปริมาณ dead clay ได้จากการวัด active clay คือ

$$\text{dead clay} = \text{total clay} - \text{active clay} \quad (3-4)$$

#### 3.4.5 การวัดค่าความละเอียดของเม็ดทราย

การวัดความละเอียดจะเป็นการวัดต่อจากการทดสอบหาปริมาณดินเหนียว คือ ทรายที่ได้จากการวัดหาปริมาณดินเหนียวจะนำมาทดสอบหาความละเอียดต่อไป ตามมาตรฐานวิธีการวัดสมาคมหล่อโลหะแห่งประเทศไทย ได้กำหนดให้ใช้ตะแกรงจำนวน 11 ชั้น แต่ละชั้นจะมีความละเอียดลดหลั่นกันตามลำดับ ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งเรียงตามขนาดของเมชัมเบอร์ (Mesh Number) คือ 6, 12, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 140, 200 และ 270 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางแสดงขนาดของตะแกรง Mesh Number



รูปที่ 3.10 การทดสอบหาความละเอียดของเม็ดทราย (มนัส สติรจินดา, 2538)

#### ขั้นตอนในการทดสอบ

- 1) นำเอาทรายที่จะวัดใส่ในตะแกรงชั้นบนสุด แล้วปิดให้สนิท
- 2) หลังจากนั้นทำให้เครื่องเขย่าตะแกรงทั้ง 11 ชั้น เพื่อให้ทรายผ่านตะแกรงไปตามลำดับชั้นไปเรื่อย ๆ ใช้เวลาเขย่า 15 นาที
- 3) จากนั้นเอาตะแกรงแต่ละชั้นออกมา นำทรายที่ติดหรือข้างอยู่แต่ละชั้นไปชั่งรวมทั้งทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 270 ด้วย และที่ตกไปอยู่ชั้นข้างล่างด้วย
- 4) นำผลที่ได้ไปหาค่าความละเอียด ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการคำนวณค่าความละเอียดของเม็คทราย (มันส์ สติร์จินดา, 2538)

นัมเบอร์ตะแกรง (Mesh Number)	ปริมาณทรายที่ค้าง ตามตะแกรง (Percent Retained)	ค่าคงที่ (Multiplier)	ผลคูณ (Product)
6	0	3	0
12	0	5	0
20	0	10	0
30	2.0	20	40
40	2.5	30	75
50	3.0	40	120
70	6.0	50	300
100	20.0	70	1400
140	32.0	100	3200
200	12.0	140	1680
270	9.0	200	1800
ถาดรองรับ (pan)	4.0	300	1200
ผลรวม	90.5		9815

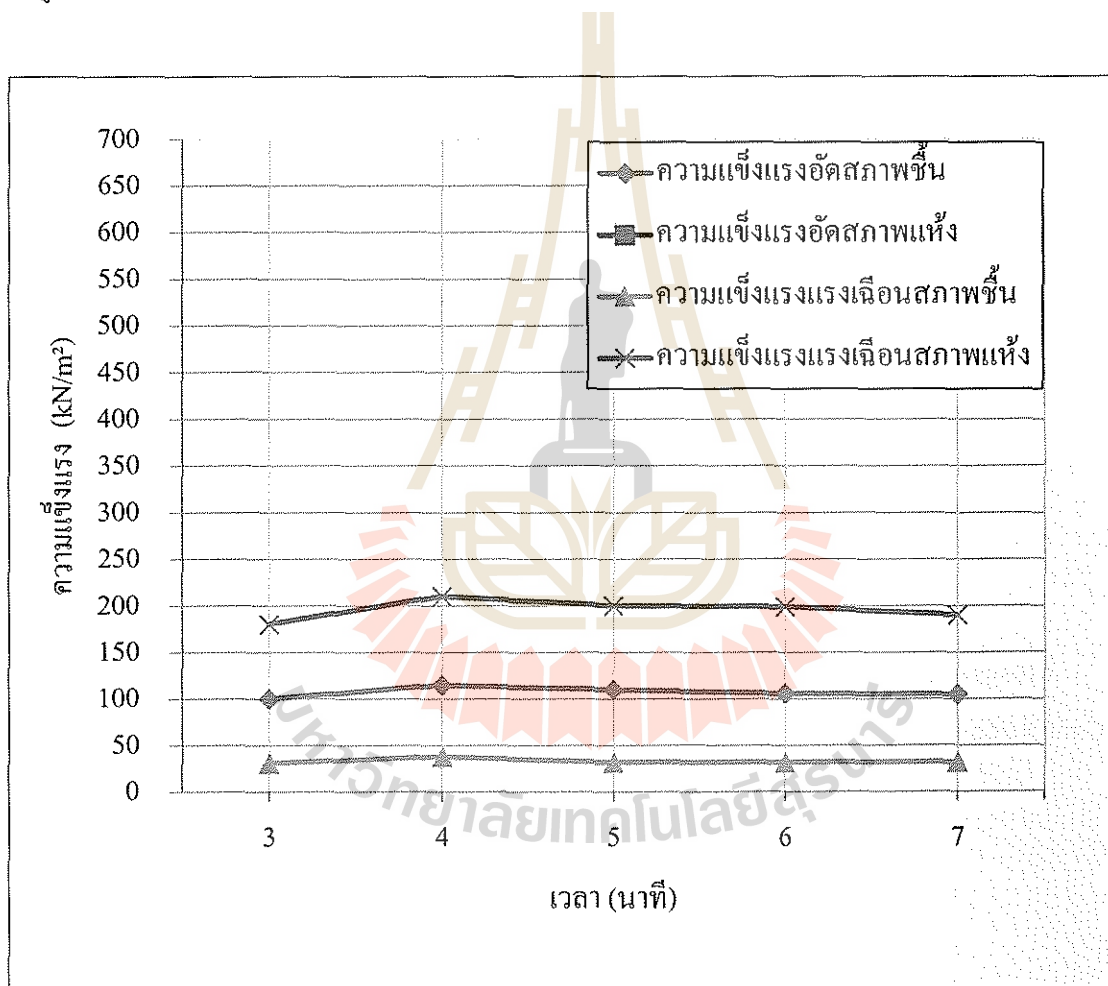
$$\begin{aligned}
 \text{ค่าความละเอียด AFS} &= \frac{\text{ผลรวมทั้งหมดของผลคูณ}}{\text{ผลรวมของ \% retained}} && (3-5) \\
 &= \frac{9815}{90.5} \\
 &= 104
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ : ค่าคงที่ของตะแกรงแต่ละชั้น คือ ค่าเมชนัมเบอร์ของตะแกรงที่อยู่ชั้นบน

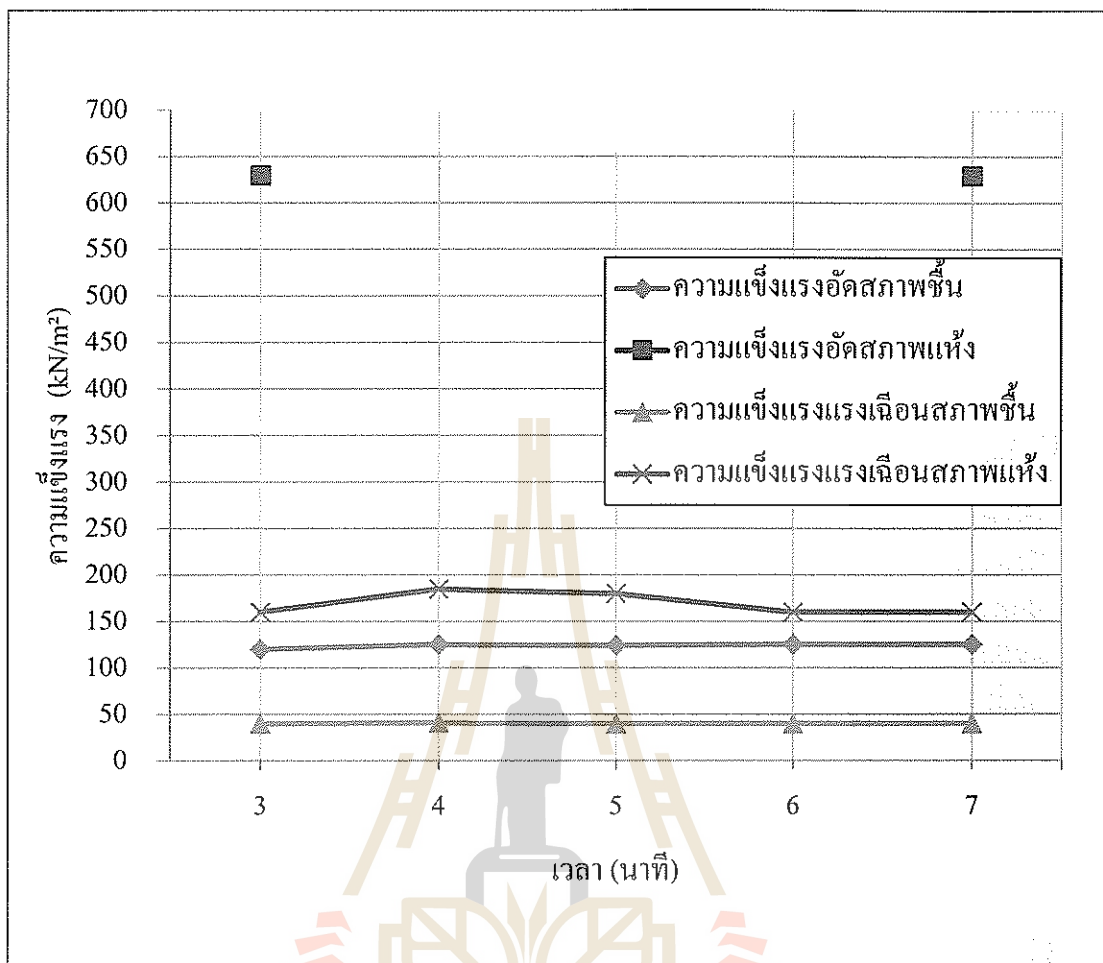
### 3.5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

#### 3.5.1 ผลของเวลาในการผสมทรายแบบต่อค่าความแข็งแรง

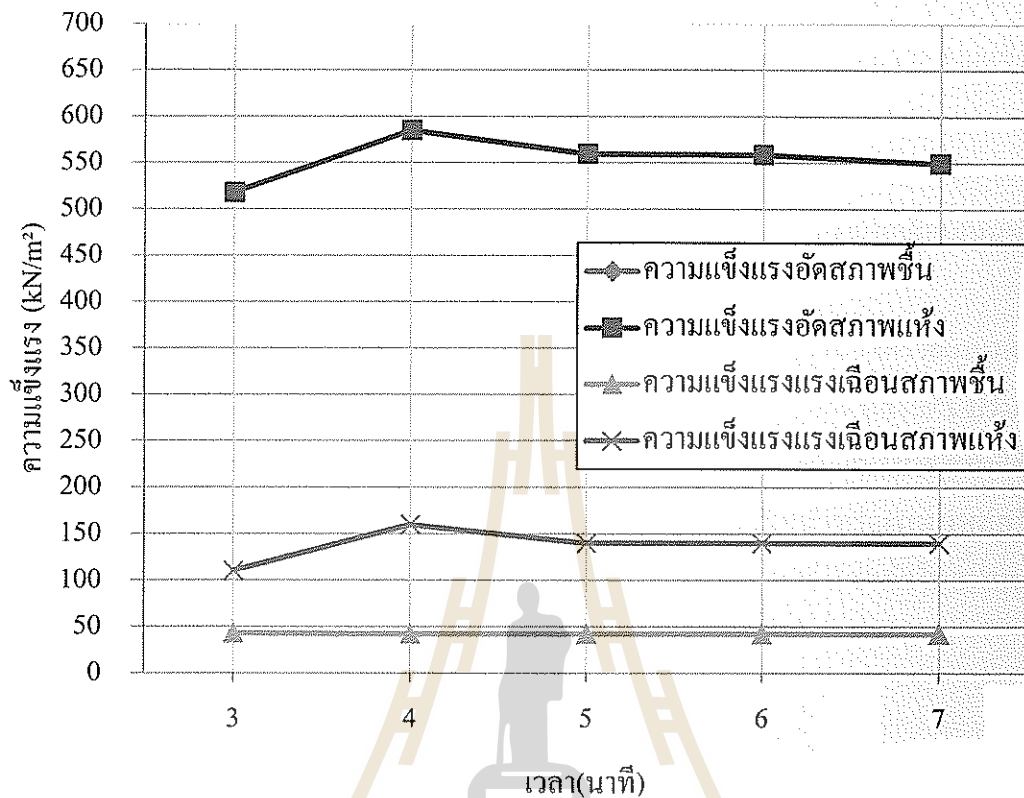
จากการศึกษาข้อมูลพบว่าเวลาในการผสมทรายเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของทรายแบบหล่อในระบบ ดังนั้น จึงได้ทดสอบหาเวลาที่เหมาะสม โดยมีตัวแปรที่สำคัญคือ ดินเหนียวโซเดียมเบนทอไนต์ 2%, 4%, 6%, น้ำ 4% และเวลา 3-7 นาที ทรายในระบบมี : Active clay = 7.5%, Dead clay = 2.24%, AFS grain fineness No. = 59.85 ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 3.11 ถึงรูปที่ 3.13 และตารางที่ 3.7



รูปที่ 3.11 ผลของเวลาในการผสมทรายแบบหล่อต่อความแข็งแรงของทรายแบบหล่อที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ 2% (ผลที่ไม่แสดง : ความแข็งแรงอัดสภาพแห้ง > 650 kN/m<sup>2</sup>)



รูปที่ 3.12 ผลของเวลาในการผสมทรายแบบหล่อต่อความแข็งแรงของทรายแบบหล่อที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ 4% (ผลที่ไม่แสดง : ความแข็งแรงอัดสภาพแห้ง > 650 kN/m<sup>2</sup>)



รูปที่ 3.13 ผลของเวลาในการผสมทรายแบบหล่อต่อความแข็งแรงของทรายแบบหล่อที่มี  
โซเดียมเบนโทไนต์ 6% (ผลที่ไม่แสดง : ความแข็งแรงอัดสภาพชื้น > 130 kN/m<sup>2</sup>)

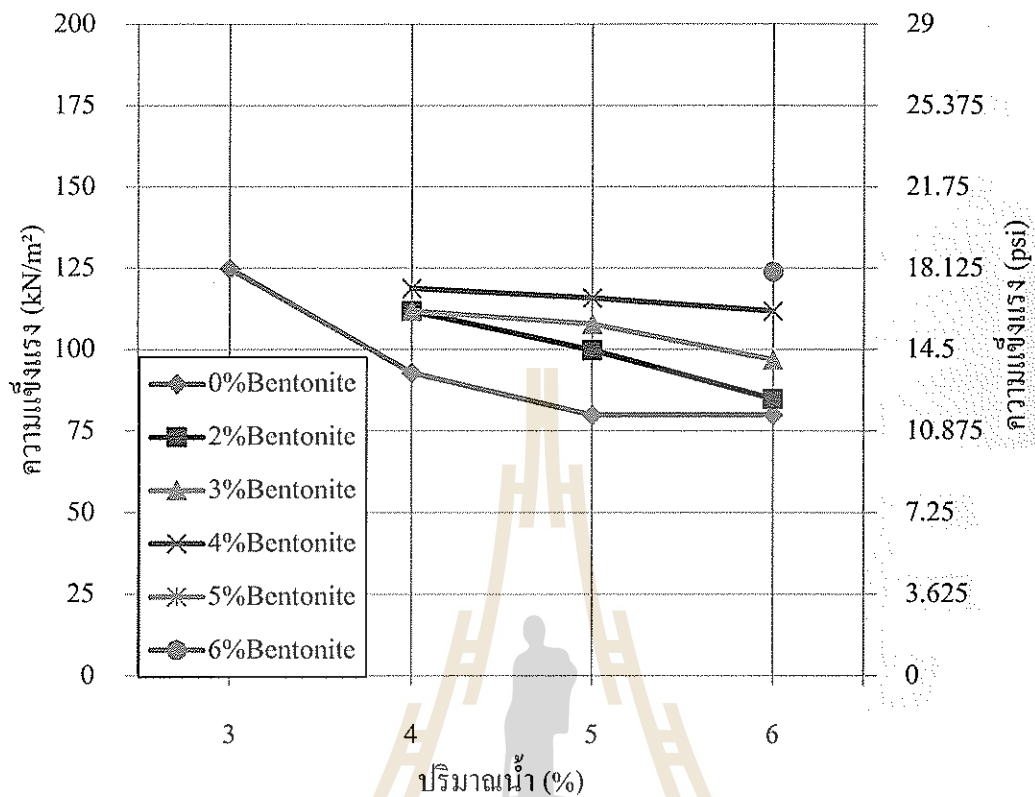
ตารางที่ 3.4 ผลของเวลาการผสมทรายแบบหล่อต่อความแข็งแรงของทรายแบบหล่อในระบบที่มี  
โซเดียมเบนโทไนต์ต่างกัน

ผลของเวลาที่ทำให้แบบหล่อทรายมีความแข็งแรงสูงสุด			
โซเดียมเบนโทไนต์ (%)	เวลาในการผสม (นาที่)	เวลาที่ให้ความแข็งแรงสูงสุด (นาที่)	ค่าความแข็งแรงสูงสุด (kN/m <sup>2</sup> )
2	4-6	4	115.6
4	4-5	4	128
6	4-5	4	>130

จากการทดสอบสมบัติทรายของสภาวะทดลองต่าง ๆ พบว่าความแข็งแรงของทรายแบบที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 4 นาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ครอบคลุมสำหรับการนำไปใช้ทำการทดลองหาผลของโซเดียมเบนทอไนต์ต่อความแข็งแรงของทรายแบบหล่อในระบบและมีค่าความแข็งแรงที่มีแนวโน้มสูง

### 3.5.2 ผลของปริมาณน้ำต่อค่าความแข็งแรงของทรายแบบหล่อชนิดที่มีโซเดียมเบนทอไนต์เป็นตัวประสาน

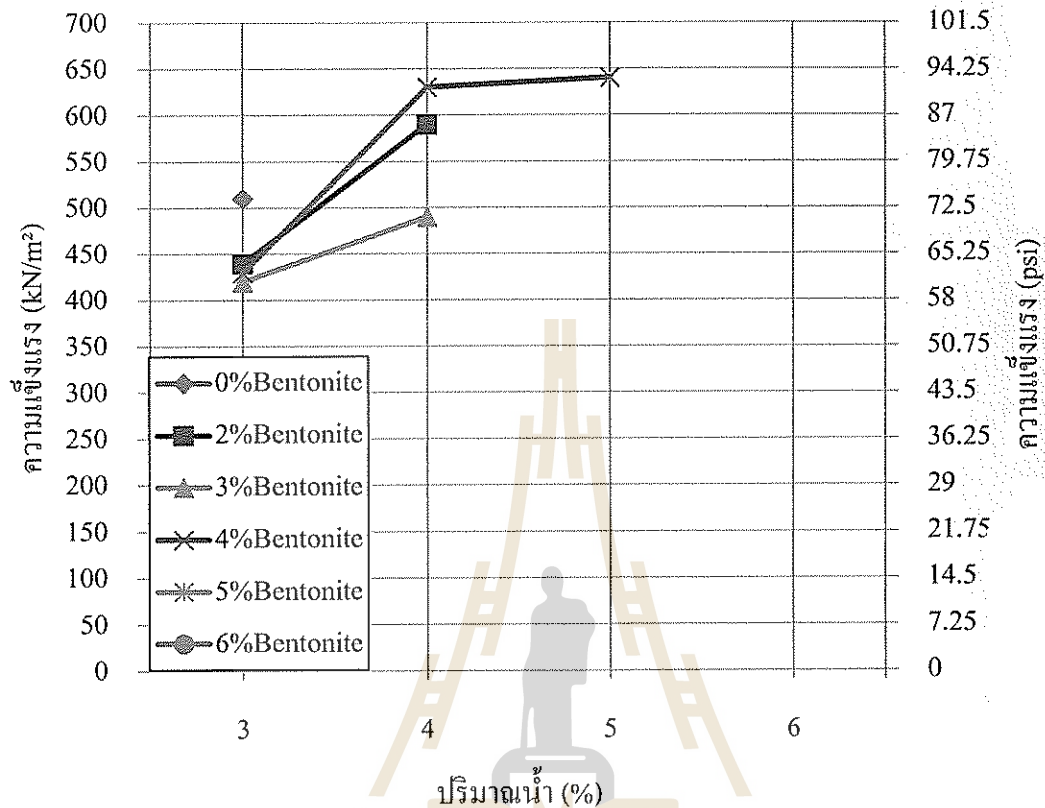
ในการทดสอบผลของโซเดียมเบนทอไนต์ ต่อความแข็งแรงของทรายแบบหล่อในระบบ โดยมีตัวแปรที่สำคัญคือ โซเดียมเบนทอไนต์ 0%, 2%, 3%, 4%, 5% และ 6% ปริมาณน้ำ 3 - 6% และใช้เวลา 4 นาทีในการผสมทราย ผลการทดลองเมื่อผสมทรายด้วยปริมาณของโซเดียมเบนทอไนต์ในปริมาณต่าง ๆ และผสมน้ำในปริมาณต่างกัน โดยเมื่อนำทรายแบบหล่อขึ้นไปทดสอบความแข็งแรงอัดในสภาพชื้นมีผลแสดงในรูปที่ 3.14 และความแข็งแรงอัดในสภาพแห้งมีผลแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.14 ผลของปริมาณน้ำต่อค่าความแข็งแรงอัดของทรายแบบหล่อในสภาพชื้นที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน (ผลที่ไม่แสดง : ความแข็งแรงอัดสภาพชื้น > 130 kN/m<sup>2</sup>)

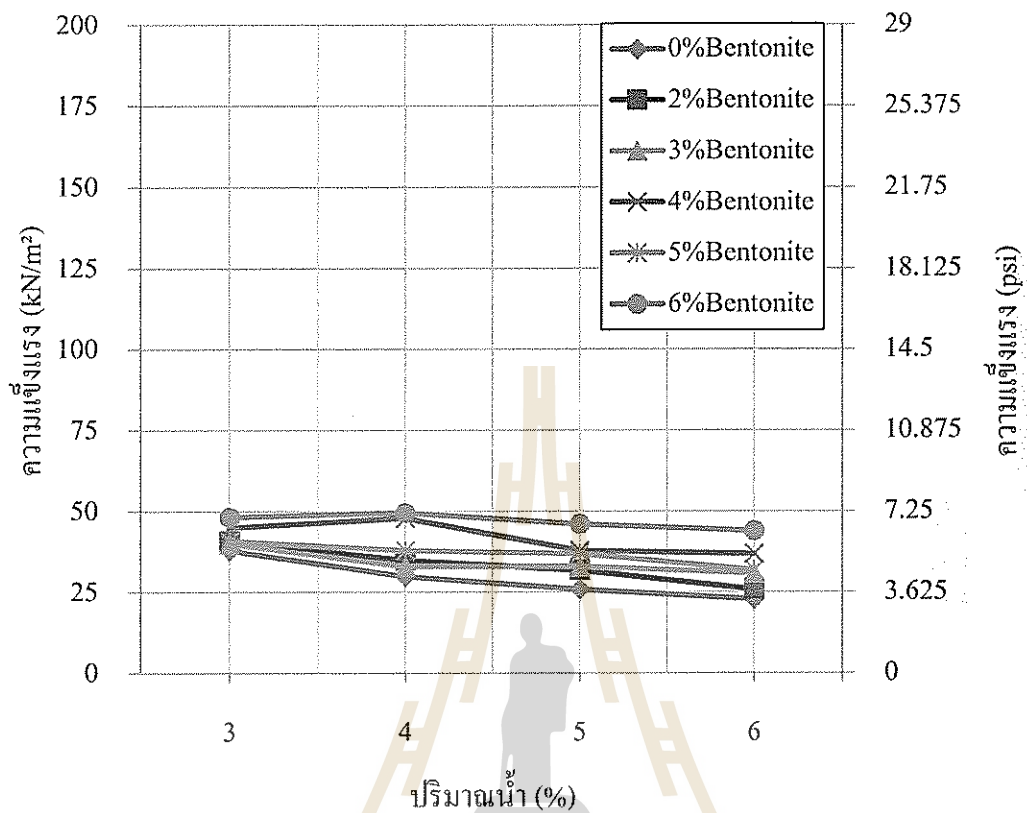
จากรูปที่ 3.14 แสดงให้เห็นว่า เมื่อน้ำมีปริมาณมากขึ้น จะส่งผลให้ความแข็งแรงของทรายแบบหล่อลดลง และเมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงตามผลของเบนทอไนต์ พบว่าเมื่อปริมาณเบนทอไนต์มากขึ้นความแข็งแรงของแบบหล่อทรายสูงขึ้น





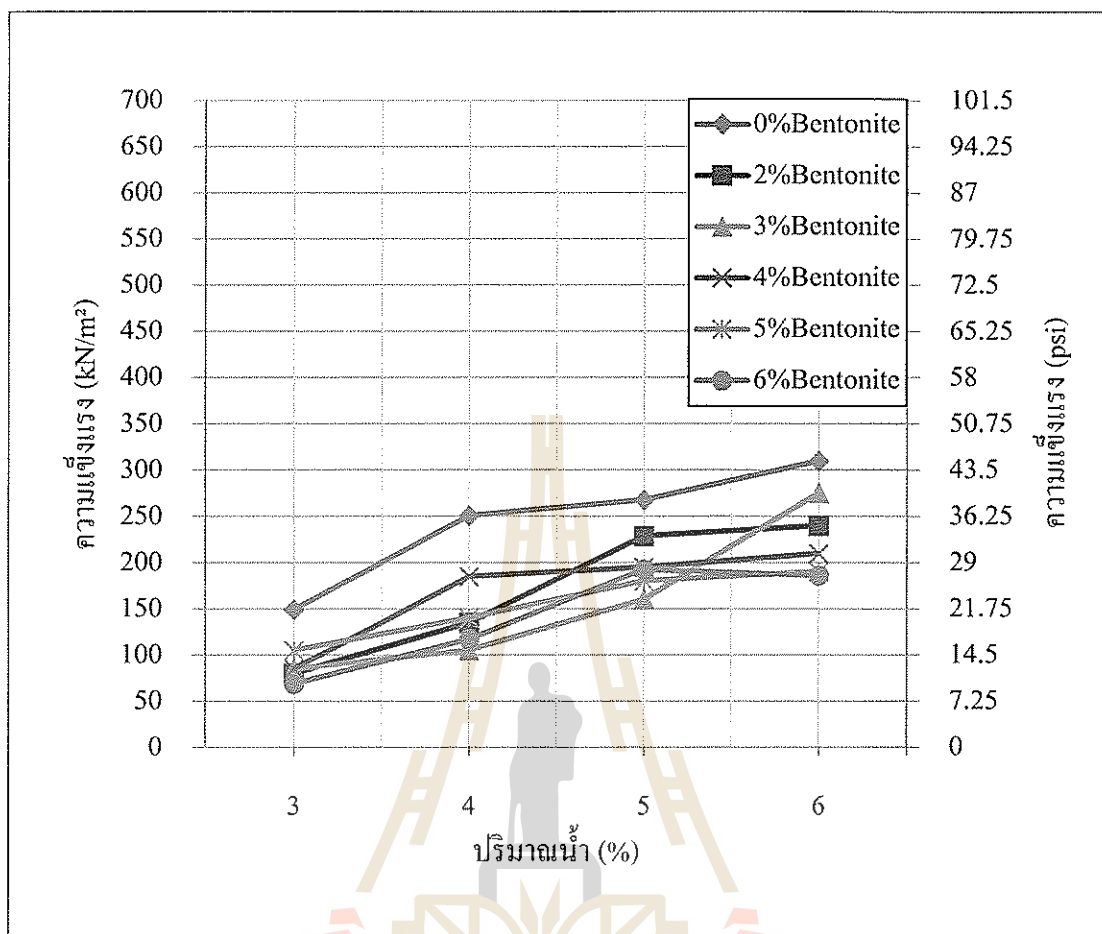
รูปที่ 3.15 ผลของปริมาณน้ำต่อค่าความแข็งแรงอัดของทรายแบบหล่อในสภาพแห้งที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน (ผลที่ไม่แสดง : ความแข็งแรงอัดสภาพแห้ง > 650 kN/m<sup>2</sup>)

จากรูปที่ 3.15 แสดงให้เห็นว่า เมื่อน้ำมีปริมาณมากขึ้น จะส่งผลให้ความแข็งแรงของทรายแบบหล่อเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงตามผลของเบนทอไนต์ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเบนทอไนต์ ความแข็งแรงของทรายแบบหล่อในระบบลดลง แบบหล่อทรายที่ไม่ได้เติมเบนทอไนต์นั้นมีความแข็งแรงสูงสุด



รูปที่ 3.16 ผลของปริมาณน้ำต่อค่าความแข็งแรงเฉือนของทรายแบบหล่อในสภาพชื้นที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน

จากรูปที่ 3.16 แสดงให้เห็นว่า เมื่อน้ำมีปริมาณมากขึ้น จะส่งผลให้ความแข็งแรงของแบบหล่อทรายลดลง และเมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงตามผลของเบนทอไนต์ พบว่าเมื่อปริมาณเบนทอไนต์มากขึ้นความแข็งแรงของแบบหล่อทรายสูงขึ้น

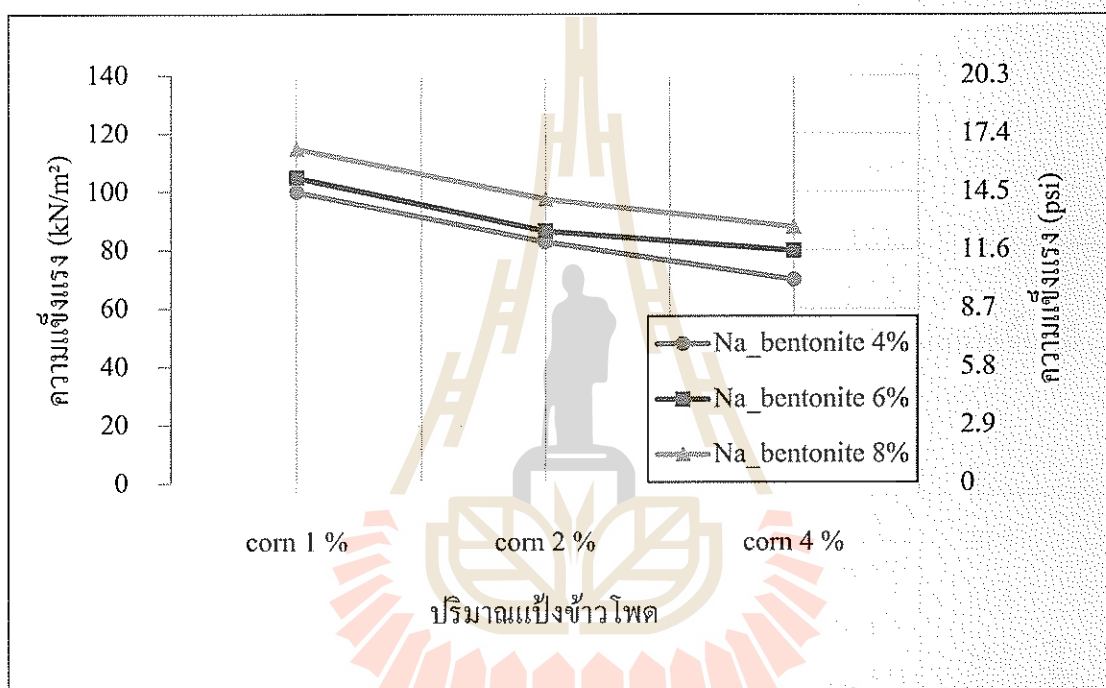


รูปที่ 3.17 ผลของปริมาณน้ำต่อค่าความแข็งแรงเฉือนของทรายแบบหล่อในสภาพแห้งที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน

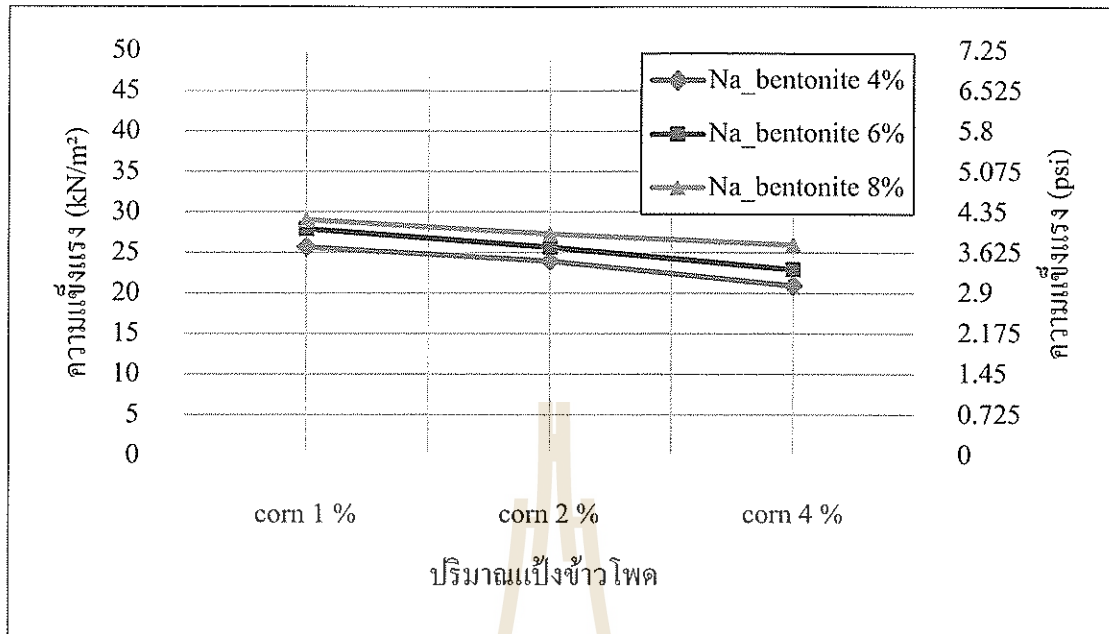
จากรูปที่ 3.17 แสดงให้เห็นว่า เมื่อน้ำมีปริมาณมากขึ้น จะส่งผลให้ความแข็งแรงของแบบหล่อทรายเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงตามผลของเบนทอไนต์ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเบนทอไนต์ ความแข็งแรงของทรายแบบหล่อในระบบลดลง แบบหล่อทรายที่ไม่ได้เติมเบนทอไนต์นั้นมีความแข็งแรงสูงสุด

### 3.5.3 ผลของสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ ต่อค่าความแข็งแรงของทรายแบบหล่อที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน

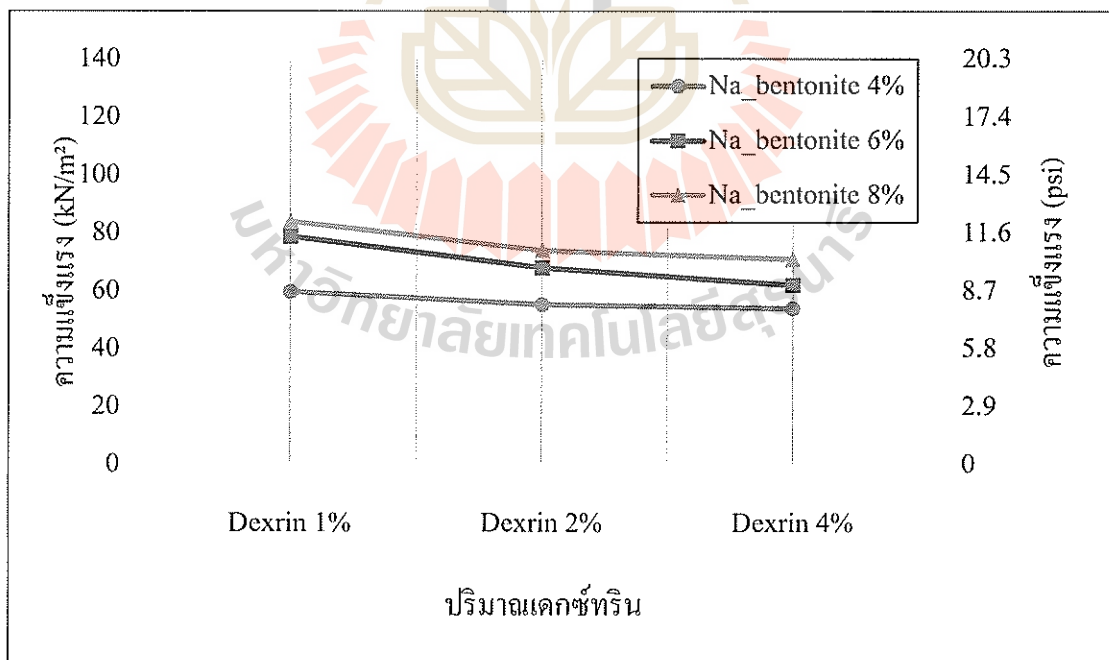
ในการทดลองที่ผ่านมพบว่าปริมาณน้ำ 3% ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดในการผสมทราย เวลา 4 นาที จึงได้เติมสารเติมแต่ง 4 ชนิด คือ 1. แป้งข้าวโพด 2. เดกซ์ทรีน 3. โพลีคาร์บอน 4. ซีโกล ต่อความแข็งแรงของทรายแบบหล่อในระบบ โดยมีตัวแปรที่สำคัญคือ โซเดียมเบนทอไนต์ 4% , 6% และ 8%



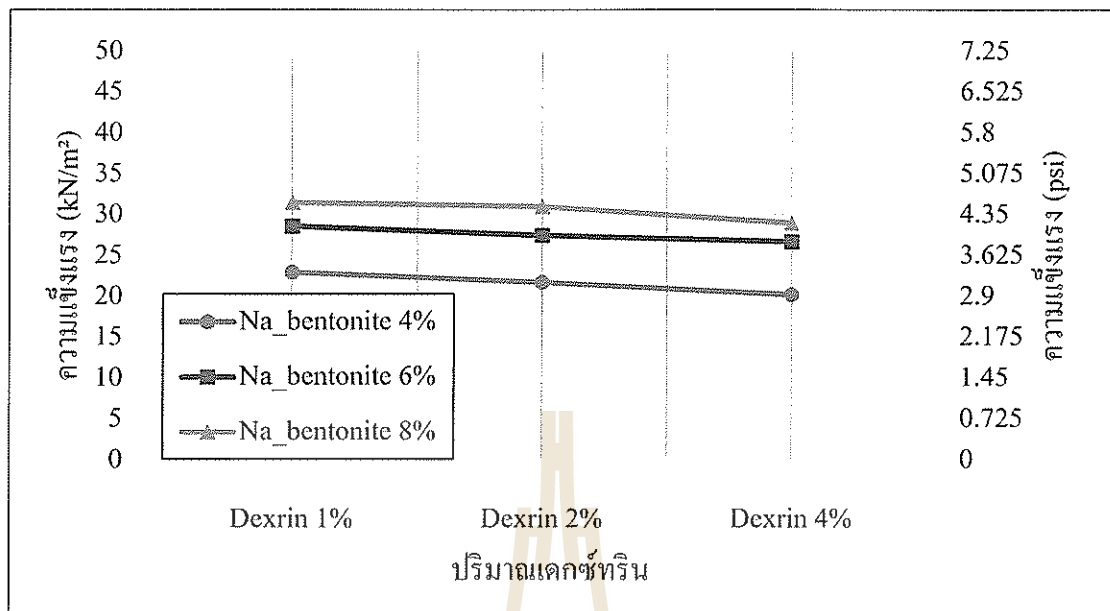
รูปที่ 3.18 ผลของแป้งข้าวโพดต่อค่าความแข็งแรงอัดของทรายแบบหล่อชั้นที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน



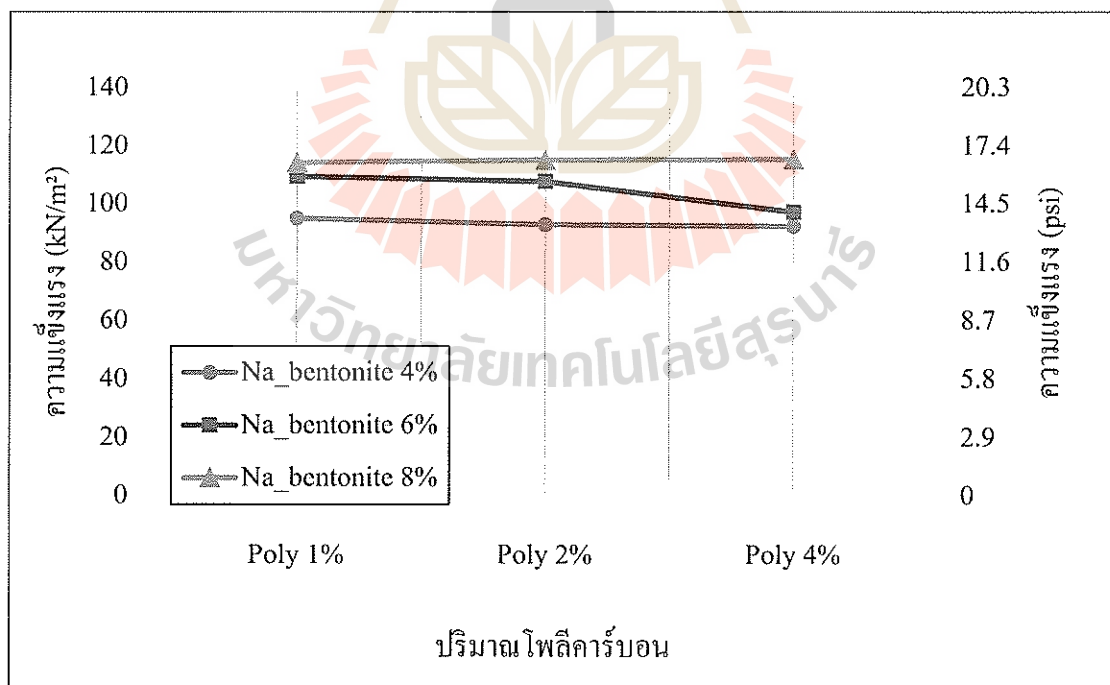
รูปที่ 3.19 ผลของแป้งข้าวโพดต่อค่าความแข็งแรงเฉือนของทรายแบบหล่อในสภาพชื้นที่มีโซเดียมเบนทอนิต์ต่างกัน



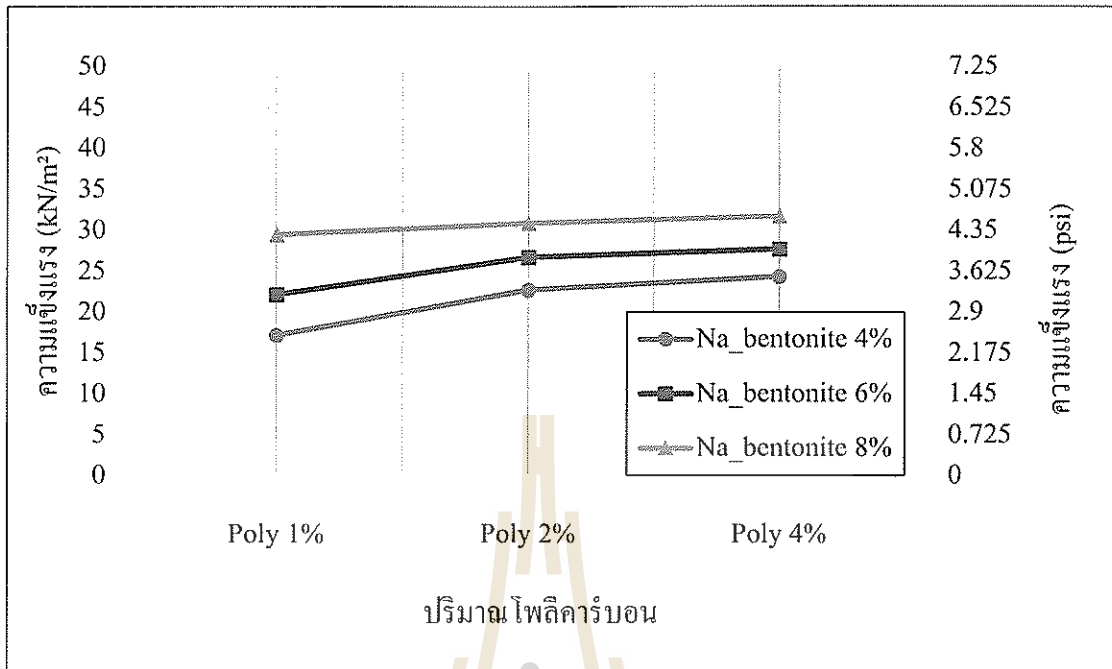
รูปที่ 3.20 ผลของเดกซ์ทรินต่อค่าความแข็งแรงอัดของทรายแบบหล่อในสภาพชื้นที่มีโซเดียมเบนทอนิต์ต่างกัน



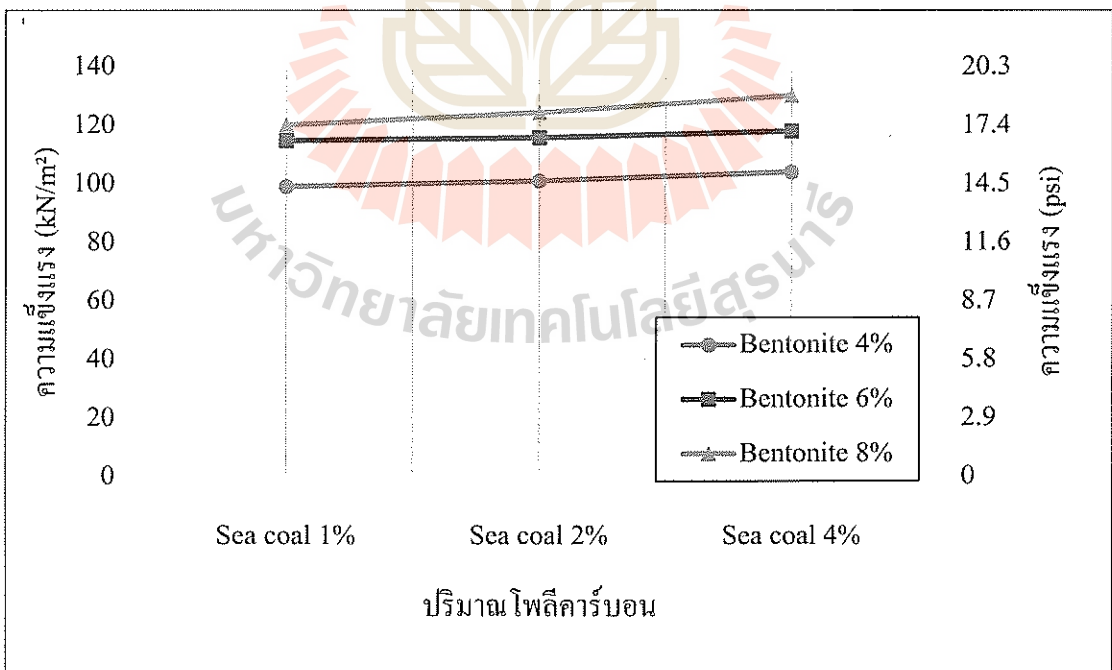
รูปที่ 3.21 ผลของเดกซ์ทรีนต่อค่าความแข็งแรงเฉือนของทราวยแบบหล่อในสภาพชื้นที่มีโซเดียมเบนทอนไนต์ต่างกัน



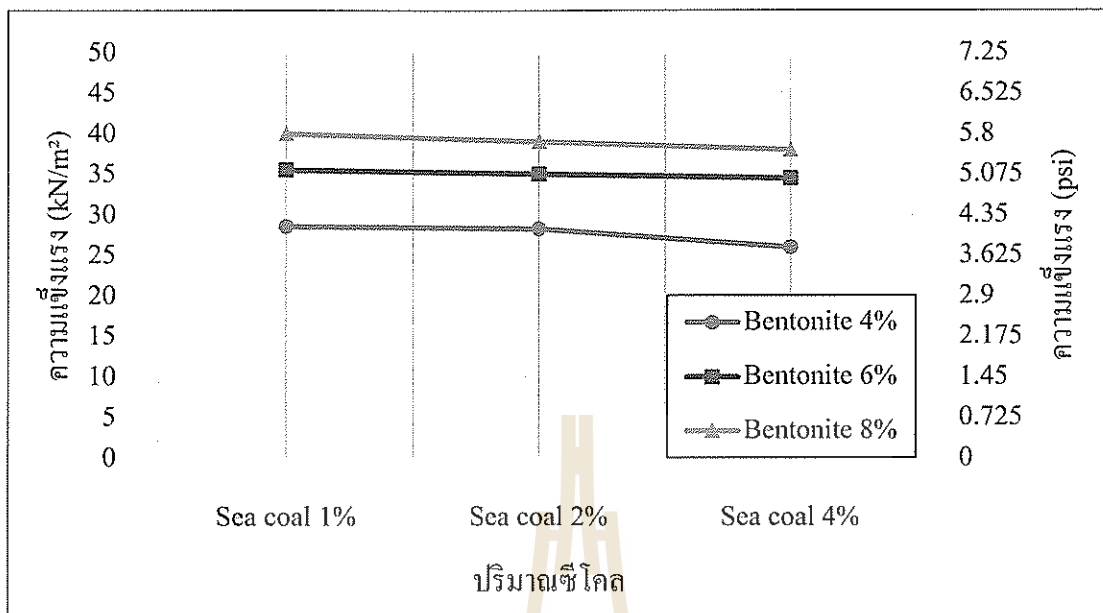
รูปที่ 3.22 ผลของโพลีคาร์บอนต่อค่าความแข็งแรงอัดของทราวยแบบหล่อในสภาพชื้นที่มีโซเดียมเบนทอนไนต์ต่างกัน



รูปที่ 3.23 ผลของโพลีคาร์บอนต่อค่าความแข็งแรงเฉือนของทรายแบบหล่อในสภาพชื้นที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน



รูปที่ 3.24 ผลของซีโกลต่อค่าความแข็งแรงอัดของทรายแบบหล่อในสภาพชื้นที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน



รูปที่ 3.25 ผลของซีโคลต่อค่าความแข็งแรงเฉือนของทรายแบบหล่อในสภาพชั้นที่มีโซเดียมเบนทอไนต์ต่างกัน

จากการเติมสารเติมแต่งทั้ง 4 ชนิดในทรายแบบหล่อเพื่อทดสอบความแข็งแรงอัดและความแข็งแรงเฉือนของทรายชั้นนั้น จากรูปที่ 3.17 กับ รูปที่ 3.19 ค่าความแข็งแรงอัดและจากรูปที่ 3.18 กับ รูปที่ 3.20 ค่าความแข็งแรงเฉือนของทรายแบบที่ผสมข้าวโพดและเดกทรีนชั้นนั้น มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณของสารเติมแต่งมากขึ้น และพบว่าเมื่อปริมาณของเบนทอไนต์ที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มที่ทำให้ความแข็งแรงอัด/เฉือน เพิ่มขึ้น จากรูปที่ 3.21 กับ รูปที่ 3.23 ค่าความแข็งแรงอัดของทรายแบบที่ผสมโพลีคาร์บอนกับซีโคลมีค่าความแข็งแรงค่อนข้างคงที่เมื่อเพิ่มปริมาณสารเติมแต่ง ซึ่งต่างจากรูปที่ 3.22 ความแข็งแรงเฉือนของทรายแบบที่ผสมโพลีคาร์บอน โดยที่เมื่อสารเติมแต่งมีปริมาณมากขึ้น แนวโน้มของค่าความแข็งแรงเฉือนจะเพิ่มขึ้น และรูปที่ 3.24 ความแข็งแรงเฉือนของทรายแบบที่ผสมซีโคลเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มที่ค่าความแข็งแรงเฉือนลดลง แต่ทรายแบบที่ผสมโพลีคาร์บอนและซีโคล พบว่าเมื่อปริมาณเบนทอไนต์เพิ่มขึ้นความแข็งแรงอัด/เฉือนจะเพิ่มขึ้น



### 3.6 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของโซเดียมเบนทอไนต์ต่อค่าความแข็งแรงของทรายแบบหล่อในระบบ โดยทดสอบความแข็งแรงของทรายขึ้นเมื่อได้รับแรงกดอัดและความแข็งแรงของทรายขึ้นเมื่อได้รับแรงเฉือน ซึ่งมีตัวแปรที่สำคัญคือ ปริมาณของเบนทอไนต์ระหว่าง 0%, 2%, 3%, 4%, 5% และ 6% ปริมาณน้ำ 3% - 6% และเวลาของการผสมทรายรวมถึงชนิดและปริมาณสารเติมแต่งที่มีผลต่อความแข็งแรงของทรายแบบหล่อ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลของโซเดียมเบนทอไนต์ต่อความแข็งแรงอัดของทรายแบบหล่อในระบบสภาพขึ้น ทรายที่ไม่เติมโซเดียมเบนทอไนต์มีค่าความแข็งแรง  $126 \text{ kN/m}^2$  และเมื่อเติมโซเดียมเบนทอไนต์ 2%, 3%, 4%, 5% และ 6% ความแข็งแรงของทรายแบบเพิ่มขึ้น จาก  $115 \text{ kN/m}^2$  เมื่อเติมโซเดียมเบนทอไนต์ 2% เป็นมากกว่า  $130 \text{ kN/m}^2$  เมื่อเติมโซเดียมเบนทอไนต์ 6%
2. โซเดียมเบนทอไนต์มีแนวโน้มทำให้ความแข็งแรงเฉือนของทรายแบบขึ้นเพิ่มขึ้นตาม ปริมาณของน้ำที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่าที่ปริมาณน้ำ 3% ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของทรายในสภาพขึ้น สูงสุด
3. จากการศึกษาสารเติมแต่งในทรายแบบที่มีปริมาณเบนทอไนต์ต่างกันพบว่า ความแข็งแรงของทรายแบบที่มีปริมาณเบนทอไนต์มากจะมีความแข็งแรงมากในทุก ๆ สภาพของทรายแบบที่มีสารเติมแต่งต่างชนิดกัน

## บทที่ 4

### การทดสอบความหยาบผิวของชิ้นงานหล่อ

#### 4.1 บทนำ

ความหยาบผิวจัดเป็น ลักษณะในเชิงโลหะวิทยาอย่างหนึ่งของวัสดุประเภทโลหะซึ่งบ่งบอกคุณภาพผิวของชิ้นงานคุณภาพผิวงานหล่อที่ได้จากการหล่อโดยใช้ทรายแบบขึ้นจะต้องมีความหยาบผิวค่อนข้างต่ำงานหล่อบางประเภทไม่จำเป็นต้องการผิวชิ้นงานดีมากเพื่อลดต้นทุนการผลิตแต่ชิ้นงานหล่อบางประเภทต้องการคุณภาพผิวสุดท้ายที่ดี ปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อสภาพผิวของชิ้นงานหล่อ คือสมบัติของแบบหล่อทรายที่เกิดจากการปรับปรุงสมบัติด้วยการเติมสารเติมแต่งทั้งนี้สารเติมแต่งที่ต่างกันจะส่งผลต่อสมบัติของทรายแบบหล่อต่างกัน และจะส่งผลที่แตกต่างกันต่อสภาพผิวของชิ้นงานหล่อในที่สุด ในการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของสารเติมแต่งชนิดต่างๆ ที่มีต่อสภาพผิวของชิ้นงานหล่อการระบุสภาพผิวจะทำโดยการวัดความหยาบของผิวงานหล่อ การวัดความหยาบผิวจะใช้เครื่องวัดความหยาบผิว

ได้มีการกำหนดคำนิยามและการระบุพารามิเตอร์แสดงความหยาบของพื้นผิว (สำหรับการผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม) ที่สำคัญๆ มีดังนี้

- $R_y$  : ความหยาบสูงสุด
- $R_a$  : ค่าเฉลี่ยความหยาบของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิต
- $R_z$  : ค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวแบบสิบจุด
- $S_m$  : ค่าเฉลี่ยระยะระหว่างยอดเส้นกราฟ
- $S$  : อัตราส่วนความยาวในช่วงเส้นกราฟ
- $T_p$  : ความหยาบของพื้นผิวเป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตของพื้นที่ที่ได้รับการสุ่มเลือก

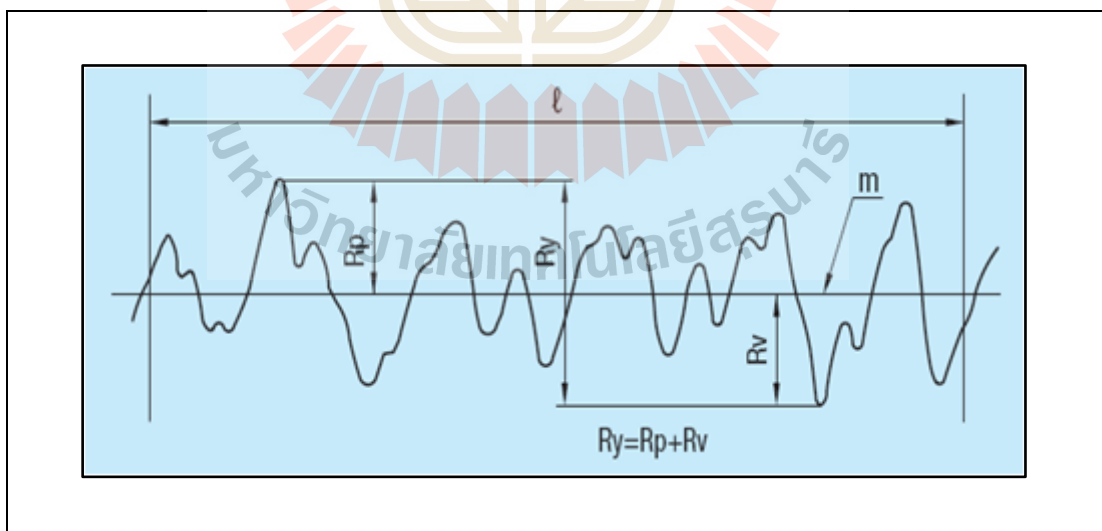
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบของพื้นผิวได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบของพื้นผิวและสัญลักษณ์  
(Misumi ไทยแลนด์)

Arithmetic Average Roughness Ra			Maximum Height Ry	Ten-spot Average Roughness Rz	Reference Length of Ry(Rz) $l$ (mm)	Conventional Finish Symbol
Standard Series	Cut-off Value $\lambda$ (mm)	Graphical Representation of Surface Texture	Standard Series			
0.012 a 0.025 a 0.05 a 0.1 a 0.2 a	0.08 0.25	$0.012 \sqrt{\lambda} \sim 0.2 \sqrt{\lambda}$	0.05 s 0.1 s 0.2 s 0.4 s 0.8 s	0.05 z 0.1 z 0.2 z 0.4 z 0.8 z	0.08 0.25	
0.4 a 0.8 a 1.6 a	0.8		1.6 s 3.2 s 6.3 s	1.6 z 3.2 z 6.3 z	0.8	
3.2 a 6.3 a	2.5	$3.2 \sqrt{\lambda} \sim 6.3 \sqrt{\lambda}$	12.5 s 25 s	12.5 z 25 z	2.5	
12.5 a 25 a	8	$12.5 \sqrt{\lambda} \sim 25 \sqrt{\lambda}$	50 s 100 s	50 z 100 z	8	
50 a 100 a			-	$50 \sqrt{\lambda} \sim 100 \sqrt{\lambda}$		

### 1) ค่าความหยาบสูงสุด (Ry)

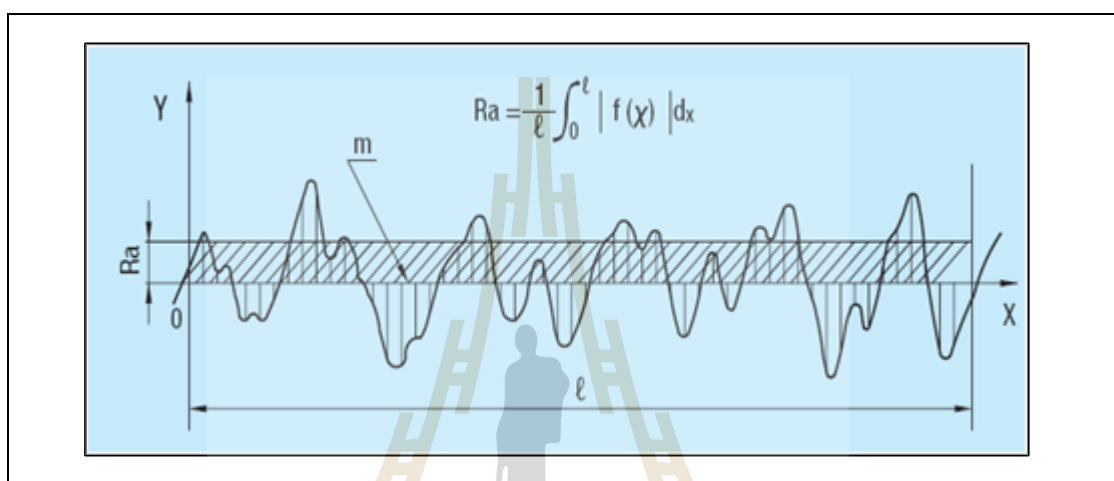
ค่าความหยาบสูงสุดวัดจากกราฟความหยาบผิวที่อยู่บนเส้นอ้างอิงเป็นระยะที่เกิดจากกราฟสูงสุดและต่ำสุด มีหน่วยเป็นไมครอน ( $\mu\text{m}$ ) แสดงดังในรูปที่ 4.1  
หมายเหตุ : การหาค่า Ry ควรเลือกบริเวณที่กราฟ มีค่าความหยาบสม่ำเสมอ ไม่ควรวัดบริเวณที่กราฟมีค่าความหยาบสูงหรือต่ำผิดปกติ



รูปที่ 4.1 ค่าความหยาบสูงสุด (Ry) (Misumi ไทยแลนด์)

## 2) ความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิต (Ra)

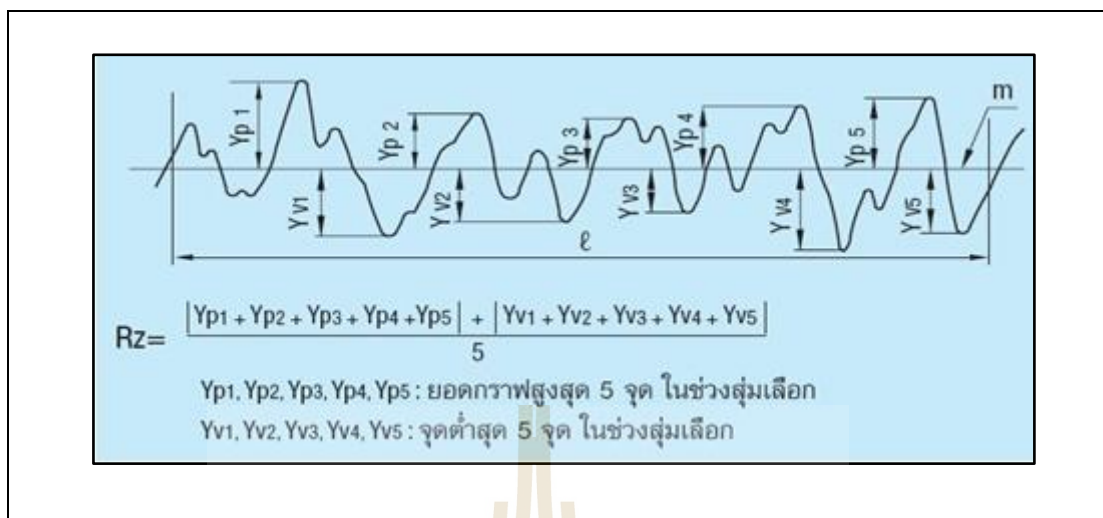
ความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิต วัดจากกราฟความหยาบผิวที่อยู่บนเส้นอ้างอิง ระยะค่าเฉลี่ย จะอยู่บนกราฟตามแนวแกน x ของเส้นอ้างอิง และแนวแกน y จะเป็นขนาดความหยาบผิว ค่า Ra จะหาได้จากสมการที่แสดงบนรูปมีหน่วยเป็นไมครอน ( $\mu\text{m}$ )แสดงดังในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิต (Ra) (Misumi ไทยแลนด์)

## 3) ค่าเฉลี่ยความหยาบของพื้นผิวแบบสิบจุด (Rz)

ค่าเฉลี่ยความหยาบของพื้นผิวแบบสิบจุด วัดจากกราฟความหยาบผิวที่อยู่บนเส้นอ้างอิง โดยคำนวณจากความสูงของยอดกราฟ 5 จุดบน และความสูงของยอดกราฟ 5 จุดล่างมารวมกันและหาค่าเฉลี่ยมีหน่วยเป็นไมครอน ( $\mu\text{m}$ )แสดงดังในรูปที่ 4.3

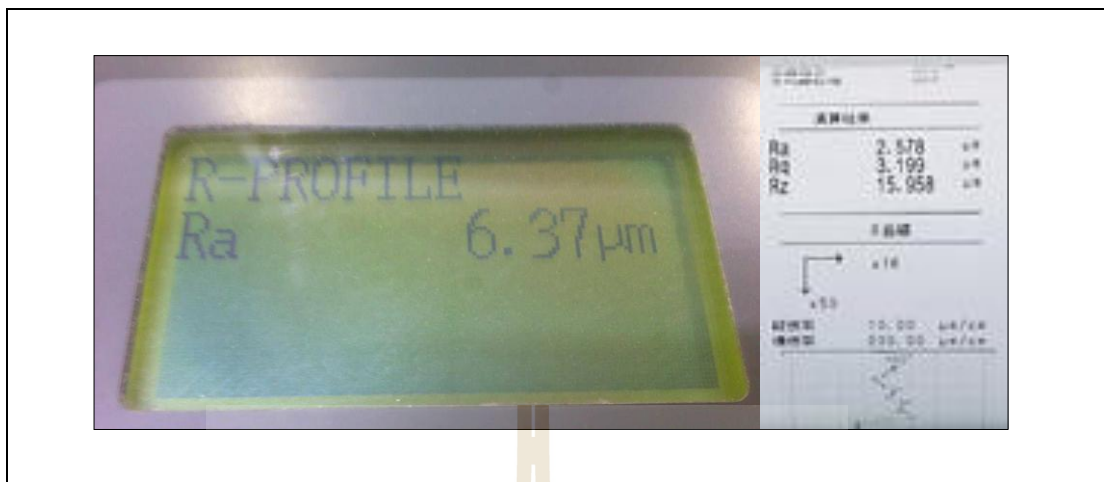


รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยความหยาบของพื้นผิวแบบสิบจุด (Rz) (Misumi ไทยแลนด์)

ในทางปฏิบัติการวัดความหยาบผิวชิ้นงานจะใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดยผลที่ได้แสดงดังในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 เครื่องวัดความหยาบผิว Mitutoyo SurfTest SV 400



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างค่าความหยาบผิวที่อ่านได้จากเครื่องวัดความหยาบผิวและค่าความหยาบผิวที่สามารถสั่งพิมพ์ออกมาจากเครื่องวัดความหยาบผิว

ในการเปรียบเทียบความหยาบผิวของชิ้นงานสามารถที่จะพิจารณาได้จากการเทียบกับมาตรฐานของ AFS C-9 แสดงดังในรูปที่ 4.6 โดยที่ค่าเฉลี่ยเลขน้อยจะหมายถึงมีความหยาบน้อย (เรียบมาก) ขณะที่ค่าเฉลี่ยเลขมากจะหมายถึงมีความหยาบมาก



รูปที่ 4.6 แสดงผิวชิ้นงานมาตรฐานของสมาคมหล่อโลหะอเมริกาแห่งประเทศอเมริกา C-9

## 4.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การศึกษาผลของสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อต่อสภาพผิวชิ้นงานหล่อ โดยการวัดความหยาบผิวชิ้นงานหล่อที่ได้ มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้



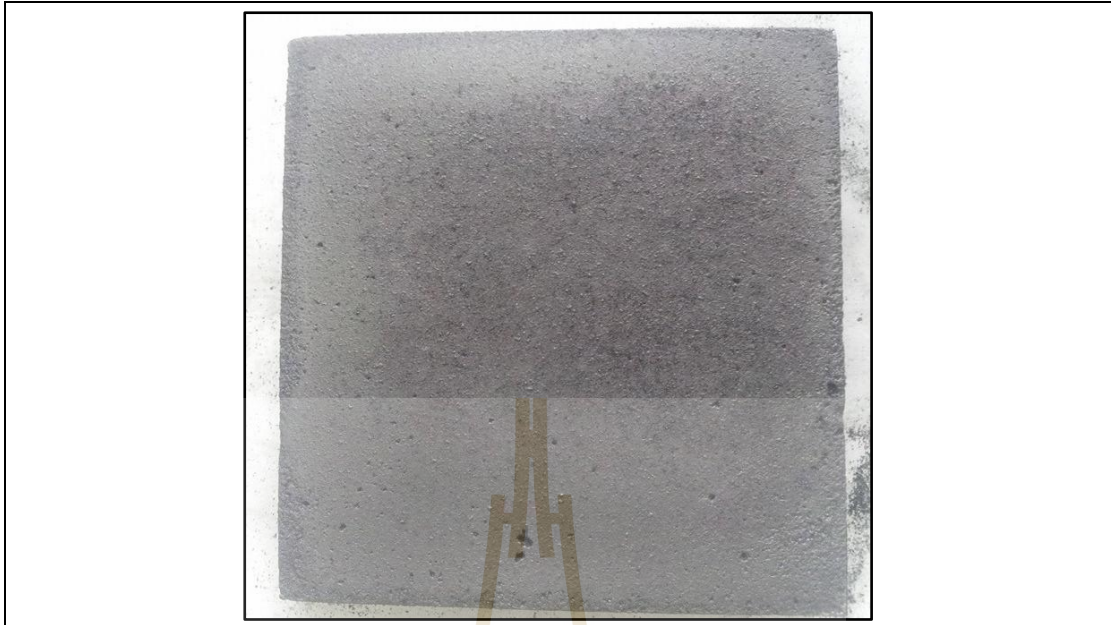


รูปที่ 4.7 การเทน้ำโลหะลงในแบบหล่อทราย

ตารางที่ 4.2 ปริมาณโซเดียมเบนทอไนต์และสารเติมแต่งของสภาวะการทดลองต่าง ๆ

ตัวประสาน สารเติมแต่ง	โซเดียมเบนทอไนต์		
	6%	8%	10%
แป้งข้าวโพด 1%	1	2	3
แป้งข้าวโพด 2%	4	5	6
แป้งข้าวโพด 4%	7	8	9
เดกซ์ทริน 1%	10	11	12
เดกซ์ทริน 2%	13	14	15
เดกซ์ทริน 4%	16	17	18
โพลีคาร์บอน 1%	19	20	21
โพลีคาร์บอน 2%	22	23	24
โพลีคาร์บอน 4%	25	26	27
ซีโคล 1%	28	29	30
ซีโคล 2%	31	32	33
ซีโคล 4%	34	35	36





รูปที่ 4.8 ชิ้นงานที่ได้จากการหล่อ



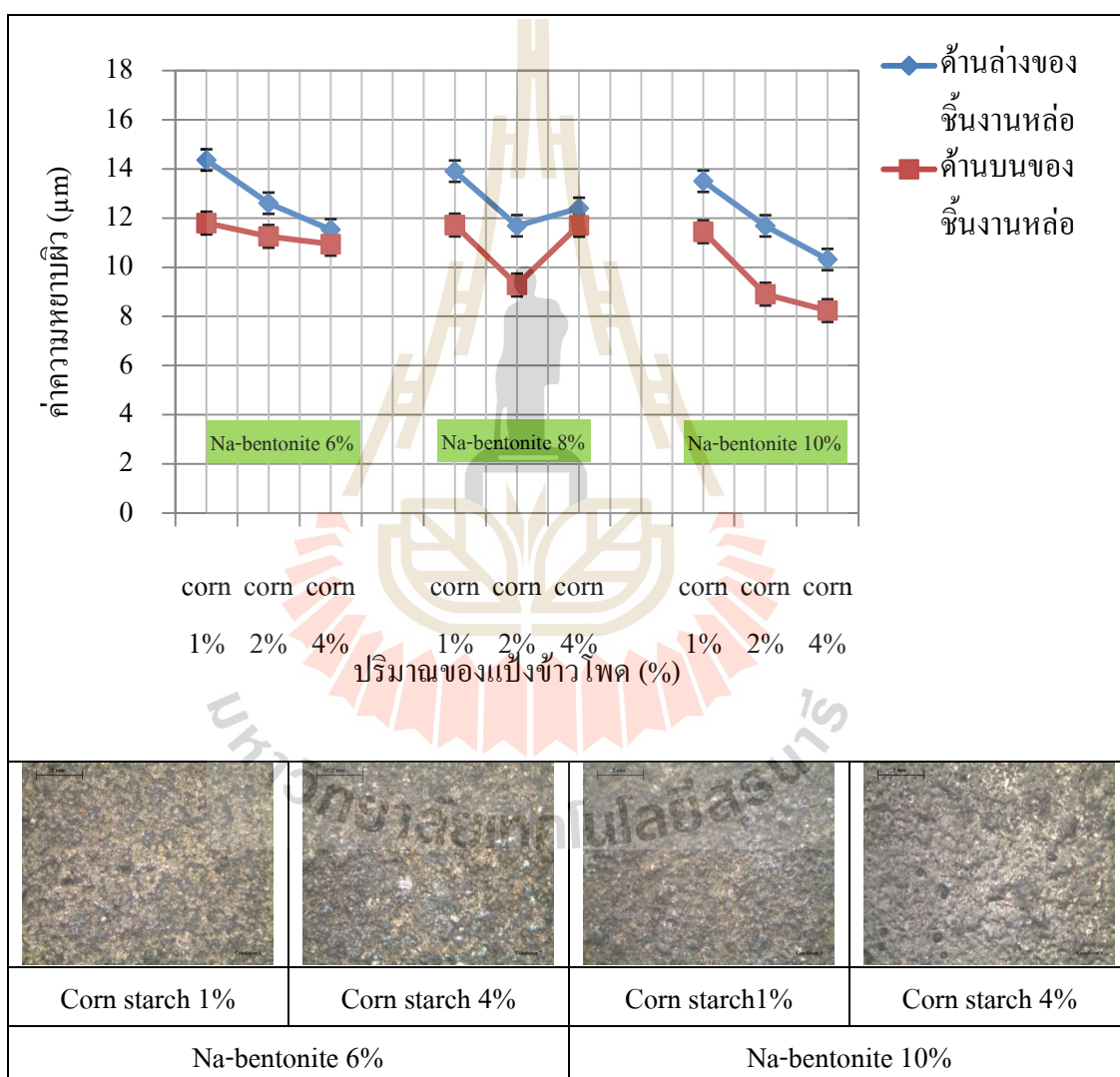
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างชิ้นงานสำหรับนำไปวิเคราะห์ความหยาบผิว

### 4.3 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

การศึกษาผลของสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อที่ส่งผลต่อสภาพผิวของชิ้นงานหล่อ มีผลการทดลองดังนี้

#### 4.3.1 ผลของแป้งข้าวโพดในทรายแบบหล่อต่อความหยาบผิวของชิ้นงานหล่อ

ความหยาบผิวของชิ้นงานที่ได้จากการหล่อโดยใช้ทรายที่เติมแป้งข้าวโพดในปริมาณที่ต่าง ๆ กัน แสดงดังในรูปที่ 4.10



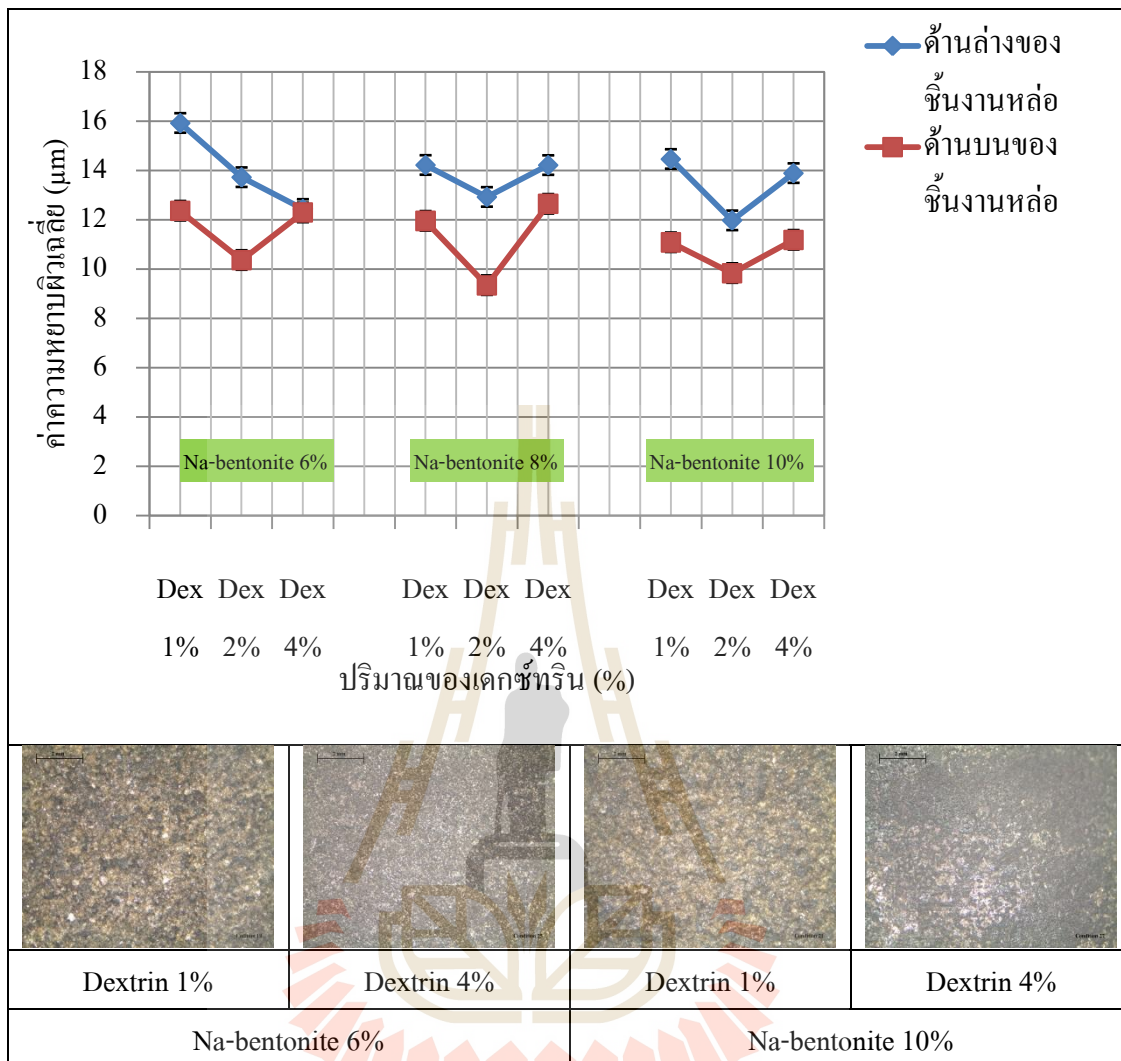
รูปที่ 4.10 ผลของแป้งข้าวโพดในแบบหล่อทรายที่มีต่อความหยาบผิวชิ้นงานหล่อ

จากรูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวของชิ้นงานโลหะด้านบนและด้านล่าง ซึ่งได้จากการหล่อด้วยทรายแบบที่ผสมแป้งข้าวโพดในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยผิวด้านบนของชิ้นงานมีค่าความหยาบผิวต่ำกว่าผิวด้านล่าง เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวโพดที่ 1% เป็น 2% และ 4% จะส่งผลให้ค่าความหยาบผิวมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ ตามลำดับ และเมื่อทรายแบบผสมด้วยเบนทอนไนต์ที่เพิ่มขึ้นจาก 6% เป็น 8% และ 10% ค่าความหยาบผิวที่ได้จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญถ้าผสมแป้งข้าวโพดในทรายแบบเกิน 2% ขึ้นไปอาจทำให้ได้ค่าความหยาบเพิ่มขึ้นจากการทดลองค่าความหยาบผิวต่ำสุดคือ  $8.24 \mu\text{m}$

#### 4.3.2 ผลของдекซ์ทรินในทรายแบบหล่อต่อความหยาบผิวของชิ้นงานหล่อ

ความหยาบผิวของชิ้นงานที่ได้จากการหล่อโดยใช้ทรายที่เติมдекซ์ทรินในปริมาณต่าง ๆ กัน แสดงดังในรูปที่ 4.11



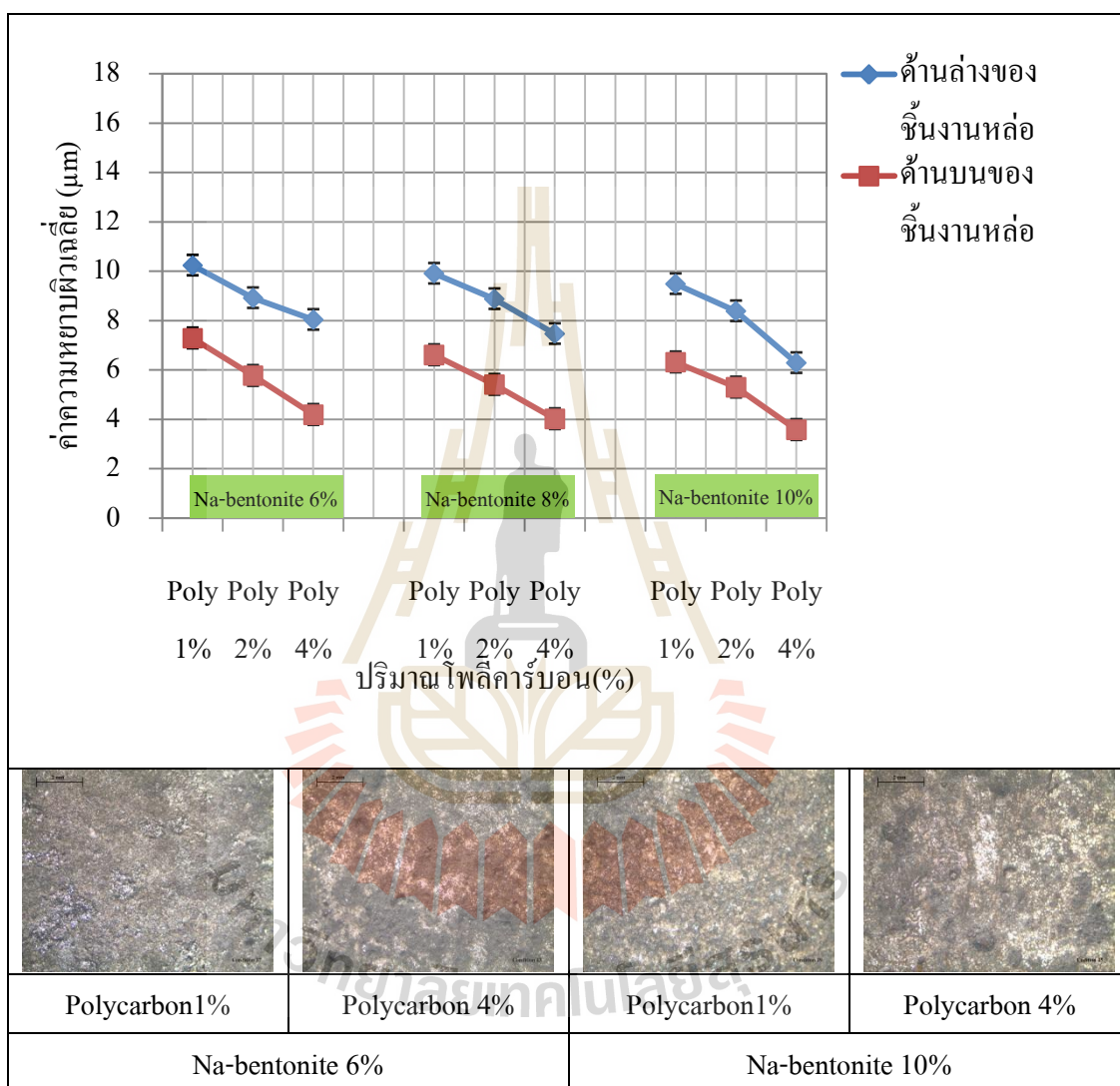


รูปที่ 4.11 ผลของเดกซ์ทรีนในแบบหล่อทรายที่มีต่อความหยาบผิวชั้นงานหล่อ

จากรูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวของชั้นงานโลหะด้านบนและด้านล่าง ซึ่งได้จากการหล่อด้วยทรายแบบที่ผสมเดกซ์ทรีนในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยผิวด้านบนของชั้นงานมีค่าความหยาบผิวต่ำกว่าผิวด้านล่าง เมื่อเติมเดกซ์ทรีนในปริมาณ 1% และ 2% จะส่งผลให้ค่าความหยาบผิวลดลงตามลำดับแต่ถ้าเติมเดกซ์ทรีนในทรายแบบเกิน 2% จะทำให้ค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้นปริมาณของเบนทอนไนต์ที่แตกต่างกันส่งผลต่อความหยาบผิวไม่แตกต่างกัน ค่าความหยาบผิวต่ำสุดคือ 9.34 μm

### 4.3.3 ผลของโพลีคาร์บอนในทรายแบบหล่อต่อความหยาบผิวชิ้นงานหล่อ

ความหยาบผิวของชิ้นงานหล่อที่ได้จากการหล่อโดยใช้ทรายที่เติมโพลีคาร์บอนในปริมาณต่างๆ กันแสดงดังในรูปที่ 4.12



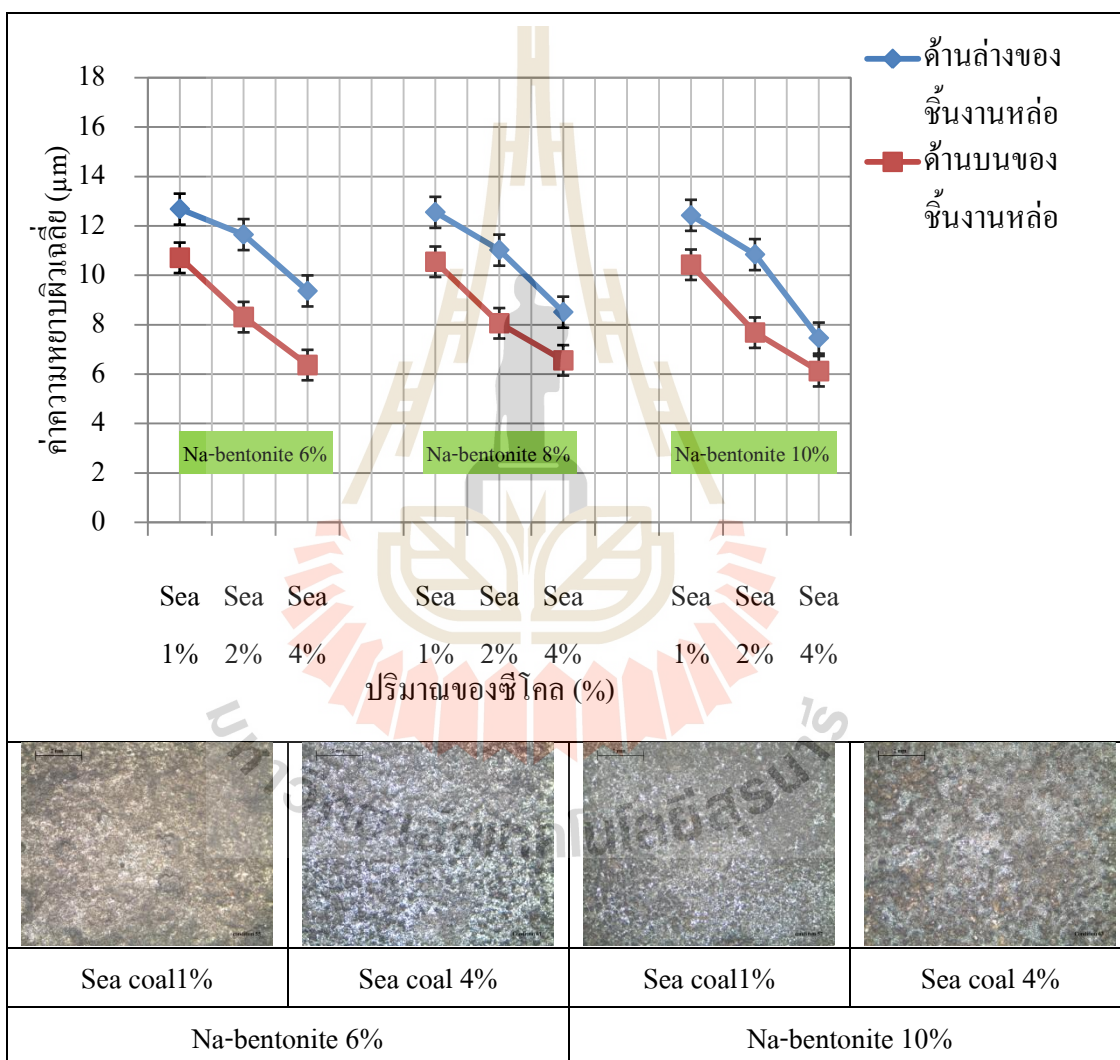
รูปที่ 4.12 ผลของโพลีคาร์บอนในแบบหล่อทรายที่มีต่อความหยาบผิวชิ้นงานหล่อ

จากรูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวของชิ้นงาน โลหะด้านบนและด้านล่าง ซึ่งได้จากการหล่อด้วยทรายแบบที่ผสมโพลีคาร์บอนในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยผิวด้านบนของชิ้นงานมีค่าความหยาบผิวต่ำกว่าผิวด้านล่าง เมื่อโพลีคาร์บอนในทรายหล่อเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้

ค่าความหยาบผิวลดลง ปริมาณของเบนทอไนต์ในทรายแบบหล่อที่แตกต่างกันไม่ส่งผลทำให้เกิดความแตกต่างของความหยาบผิวของชิ้นงานหล่อ ค่าความหยาบผิวต่ำสุดคือ 3.58  $\mu\text{m}$

#### 4.3.4 ผลของซีโคลในทรายแบบหล่อต่อความหยาบผิวของชิ้นงานหล่อ

ความหยาบผิวของชิ้นงานหล่อที่ได้จากการหล่อโดยใช้ทรายที่เติมซีโคลในปริมาณต่างๆ แสดงดังในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ผลของซีโคลในแบบหล่อทรายที่มีต่อความหยาบผิวชิ้นงานหล่อ

จากรูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวของชิ้นงานโลหะด้านบนและด้านล่าง ซึ่งได้จากการหล่อด้วยทรายแบบที่ผสมซีโคลในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยผิวด้านบนของ

ชิ้นงานมีค่าความหยาบผิวต่ำกว่าผิวด้านล่าง เมื่อซีโคลในทรายแบบหล่อมีปริมาณเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าความหยาบผิวลดลง ปริมาณเบนทอไนต์ในทรายแบบหล่อที่ต่างกันไม่ส่งผลทำให้เกิดความแตกต่างของความหยาบผิวของชิ้นงานหล่อค่าความหยาบผิวต่ำสุดคือ  $6.12 \mu\text{m}$

#### 4.4 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อต่อสภาพผิวของชิ้นงานหล่อ สรุปได้ดังนี้

-เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวโพดในทรายแบบหล่อที่มีเบนทอไนต์ 6% และ 10% ค่าความหยาบผิวชิ้นงานมีแนวโน้มลดลงแต่ที่ 8% เบนทอไนต์พบว่าค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งข้าวโพดในทรายแบบเพิ่มจาก 2% เป็น 4%

-ปริมาณเดกซ์ทรีนในทรายแบบหล่อที่มีเบนทอไนต์ในปริมาณต่าง ๆ กัน จะส่งผลที่ไม่แน่นอนต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานหล่อ แต่มีข้อสังเกตว่า เมื่อปริมาณเดกซ์ทรีนเพิ่มจาก 1% เป็น 2% ค่าความหยาบผิวจะลดลง แต่เมื่อเดกซ์ทรีนเพิ่มจาก 2% เป็น 4% ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานจะเพิ่มขึ้นอีก โดยจะเกิดลักษณะนี้ กับทรายแบบหล่อที่มีส่วนผสมของเบนทอไนต์ทุก ๆ ส่วนผสม

-ปริมาณ โพลีคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นในทรายแบบหล่อที่มีเบนทอไนต์เป็นส่วนผสมทุก ๆ ส่วนผสม จะส่งผลทำให้ค่าความหยาบผิวลดลง

-ปริมาณซีโคลที่เพิ่มขึ้นในทรายแบบหล่อ ที่มีเบนทอไนต์เป็นส่วนผสมทุก ๆ ส่วนผสมจะส่งผลทำให้ค่าความหยาบผิวลดลง ผลที่ได้คล้ายกับผลของการเติม โพลีคาร์บอน แต่ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่หล่อด้วยทรายแบบที่เติม โพลีคาร์บอนจะมีค่าต่ำกว่าชิ้นงานที่หล่อด้วยทรายแบบที่เติมซีโคล

## บทที่ 5

### ผลของสารเติมแต่งต่อสถานะแวดล้อม

#### 5.1 บทนำ

อุตสาหกรรมงานหล่อเหล็ก โดยทั่วไปจะใช้ทรายแบบหล่อขึ้นเป็นวัตถุดิบสำหรับการขึ้นแบบ เพราะว่ามีต้นทุนในการผลิตต่ำ และเพื่อให้ทรายแบบหล่อขึ้นมีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการหล่อเหล็ก จึงได้มีการผสมสารเติมแต่งจำพวกแป้งข้าวโพด เดกซ์ทริน ซีโคล และโพลีคาร์บอน เข้าไปในเนื้อของทรายแบบเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของทรายแบบหล่อขึ้น เมื่อเทน้ำโลหะหลอมเหลวลงในแบบหล่อทราย สารเติมแต่งที่อยู่ในทรายแบบหล่อจะได้รับความร้อนและเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยจะปล่อยสารอินทรีย์จำพวกไฮโดรคาร์บอนออกมา ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารระเหยและมีโอกาสที่จะเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์

ด้วยเหตุนี้ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาปริมาณสารเติมแต่งที่เติมลงไปในแบบหล่อทรายขึ้นทั้ง 4 ชนิดว่ามีผลต่อการเกิดสารอินทรีย์ประเภทไฮโดรคาร์บอน (BTEX) ในปริมาณเท่าใด และมีผลอันตรายต่อสุขภาพของพนักงานที่ทำงานในพื้นที่ที่ทำการหล่อเหล็กหรือไม่

#### 5.2 ชนิดของแก๊สที่เกิดจากแบบหล่อทรายในระหว่างการเย็นตัวของเหล็กหล่อ

##### 5.2.1 สารประกอบอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน

สารอินทรีย์ที่โมเลกุลประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเรียกว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่โมเลกุลประกอบด้วยพันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอน-คาร์บอนเพียงอย่างเดียว เรียกว่า ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (saturated hydrocarbon) ส่วนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่โมเลกุลมีพันธะคู่หรือพันธะสามระหว่างคาร์บอน-คาร์บอนรวมอยู่ด้วย เรียกว่า ไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (unsaturated hydrocarbon)



## บทที่ 5

### ผลของสารเติมแต่งต่อสถานะแวดล้อม

#### 5.1 บทนำ

อุตสาหกรรมงานหล่อเหล็กโดยทั่วไปจะใช้ทรายแบบหล่อขึ้นเป็นวัตถุดิบสำหรับการขึ้นแบบ เพราะว่ามีต้นทุนในการผลิตต่ำ และเพื่อให้ทรายแบบหล่อขึ้นมีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการหล่อเหล็ก จึงได้มีการผสมสารเติมแต่งจำพวกแป้งข้าวโพด แคนซัทรีน ซีโคล และโพลีคาร์บอน เข้าไปในเนื้อของทรายแบบเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของทรายแบบหล่อขึ้น เมื่อเทน้ำโลหะหลอมเหลวลงในแบบหล่อทราย สารเติมแต่งที่อยู่ในทรายแบบหล่อจะได้รับความร้อนและเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยจะปล่อยสารอินทรีย์จำพวกไฮโดรคาร์บอนออกมา ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารระเหยและมีโอกาสที่จะเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์

ด้วยเหตุนี้ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาปริมาณสารเติมแต่งที่เติมลงไปในแบบหล่อทรายขึ้นทั้ง 4 ชนิดว่ามีผลต่อการเกิดสารอินทรีย์ประเภทไฮโดรคาร์บอน (BTEX) ในปริมาณเท่าใด และมีผลอันตรายต่อสุขภาพของพนักงานที่ทำงานในพื้นที่ที่ทำการหล่อเหล็กหรือไม่

#### 5.2 ชนิดของแก๊สที่เกิดจากแบบหล่อทรายในระหว่างการเย็นตัวของเหล็กหล่อ

##### 5.2.1 สารประกอบอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน

สารอินทรีย์ที่โมเลกุลประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเรียกว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่โมเลกุลประกอบด้วยพันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอน-คาร์บอนเพียงอย่างเดียว เรียกว่า ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (saturated hydrocarbon) ส่วนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่โมเลกุลมีพันธะคู่หรือพันธะสามระหว่างคาร์บอน-คาร์บอนรวมอยู่ด้วย เรียกว่า ไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (unsaturated hydrocarbon)

โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อะตอมของคาร์บอนต่อกันเป็นสายยาวหรือต่อกันเป็นโซ่ตรง (straight chain) หรือต่อกันเป็นสายยาวที่มีกิ่งสาขาแยกออกจากโซ่ตรง (branch chain) โดยไม่มีวงของคาร์บอนในโมเลกุลนั้นเลยเรียกว่า อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (aliphatic hydrocarbon) หรือแบบโซ่เปิด โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อะตอมของคาร์บอนต่อกันเป็นวงและอาจจะมีกิ่งแยกออกจากวงของคาร์บอนเรียกโมเลกุลประเภทนี้ว่า ไฮโดรคาร์บอนแบบโซ่ปิด หรือ อะลิไซคลิกไฮโดรคาร์บอน (alicyclic hydrocarbon) และโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวนของเบนซีนเป็นโครงสร้างหลักเรียกว่า อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbon)

### 5.2.2 สารอินทรีย์ระเหย

เรียกทับศัพท์ด้วยภาษาอังกฤษว่า วิโอซี (VOCs : Volatile Organic Compounds) คือกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ (organic compounds) ที่มีความดันไอมากกว่า 1 มิลลิเมตรปรอทสามารถระเหยเป็นไอกระจายตัวไปในอากาศได้ง่ายที่อุณหภูมิและความดันปกติ ไอเหล่านี้สามารถจะเปลี่ยนรูปกลับเป็นของเหลวหรือของแข็งตามสภาวะเดิมได้ โดยการเพิ่มอุณหภูมิหรือลดความดัน โมเลกุลส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจน อาจมี ออกซิเจน หรือธาตุฮาโลเจน เช่น คลอรีน โบรมีน รวมอยู่ด้วย

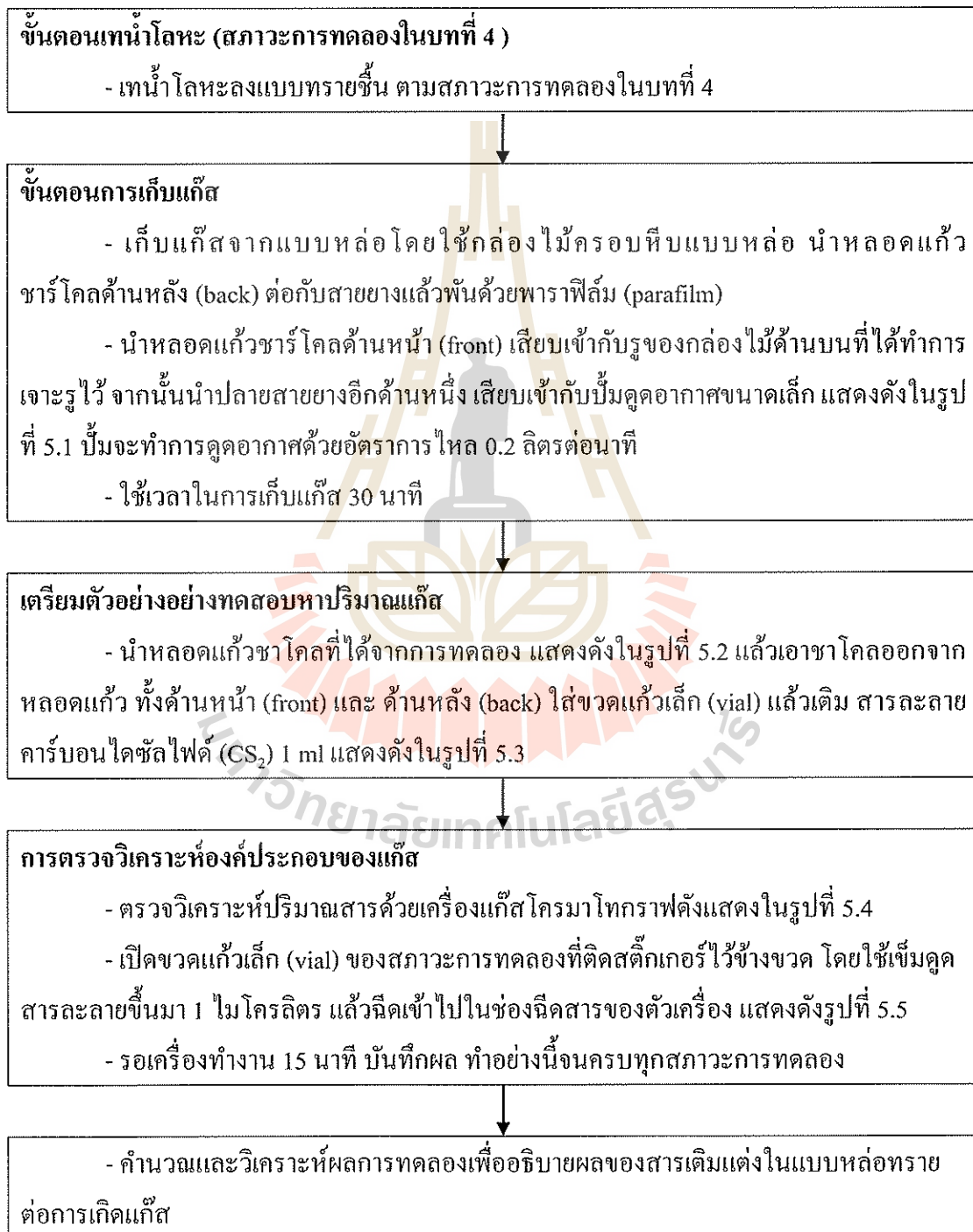
#### แหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ

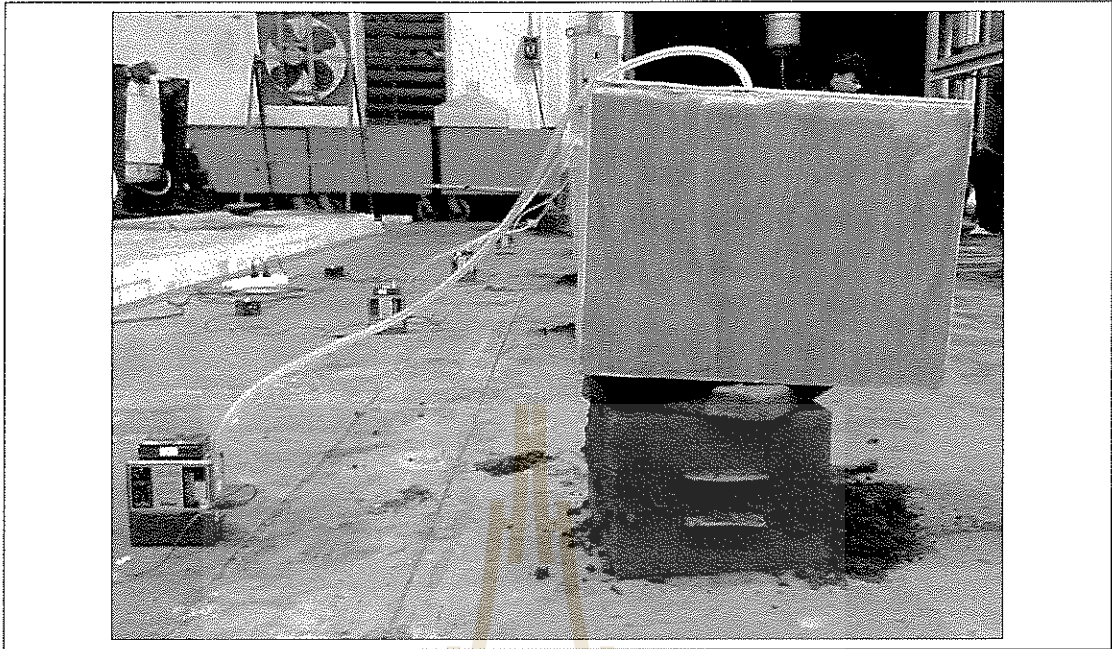
สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่แพร่กระจายอยู่ในบรรยากาศมีที่มาจากหลาย ๆ แหล่ง โดยทั่วไปแล้วแหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ระเหยมี 2 แหล่งใหญ่ คือ สารอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น ไฟไหม้ป่า แก๊สจากการนำเสียของอินทรีย์วัตถุ รวมทั้งจากการขับถ่ายและการหายใจของมนุษย์ เกิดจากภูเขาไฟระเบิด หรือ เกิดจากพืชบางชนิดที่ผลิตสารอินทรีย์ระเหยสู่บรรยากาศ เป็นต้น แต่สารอินทรีย์ระเหยที่เกิดจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เป็นแหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ระเหยที่สำคัญและเป็นต้นเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อมที่นับวันจะมีความรุนแรงมากขึ้น จำต้องมีการศึกษาหามาตรการแก้ไขที่เหมาะสม

กิจกรรมของมนุษย์ที่ก่อให้เกิดมลพิษประเภทนี้มีมากมาย ตั้งแต่การผลิตใหญ่ ๆ เช่น อุตสาหกรรมหล่อโลหะที่ใช้เครื่องจักร เครื่องยนต์น้ำมันเชื้อเพลิงต่าง ๆ และอุตสาหกรรมที่ผลิตหรือใช้สารอินทรีย์ระเหย นอกจากนั้นยังมาจากกิจกรรมในชีวิตประจำวัน ได้แก่การเดินทาง ภาระเหยจากการเติมน้ำมันเชื้อเพลิง การคมนาคมขนส่ง การใช้เชื้อเพลิงหุงต้ม การเผาไหม้กองขยะ และการใช้สารเคมีในครัวเรือน เช่น น้ำยาซักแห้งหรือน้ำยาทำความสะอาดบางชนิด

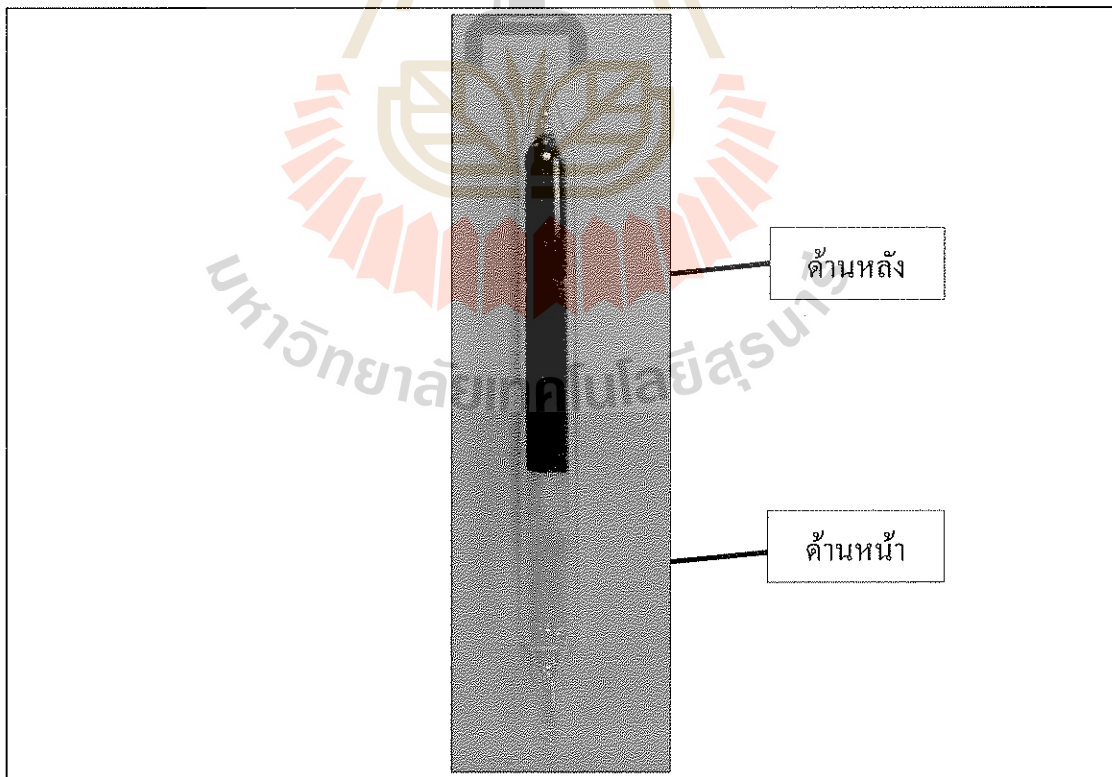
### 5.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในส่วนนี้ได้ดำเนินการทดลองต่อเนื่องจากการเหน้าโลหะจากบทที่ 4 โดยการเก็บแก๊สที่ได้จากการทดลองตามเงื่อนไขต่าง ๆ เพื่อนำไปตรวจสอบสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้น การดำเนินการวิจัยมีขั้นตอนดังนี้





รูปที่ 5.1 การต่อฟวงชุดอุปกรณ์เก็บแก๊สเข้ากับปั๊มดูดอากาศขนาดเล็ก



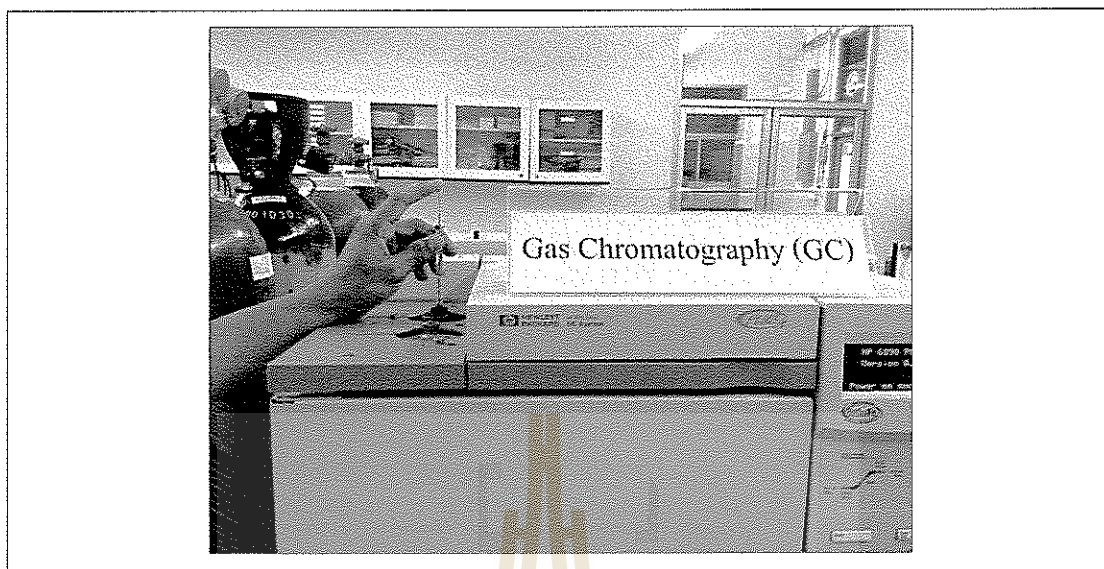
รูปที่ 5.2 หลอดแก้วชาโคลที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 5.3 การเติมสารละลายคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อทำให้สารอะโรมาติกอยู่ในรูปสารละลาย



รูปที่ 5.4 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารอินทรีย์



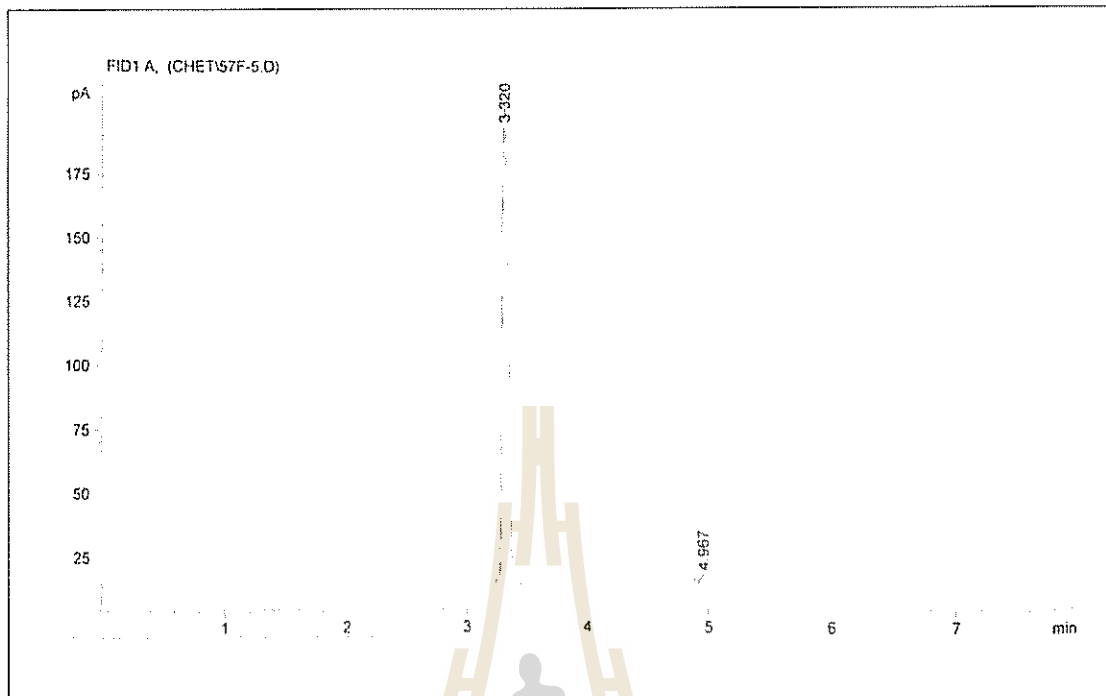
รูปที่ 5.5 การฉีดสารละลายเข้าไปในช่องฉีดสารของตัวเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

#### 5.4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ผลการทดสอบสารประกอบไฮโดรคาร์บอน 4 ชนิด (BTEX) ในการทดลองนี้มีสารเพียงชนิดเดียวที่พบในทุกสภาวะที่มีการเติมสารเติมแต่งในทรายแบบ คือ แก๊สเบนซีน (benzene) โดยพบในสารเติมแต่งของโพลีคาร์บอนกับซีโคล โดยที่ไม่พบในแป้งข้าวโพดและเดกซ์ทรีน

ผลจากการวิเคราะห์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแสดงดังในรูปที่ 5.6 จากรูปแกนนอนคือเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ เวลาเป็นนาที (min) แกนตั้งคือ ค่าพิโคแอมป์ (pA) ของกระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จากการเผาไหม้ของสารระเหยอินทรีย์ ซึ่งก่อนที่ทำการตรวจวัดต้องนำตัวอย่างมาตรฐานของสารอินทรีย์แต่ละชนิดมาทำการสอบเทียบก่อน จากนั้นนำผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.7 ไปใส่สูตรคำนวณหาเข้มข้นของแก๊สที่เป็นสารระเหยอินทรีย์

จากรูปที่ 5.6 พบว่าที่เวลา 4.967 นาที จะปรากฏสเปกตรัมของเบนซีนขึ้น เมื่อนำพื้นที่ใต้กราฟที่เวลาดังกล่าวไปคำนวณ โดยใช้ซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้องจะให้ความเข้มข้นของเบนซีน 39.18890 ppm ดังแสดงในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.6 ผลของโครมาโทแกรมจากการวัดแก๊สซึ่งอยู่ในตัวอย่างส่วนหน้า

External Standard Report

---

Sorted By : Signal  
 Calib. Data Modified : Thursday, March 26, 2015 3:36:43 PM  
 Multiplier : 1.0000  
 Dilution : 1.0000

Signal 1: FID1 A,

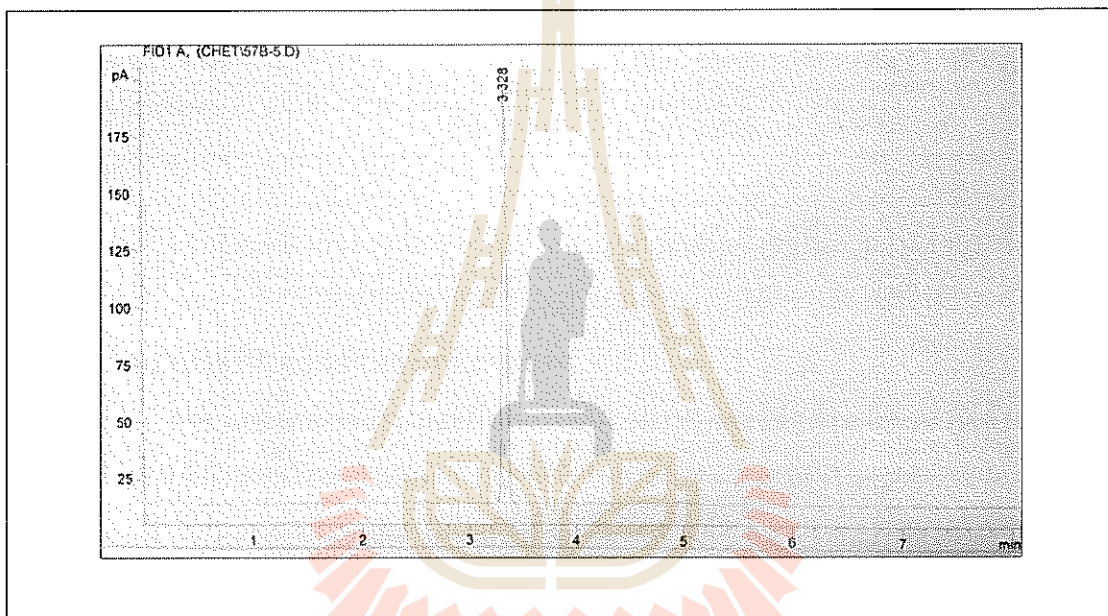
RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [ppm]	Grp	Name
4.967	PB	12.04354	3.25394	39.18890		Benzene
Totals :				39.18890		

Results obtained with enhanced integrator!

รูปที่ 5.7 ตัวอย่างผลของแก๊สเบนซินที่ได้จากการวัดแก๊สซึ่งอยู่ในตัวอย่างส่วนหน้า

ตัวอย่างผลวิเคราะห์แก๊สที่อยู่ในหลอดแก้วส่วนหลังจะแสดงดังในรูปที่ 5.8 โดยจะพบว่าไม่มีสเปกตรัมของแก๊สเบนซินขึ้นขึ้น แสดงว่าไม่มีแก๊สเบนซินเกิดขึ้น ทำให้การคำนวณหาปริมาณเบนซินมีค่าเป็น 0 โดยผลการคำนวณแสดงดังในรูปที่ 5.9 ผลคำนวณที่ได้จากรูปที่ 5.7 และ 5.9 จะนำไปวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นของเบนซินในพื้นที่ที่ทำการหล่อต่อไป

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของเบนซินที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่ทำการหล่อจริงสามารถทำได้โดยใช้สูตรคำนวณดังแสดงในสมการที่ (5-1) การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแก๊สจะใช้วิธีการเดียวกันกับทุก ๆ สภาวะการทดลอง



รูปที่ 5.8 ผลของโครมาโทแกรมจากวัดแก๊สซึ่งอยู่ในตัวอย่างส่วนหลัง



External Standard Report						
=====						
Sorted By	:	Signal				
Calib. Data Modified	:	Thursday, March 26, 2015 3:36:43 PM				
Multiplier	:	1.0000				
Dilution	:	1.0000				
Signal 1: FID1 A,						
RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [ppm]	Grp	Name
4.889	-	-	-	-	-	Benzene
Totals :				0.00000		
Results obtained with enhanced integrator!						
1 Warnings or Errors :						
Warning : Calibrated compound(s) not found						

รูปที่ 5.9 ตัวอย่างผลของแก๊สเบนซีนที่ได้จากการวัดแก๊สซึ่งอยู่ในตัวอย่างส่วนหลัง

#### 5.4.1 การคำนวณหาความเข้มข้นของแก๊ส

การวิเคราะห์หาปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นสามารถใช้สูตรการคำนวณดังแสดงในสมการที่ (5-1) ที่กำหนดโดยสถาบันความปลอดภัยในอาชีพและสุขภาพ (The National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH, ประเทศสหรัฐอเมริกา, HYDROCARBON, AROMATIC, 2003)

$$C = \frac{(W_f + W_b - B_f - B_b)}{V}, \text{ mg/m}^3 \quad (5-1)$$

โดยที่

$W_f$  = ปริมาณของสารที่ได้จากกราฟของการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างในส่วนหน้า

$W_b$  = ปริมาณของสารที่ได้จากกราฟของการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างในส่วนหลัง

$B_f$  = ปริมาณของสารที่ได้จากกราฟของการวิเคราะห์ตัวอย่างเปล่าในส่วนหน้า

$B_b$  = ปริมาณของสารที่ได้จากกราฟของการวิเคราะห์ตัวอย่างเปล่าในส่วนหลัง

$C$  = ความเข้มข้น

$V$  = ปริมาตรอากาศที่เก็บได้ (0.2 ลิตรต่อนาที)

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณเบนซินในเงื่อนไซท์ 32 ดังแสดงในตารางที่ 4.2 (ซีโคล 2% โขเดียมเบนทอไนต์ 8%)

หาค่า  $W_f$  จากรูปที่ 5.7 เบนซินค่าความเข้มข้น 39.1889 ppm

1000 ppm มีเบนซิน 39.1889 mg

1 ml มีเบนซิน 39.1889 mg  $\times$  1 ppm

1 ml มีเบนซิน  $= \frac{46.985 \times 1}{1000} = 0.046895$  mg

ค่า  $W_b$ ,  $B_f$  และ  $B_b$  มีค่าเท่ากับ 0

หา  $V$  (ปริมาตรอากาศที่เก็บได้)  $Q = 0.200$  ลิตรต่อนาที,  $t = 30$  นาที

1 นาที ใช้ปริมาตรอากาศ = 0.200 ลิตร

30 นาที ใช้ปริมาตรอากาศ  $= \frac{0.2 \text{ ลิตรต่อนาที} \times 30 \text{ นาที}}{1 \text{ นาที}} = 6$  ลิตร

จากสูตร  $C = \frac{(W_f + W_b - B_f - B_b)}{1000}$ , mg/m<sup>3</sup>

$C = \frac{(0.046895 + 0 - 0 - 0)}{6 \text{ ลิตร}}$

$C = \frac{0.046895 \text{ มิลลิกรัม} \times 1000 \text{ ลิตร}}{6 \text{ ลิตร} \quad 1 \text{ ลูกบาศก์เมตร}}$

$C = 7.8158$  มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

จากสูตร ppm =  $\frac{\text{มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร} \times 22.45}{\text{มวล โมเลกุล}}$

$\text{ppm} = \frac{7.8158 \times 22.45}{78.11} = 2.416$  ppm

ดังนั้น ในกรณีนี้คือความเข้มข้นของเบนซินที่เกิดขึ้นจากการใช้ซีโคลในปริมาณ 1% เป็นสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อขึ้นที่มี โขเดียมเบนทอไนต์ 8% จะมีเบนซินเกิดขึ้น 2.416 ppm ผลคำนวณความเข้มข้นของเบนซินในสภาวะการทดลองอื่น ๆ แสดงในตารางที่ 5.1

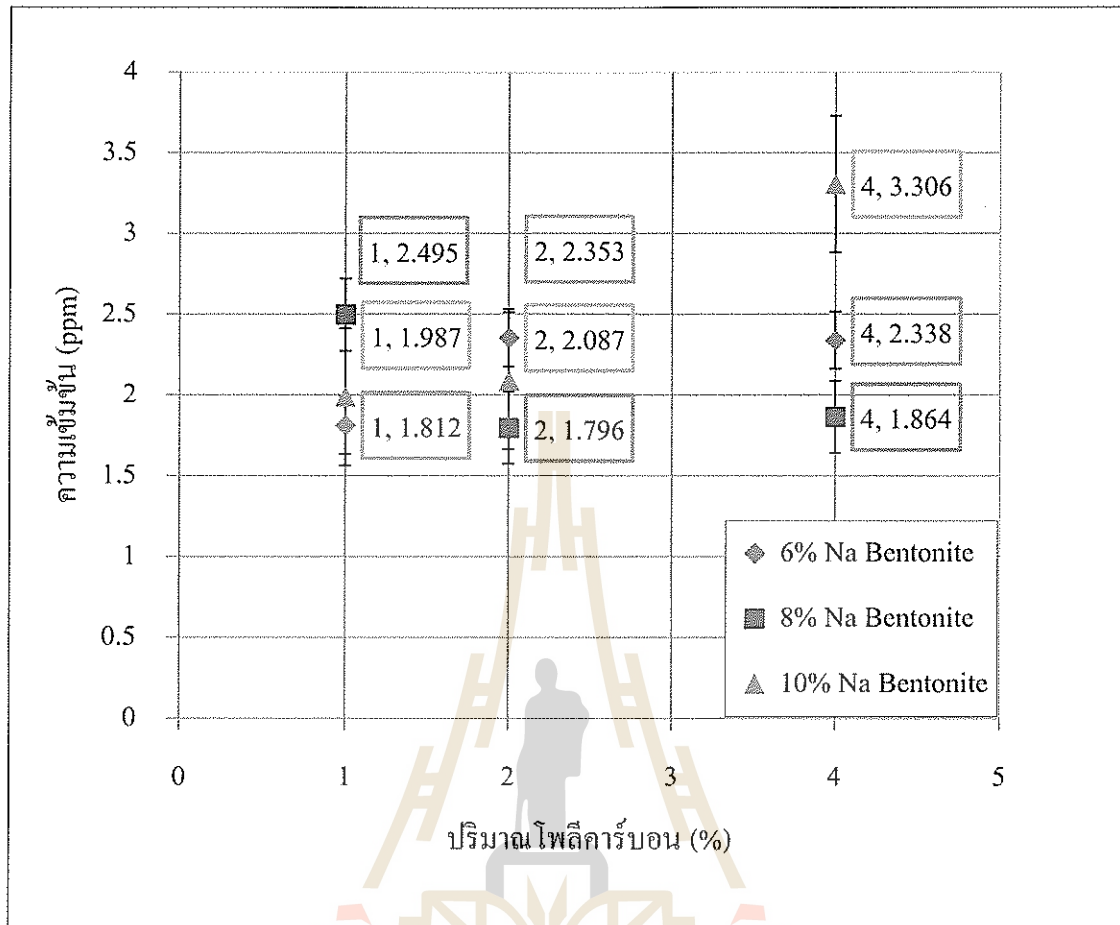
ตารางที่ 5.1 ผลการคำนวณหาความเข้มข้นของแก๊สอินทรีย์จากการหล่อเหล็กโดยใช้ทรายแบบหล่อที่เติมสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ

เงื่อนไข	สารเติมแต่ง			
	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน
19	1.812	-	-	-
20	2.495	-	-	-
21	1.987	-	-	-
22	2.353	-	-	-
23	1.796	-	-	-
24	2.087	-	-	-
25	2.338	-	-	-
26	1.864	-	-	-
27	3.306	-	-	-
28	-	-	-	-
29	1.865	-	-	-
30	2.019	-	-	-
31	-	-	-	-
32	2.416	-	-	-
33	1.865	-	-	-
34	-	-	-	-
35	1.873	-	-	-
36	1.853	-	-	-

หมายเหตุ : เงื่อนไขที่ 1-18 ตรวจสอบไม่พบสารระเหยอินทรีย์

#### 5.4.2 ผลของโพลีคาร์บอนในทรายแบบหล่อต่อการเกิดแก๊สเบนซีน

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีและจากการคำนวณหาความเข้มข้นของแก๊สเบนซีนที่เกิดขึ้นจากการเติมสารเติมแต่งชนิดโพลีคาร์บอนต่อการเกิดแก๊สเบนซีนแสดงดังในรูป 5.10



รูปที่ 5.10 ผลของโพลีคาร์บอนในทรายแบบหล่อต่อความเข้มข้นของแก๊สเบนซีนที่เกิดขึ้น

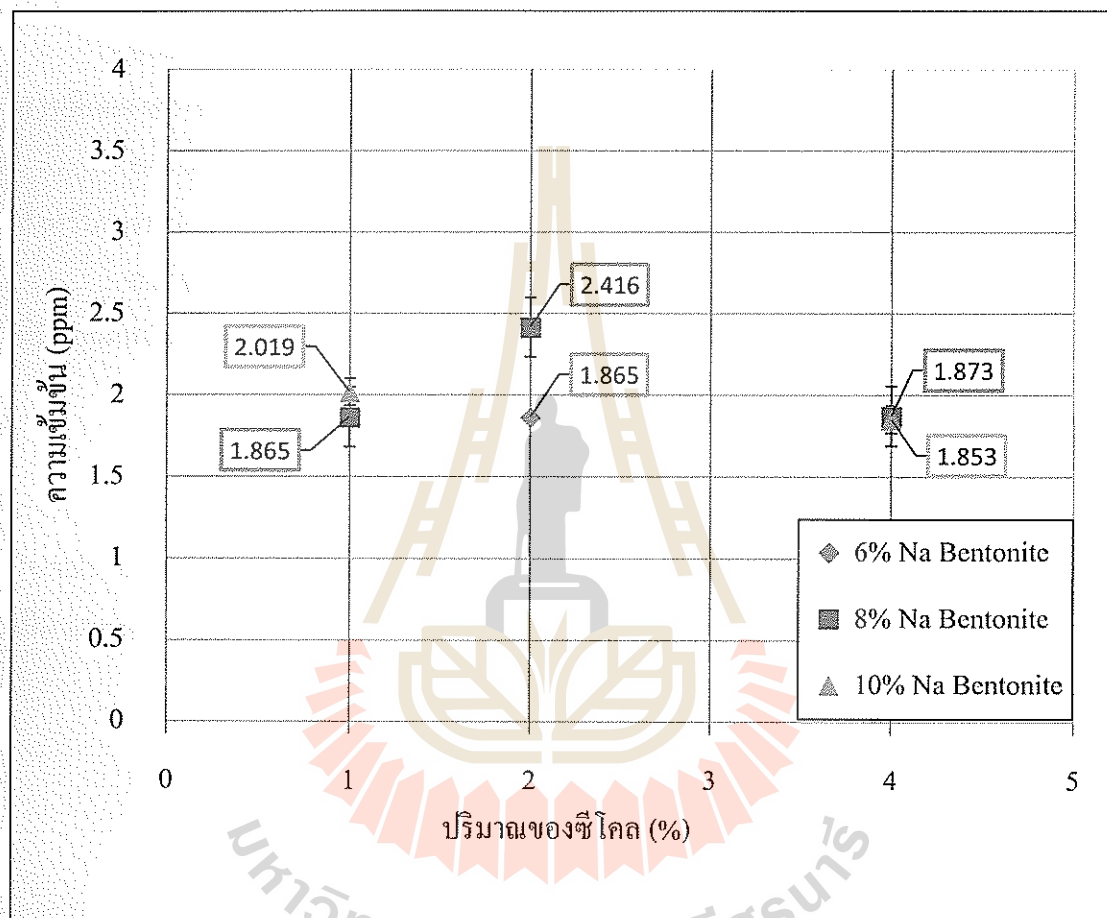
จากรูปที่ 5.10 พิจารณาที่ 6% โซเดียมเบนทอไนต์ พบว่าความเข้มข้นของแก๊สเบนซีนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ 1%, 2% และ 4% โพลีคาร์บอน มีความเข้มข้นของแก๊สเบนซีนในปริมาณ 1.812, 2.353 และ 2.338 ppm ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.10 พิจารณาที่ 8% โซเดียมเบนทอไนต์ พบว่าที่ 1% โพลีคาร์บอน มีความเข้มข้นของแก๊สเบนซีนในปริมาณ 2.495 ppm ซึ่งมีค่ามากกว่า ที่ 2% และ 4% โพลีคาร์บอน ที่มีความเข้มข้นของแก๊สเบนซีนในปริมาณ 1.796 และ 1.864 ppm ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.10 พิจารณาที่ 10% โซเดียมเบนทอไนต์ พบว่าความเข้มข้นของแก๊สเบนซีนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ 1%, 2% และ 4% โพลีคาร์บอน มีความเข้มข้นของแก๊สเบนซีนในปริมาณ 1.987, 2.087 และ 3.306 ppm ตามลำดับ

### 5.4.3 ผลของซีโคลในทรายแบบหล่อต่อการเกิดแก๊สเบนซีน

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีและจากการคำนวณหาความเข้มข้นของแก๊สเบนซีนที่เกิดขึ้นจากการเติมสารเติมแต่งชนิดซีโคลต่อการเกิดแก๊สเบนซีนแสดงดังในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 ผลของซีโคลในทรายแบบหล่อต่อความเข้มข้นของแก๊สเบนซีนที่เกิดขึ้น

จากรูปที่ 5.11 พิจารณาที่ 6% โซเดียมเบนทอนไนต์ พบว่าที่ 2% ซีโคลมีความเข้มข้นของแก๊สเบนซีนในปริมาณ 1.865 ppm

จากรูปที่ 5.11 พิจารณาที่ 8% โซเดียมเบนทอนไนต์ พบว่าความเข้มข้นของแก๊สเบนซีนที่ 2% มีค่าสูงสุดคือ 2.416 ppm โดยที่ 1% และ 4% ซีโคลมีความเข้มข้นของแก๊สเบนซีนใกล้เคียงกันในปริมาณ 1.865 และ 1.873 ppm ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.11 พิจารณาที่ 10% โซเดียมเบนทอไนต์ พบว่าที่ 1% ซีโคล มีความเข้มข้นของแก๊สเบนซีนในปริมาณ 2.019 ppm ซึ่งมีความมากกว่า ที่ 4% ซีโคล ที่มีความเข้มข้นของแก๊สเบนซีนในปริมาณ 1.853 ppm

## 5.5 สรุปผลการทดลอง

- ผลจากการวัดแก๊สที่เกิดขึ้นในระหว่างการหล่อเหล็กโดยใช้ทรายแบบที่มีส่วนผสมของสารเติมแต่งต่างชนิด ในปริมาณต่าง ๆ สรุปได้ดังนี้

- การเติมแป้งข้าวโพดและเดกซ์ทรีนในปริมาณที่ทำให้ทรายแบบมีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการทำแบบหล่อทรายจะไม่ทำให้เกิดสารไฮโดรคาร์บอนประเภท BTEX

- สาร BTEX ที่ตรวจพบมีเพียงชนิดเดียวคือ เบนซีน โดยเกิดขึ้นกับการหล่อเหล็กที่ใช้ทรายที่มีส่วนผสมของโพลีคาร์บอนกับซีโคล

- โพลีคาร์บอนจะส่งผลให้เกิด BTEX ชนิดเบนซีนมากกว่าซีโคล

- ปริมาณความเข้มข้นของเบนซีนที่เกิดขึ้นในทุก ๆ สภาพการทดลองจะไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ที่ทำงานในพื้นที่การหล่อ โดยที่ค่าสูงสุดของเบนซีนที่วัดได้คือ 3.306 ppm ในขณะที่ค่าความเข้มข้นที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์คือ 10 ppm ในสภาพปกติ แต่สามารถมีได้ไม่เกิน 25 ppm

## บทที่ 6

### บทสรุป

#### 6.1 ผลของสารเติมแต่งต่อสมบัติของทรายแบบหล่อ

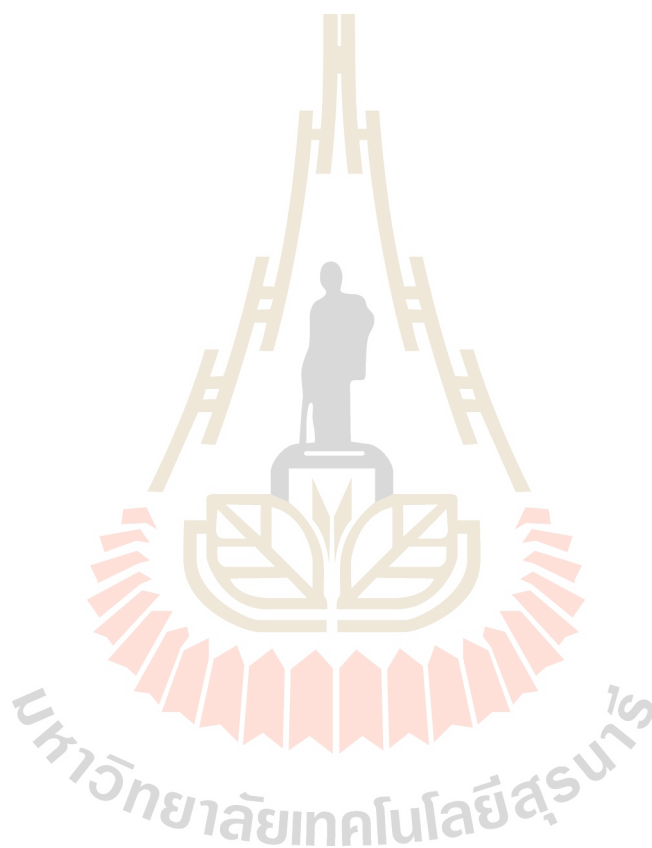
สารเติมแต่งแต่ละชนิดให้คุณสมบัติที่แตกต่างกันและสามารถจัดเป็นกลุ่มได้ว่าจะให้ผลดีด้านไหนกับทรายแบบหล่อซึ่งสารเติมแต่งที่ได้นำมาทดสอบนั้นมีทั้งหมด 4 ชนิด ซึ่งได้แก่ 1. แป้งข้าวโพด (corn starch) 2. เดกซ์ทริน (dextrin) 3. โพลีคาร์บอน (polycarbon) และ 4. ซีโคล (sea coal) พบว่าแป้งข้าวโพดและเดกซ์ทรินให้สมบัติความแข็งแรงขณะร้อนได้ดีจากการทดสอบความแข็งแรงอัดของทรายแห้งซึ่งมีค่าความแข็งแรงสูง แต่ในความแข็งแรงของทรายขึ้นนั้นพบว่าโพลีคาร์บอนและซีโคลให้ค่าความแข็งแรงได้สูงกว่า จากการทดสอบความแข็งแรงอัดของทรายขึ้น ส่วนสมบัติของความโปร่งอากาศแป้งข้าวโพดและเดกซ์ทรินมีค่ามากกว่าโพลีคาร์บอนและซีโคล ทั้ง ความโปร่งอากาศของทรายขึ้นและความโปร่งอากาศของทรายแห้ง

#### 6.2 ผลของสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อขึ้นต่อสภาพผิวของชิ้นงานหล่อ

เมื่อเทน้ำโลหะลงแบบหล่อทรายจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากน้ำโลหะไปยังผิวหน้าของแบบหล่อทราย และมีผลทำให้เกิดแก๊สประเภทไฮโดรคาร์บอนขึ้น แก๊สที่เกิดขึ้นจะซึมผ่านทรายไปสู่บรรยากาศภายนอกแบบหล่อทราย แก๊สบางส่วนไม่สามารถซึมผ่านไปได้โดยจะเกาะและกลายเป็นฟิล์มบางอยู่ตามผิวหน้าระหว่างทรายแบบกับชิ้นงานหล่อที่แข็งตัว ฟิล์มที่เกิดขึ้นจะมีมากขึ้นถ้าในทรายแบบหล่อมีสารเติมแต่งที่สามารถทำให้เกิดฟิล์มบางมากขึ้นซึ่งจะมีผลทำให้ผิวของชิ้นงานหล่อมีความหยาบน้อยลง จากการทดลองพบว่า เมื่อเติมสารเติมแต่งประเภทโพลีคาร์บอนและซีโคลในทรายแบบหล่อขึ้นจะมีผลทำให้ผิวชิ้นงานหล่อมีความหยาบต่ำ ส่วนแป้งข้าวโพดมีผลทำให้ความหยาบผิวมากและเดกซ์ทรินทำให้ชิ้นงานหล่อมีความหยาบผิวมากที่สุด ซึ่งในการทดลองสารที่ให้ค่าความหยาบผิวต่ำ คือ โพลีคาร์บอนและซีโคล ค่าของความหยาบผิวของสารเติมแต่งแต่ละชนิดมีค่าดังนี้ แป้งข้าวโพดค่าความหยาบผิว 8.24 – 14.475 $\mu\text{m}$  เดกซ์ทรินค่าความหยาบผิว 9.20 – 16.48  $\mu\text{m}$  ซีโคลค่าความหยาบผิว 6.12 – 13.3 $\mu\text{m}$  และโพลีคาร์บอนค่าความหยาบผิว 3.58 – 11.01 $\mu\text{m}$

### 6.3 ผลของสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อต่อสถานะแวดล้อม

การผสมแป้งข้าวโพดและเดกซ์ทรินในทรายแบบหล่อขึ้นจะไม่ทำให้เกิดแก๊สพิษ ไฮโดรคาร์บอน ประเภท BTEX แต่พบว่าการเติมโพลีคาร์บอนและซีโกลจะทำให้เกิดสาร BTEX ประเภทเบนซินเพียงชนิดเดียวแต่่าภายใต้สภาวะการเติมสารเติมแต่งเพื่อให้ทรายมีสมบัติที่สามารถปั้นเป็นแบบหล่อทรายในงานหล่อเหล็กเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีสภาพผิวที่ดี จะไม่ส่งผลทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ที่ปฏิบัติงานในพื้นที่ทำการหล่อเหล็ก



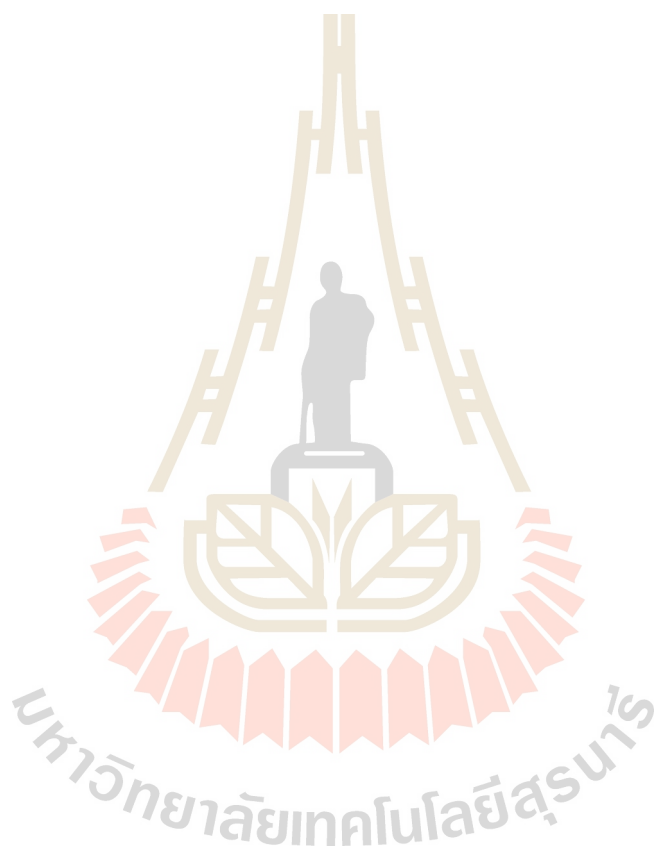


## รายการอ้างอิง

- ศ.มนัส สติรจินดา.(2538). *วิศวกรรมงานหล่อเหล็ก. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*
- หริส สุตะบุตรและเคนยิ จียิวา.(2540). *หล่อโลหะ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: บริษัทสำนักพิมพ์ดวงกมล จำกัด*
- เทพนารินทร์ ประพันธ์พัฒน์และวุฒิกโร บวรณัเจริญ (2538).หล่อโลหะเบื้องต้น . พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัทสกายบุ๊กส์ จำกัด
- Draper, A. (1976).Lustrous Carbon in Moulding Sand. Transactions AFS. **AFS Progress Report.** 84: 749
- Jelinek, P., Beno, J. (2008). Morphological forms of carbon and their utilizations at formation of iron casting surfaces.**Archives of Foundry Engineering.** 8: 67-70
- Beno,J.,Jelinek, P. (2009).Solution of negative impact of carbonaceous additives to bentonite mixtures. **Internaternal PHD Foundry Conference.**
- Chowdhary,D.(2008).Green Sand Management – Role & Application of Carbonaceous Additives and Concept of total Carbon in a Green Sand System.**World Foundry Congress.** 127-132
- Baier, D., Schmidt, F. (2004) Namorit – nowyrodzajbentonitu do klasycznychmasformierskich, **PrzegldOdlewnictwa.** 6: 497-505.
- RAO, P.N.(2001).Manufacturing Technology Foundry, Forming and Welding, Second Edition.**McGraw-Hill** Offices.
- Sanders, C.A. (2010) Foundry Additives. American Colloid Company.1-18
- Kolorz, A., Lomberg, K.(1963).Giesserei techn.**Wiss.Beihefte.** 15, 4:191–209
- Bindernagel, I.(1974).Giesserei.**Wiss.Beihefte.** 61, 8: 190 – 197 1984, 1190.
- Alexander Brown. (2011). Graded coal-its role in iron casting production from greensand system. **Overseas Foundry.** James Durrans& Sons Ltd. Phoenix Work. Penistone. Sheffield. 8, 2: 235-238
- Robert, S., Jame, B. (2007). Pyrolysis of carbonaceous foundry sand additives: Seacoal and gilsonite. **USDA-ARS. Beltsville.** 460: 60-66

Fred, S., Cannon. (2006). Adapting Anthracite Coal and Stockpiled Anthracite Fines to Green Sand Iron Foundries. Pennsylvania State University. 9-12

NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM). (2003) HYDROCARBONS, AROMATIC: METHOD1501 Retrieved from <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs//1501.pdf>



## ประวัติผู้เขียน

นายวิเชษฐ์ เฟือกแดง เกิดเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2528 ภูมิลำเนาเดิมอยู่ที่อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาในปี พ.ศ. 2545 จากโรงเรียนวัดคอนตูม อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี จากนั้นสอบ เข้าได้เรียนที่สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยได้เข้าศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ จนกระทั่งสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในปี พ.ศ. 2550 หลังจากสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี ได้ทำงานภาคเอกชนเป็นเวลา 5 เดือน จากนั้นได้มาทำงาน เป็นผู้ช่วยสอนและวิจัย สาขาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี เป็นเวลา 3 ปี (2551-2554) และ ได้รับทุนการศึกษาแก่นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ที่คณาจารย์ได้รับทุนวิจัยจากแหล่งทุนภายนอกจากกองทุนสนับสนุนการวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี