

การแยกเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ

นางสาวอารีรัตน์ ศุภศิริสมบัติ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Separation of bentonite from foundry sand dust

Miss Areerat Supasirisombat



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแยกเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ
โดย	นางสาวอารีรัตน์ ศุภศิริสมบัติ
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พีเชพร เขาวกิจเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธิ์ เพียรมนกุล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตระการ ประภัสพงษา)

อารีรัตน์ ศุภศิริสมบัติ : การแยกเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ (Separation of bentonite from foundry sand dust) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. พิชญ์ รัชฎา วงศ์, 203 หน้า.

กระบวนการผลิตแบบหล่อทรายในโรงงานผลิตลูกเหล็กจะทำให้เกิดของเสียฝุ่นทรายขึ้น เรียกว่า ฝุ่นทรายแบบหล่อ ทั้งนี้โรงงานต้องเสียค่าใช้จ่ายในการนำฝุ่นทรายแบบหล่อไปกำจัดที่หลุมฝังกลบ แต่พบว่าของเสียฝุ่นทรายแบบหล่อมียเบนโทไนด์ที่สามารถใช้งานได้และนำกลับมาเป็นวัตถุดิบหลักใหม่สำหรับการผลิตแบบหล่อทรายตกค้างอยู่ถึงร้อยละ 11 – 19 โดยน้ำหนัก งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการแยกเบนโทไนด์ออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อ เพื่อลดต้นทุนค่าเบนโทไนด์และลดค่าใช้จ่ายเพื่อการกำจัดฝุ่นทรายแบบหล่อ ตัวอย่างฝุ่นทรายแบบหล่อที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่าง A และตัวอย่าง B ทั้งนี้ขั้นตอนในการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการแยกเบนโทไนด์ที่ใช้งานได้ออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อ มีดังนี้ การทดลองที่ 1 การร่อนแยกส่วนที่ไม่ต้องการออกไปก่อน การทดลองที่ 2 การให้ความร้อนเพื่อระเหยน้ำที่ผิวสัมผัสของเบนโทไนด์ การทดลองที่ 3 การขัดสีร่วมความร้อนเพื่อเพิ่มการหลุดแยกของเบนโทไนด์ การทดลองที่ 4 การเปลี่ยนขนาดตะแกรง เพื่อให้เบนโทไนด์ร่วงผ่านตะแกรงลงมาได้ดีขึ้น จากความบริสุทธิ์ของเบนโทไนด์เริ่มต้นที่ร้อยละ 13.8 และ 16.9 สำหรับตัวอย่าง A และตัวอย่าง B พบว่าการให้ความร้อนได้ผลที่ดีที่สุดสำหรับตัวอย่าง A และตัวอย่าง B คือ ที่สภาวะอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 90 นาที และที่สภาวะอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 30 นาที ตามลำดับ ส่วนการขัดสีร่วมกับความร้อนได้ผลที่ดีที่สุดสำหรับตัวอย่าง A และตัวอย่าง B คือ ที่สภาวะความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการขัดสี 5 นาที และที่สภาวะความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการขัดสี 5 นาที ตามลำดับ และส่วนการเปลี่ยนขนาดตะแกรงได้ผลที่ดีที่สุดสำหรับตัวอย่าง A และตัวอย่าง B คือ ที่สภาวะขนาดตะแกรง 500 เมช คิดเป็นร้อยละการนำเบนโทไนด์ที่ใช้งานได้กลับคืนมาของตัวอย่าง A และ B คือ 92.10 และ 89.44 ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอต่อการนำคืนกลับมาใช้งานใหม่ได้ในโรงงาน และประหยัดค่าใช้จ่ายกำจัดฝุ่นทรายแบบหลอรวมถึงลดต้นทุนค่าเบนโทไนด์ได้

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2559

5670495421 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: FOUNDRY SAND DUST, BENTONITE, RECLAIM, SEPARATION

AREERAT SUPASIRISOMBAT: Separation of bentonite from foundry sand dust.

ADVISOR: ASST. PROF. PICHAYA RACHDAWONG, Ph.D., 203 pp.

Production of foundry sand molds in a steel ball factory can generate small particulates called foundry sand dust, that need to be disposed of in landfills. However, foundry sand dusts contained active bentonite around 11-19%, which can be led to waste reuse in sand molding operation. This study focuses on the separation of bentonite from foundry sand dust. Such recovery could result in cost saving of raw material and for landfilling. Two samples were used in this study; sample A and sample B. The experiment of steps were divided into four steps. The first step was sieving of non active bentonite. The second step was application of heat to evaporate free water at the dust-bentonite interface. The third was attrition with heat for additional removal of bentonite. The later was to screen size changes, to removal only active bentonite. The percentage purity of active bentonite start at 13.8 and 16.9 for sample A and sample B, respectively. For the second step experiment, the optimal condition of sample A and sample B were found at 120 °C and 90 minute and at 120 °C and 30 minute, respectively. The optimal conditions for heat and attrition of sample A and sample B were found at 2500 rpm and 5 minute and at 500 rpm and 5 minute, respectively. The optimal screen size for sample A and sample B was at the 500 mesh of sieve. The percentage recovery of active bentonite from sample A and sample B were 92.10 %, 89.44 %, respectively. The amount was adequate for reuse in foundry operation. Such recovery could result in raw material cost saving and landfilling fee.

Department: Environmental
Engineering

Student's Signature

Advisor's Signature

Field of Study: Environmental
Engineering

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ที่มีส่วนให้ความอนุเคราะห์ ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ ชี้แนะและถ่ายทอดวิชาความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอน ตลอดระยะเวลาการวิจัย ซึ่งมีส่วนสำคัญยิ่งที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ (ประธานกรรมการ) รองศาสตราจารย์ ดร. พิสุทธิ์ เพียรมนกุล (กรรมการ) รองศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล (กรรมการ) และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตระการ ประภัสพงษา (กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย) ที่ได้กรุณาชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์นี้เป็นอย่างยิ่ง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องจนทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน ถ่ายทอดความรู้ ประสบการณ์ และมอบความปรารถนาดีให้แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณบริษัท มากอดโต จำกัด ที่อนุเคราะห์ตัวอย่างหุ่นทรายแบบหล่อ และสารเคมีบางส่วน

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกตลอดมา

ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ แนะนำและให้ความรู้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกทุกคนในครอบครัวที่ช่วยสนับสนุนส่งเสริมและเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดแก่ผู้วิจัย จนทำให้การศึกษาครั้งนี้ประสบผลสำเร็จได้ตามที่ตั้งใจ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ	ฐ
สารบัญตาราง.....	ต
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 กระบวนการผลิตลูกเหล็ก	5
2.1.1 องค์ประกอบของแบบหล่อทรายที่ใช้ในการผลิตลูกเหล็ก.....	6
2.2 ฝุ่นทรายแบบหล่อ.....	8
2.2.1 ส่วนประกอบฝุ่นทรายแบบหล่อ.....	8
2.2.2 กฎหมายไทยที่เกี่ยวกับฝุ่นทรายแบบหล่อจากกระบวนการหล่อลูกเหล็ก.....	11
2.2.3 ประเภทฝุ่นทรายแบบหล่อ 10 09 10	12
2.2.4 ค่าความเป็นพิษของฝุ่นทรายแบบหล่อ	13
2.2.5 การใช้ประโยชน์ของฝุ่นทรายแบบหล่อในปัจจุบัน.....	14
2.2.6 การจัดการฝุ่นทรายแบบหล่อ	14
2.3 เบนโทไนด์	16

2.3.1 แหล่งกำเนิด โครงสร้าง และส่วนประกอบของเบนโทไนด์	16
2.3.2 สมบัติของเบนโทไนด์.....	19
2.3.3 ชนิดของเบนโทไนด์	21
2.3.4 กลไกการเปลี่ยนสภาพจากแอคทีฟเบนโทไนด์เป็นเดทเบนโทไนด์.....	22
2.4 กระบวนการแยกทางกายภาพ	23
2.4.1 กระบวนการแยกด้วยตะแกรง.....	23
2.4.2 กระบวนการแยกด้วยความร้อน.....	24
2.4.3 กระบวนการแยกด้วยการขัดสี.....	24
2.5 การนำกลับคืนมาใช้ใหม่.....	25
2.6 การทดสอบสมมติฐานและการวิเคราะห์ความถดถอย	26
2.6.1 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing).....	26
2.6.2 การวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis).....	30
2.7 ทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
2.7.1 งานวิจัยที่ใช้วิธีการแยกเบนโทไนด์ออกจากเม็ดทรายด้วยวิธีอื่นๆ	32
2.7.2 งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองการถดถอย	33
2.7.3 งานวิจัยเกี่ยวกับการอบฟุ้งทรายที่อุณหภูมิต่างๆและการร้อนด้วยตะแกรง	35
2.7.4 งานวิจัยเกี่ยวกับการขัดสีอนุภาค	36
2.7.5 งานวิจัยเกี่ยวกับการดูดซับเมททิลีนบลูของเบนโทไนด์.....	37
2.7.6 สรุปแนวทางวิจัย	38
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	40
3.1 แผนงานวิจัย	40
3.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	42
3.2.1 เครื่องมือวัดลักษณะพื้นที่ผิวและขนาดอนุภาค	42

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ	42
3.2.3 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์	42
3.2.4 สารเคมี.....	43
3.2.5 อุปกรณ์ในการทดสอบร้อยละแอกทีฟเบนโทไนต์.....	43
3.3 แนวทางการดำเนินวิจัย	43
3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่าง	49
3.5 การดำเนินการวิจัย.....	49
3.4.1 ขั้นตอนการทดลองที่ 1 การแยกเบื้องต้น.....	49
3.4.2 ขั้นตอนการทดลองที่ 2 การให้ความร้อน.....	51
3.4.3 ขั้นตอนการทดลองที่ 3 การขัดสีร่วมกับความร้อน.....	52
3.4.4 ขั้นตอนการทดลองที่ 4 การเปลี่ยนขนาดตะแกรง	54
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการอภิปรายข้อมูล	57
4.1 สมบัติทางกายภาพของฝุ่นทรายแบบหล่อ.....	57
4.1.1 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer :XRD).....	57
4.1.2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope :SEM).....	58
4.1.3 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer.....	58
4.1.4 การวิเคราะห์ค่าการสูญเสียหลังเผา (Loss of ignition : LOI).....	59
4.2 การทดลองที่ 1 การแยกเบื้องต้น	60
4.2.1 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงและค้ำงตะแกรง	62
4.2.2 อัตราเร็วฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง	64
4.2.3 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของนอนแอกทีฟเบนโทไนต์.....	67
4.2.4 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนต์	70

4.3 การทดลองที่ 2 การให้ความร้อน	76
4.3.1 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรง	77
4.3.2 อัตราเร็วฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง	80
4.3.3 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์	82
4.3.4 การนำกลับคืนมา.....	91
4.3.5 การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ.....	93
4.3.6 ความสำคัญของฝุ่นทรายค้ำตะแกรง	95
4.3.7 ข้อสังเกตของผลการให้ความร้อน พร้อมทั้งเปรียบเทียบการแยกเบื้องต้นกับการให้ ความร้อน.....	96
4.4 การทดลองที่ 3 การขัดสีและความร้อน.....	98
4.4.1 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรง	100
4.4.2 อัตราเร็วฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง	102
4.4.3 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์	105
4.4.4 การนำกลับคืนมา.....	111
4.4.5 การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ.....	112
4.4.6 ความสำคัญของฝุ่นทรายค้ำตะแกรง	114
4.4.7 ข้อสังเกตของการทดลองที่ 3 การขัดสีและความร้อน	115
4.4.8 การวิเคราะห์การทดลองที่ดีที่สุดของการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากตัวอย่าง A และ B.....	117
4.5 การทดลองที่ 4 การเปลี่ยนขนาดตะแกรง	121
4.5.1 ตัวอย่าง A	123
4.5.1.1 ลักษณะทางกายภาพ.....	123
4.5.1.2 ร้อยละน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรง	124
4.5.1.3 อัตราเร็วฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง.....	125

4.5.1.4	ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์	126
4.5.1.5	การนำกลับคืนมา	127
4.5.1.6	การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ	128
4.5.2	ตัวอย่าง B	129
4.5.2.1	ลักษณะทางกายภาพ.....	129
4.5.2.2	ร้อยละฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรง.....	130
4.5.2.3	อัตราเร็วฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง.....	131
4.5.2.4	ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์.....	132
4.5.2.5	การนำกลับคืนมา	133
4.5.2.6	การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ	134
4.5.3	ร้อยละการนำกลับคืนมาและร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์จาก สภาวะการทดลองที่ดีที่สุดของการทดลองที่ 4	135
4.5.4	สมมูลมวลของการทดลองที่ 4	136
4.5.5	ผลของกลไกในแต่ละสภาวะการทดลองในการทดลองที่ 4 ทั้งตัวอย่าง A และ ตัวอย่าง B.....	139
4.6	ประเมินเศรษฐศาสตร์	142
4.6.1	ต้นทุนการนำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมาใหม่ของตัวอย่าง A.....	142
4.6.2	ต้นทุนการนำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมาใหม่ของตัวอย่าง B	143
4.6.3	ระยะคืนทุน	144
4.6.4	ค่าพลังงานไฟฟ้าของการทดลองที่ 4.1 และการทดลองที่ 4.2	145
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง.....	147
5.1	สรุปผลการทดลอง	147
5.2	ข้อเสนอแนะ	149
รายการอ้างอิง	150

ภาคผนวก..... 156

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 203



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตเหล็กทรงวงจร.....	5
ภาพที่ 2.2 องค์ประกอบแบบหล่อทราย.....	6
ภาพที่ 2.3 ระบบการจำแนกรหัสสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว.....	11
ภาพที่ 2.4 รหัสสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วของฝุ่นทรายแบบหล่อ.....	12
ภาพที่ 2.5 แร่กลุ่มซิลิเกต.....	16
ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของแร่มอนต์โมริลโลไนต์ (Montmorillonite).....	17
ภาพที่ 2.7 การขยายตัว (Swelling) และการหดตัว (Shrinking) ของเบนโทไนต์.....	19
ภาพที่ 2.8 ลักษณะการเกาะติดกันของเบนโทไนต์.....	20
ภาพที่ 2.9 แผนผังการแยกแบบสองทาง Binary Separation.....	25
ภาพที่ 2.10 บริเวณวิกฤตของการทดสอบจะอยู่ด้านขวาและมีค่าเป็นบวก.....	28
ภาพที่ 2.11 บริเวณวิกฤตของการทดสอบจะอยู่ด้านซ้ายและมีค่าเป็นลบ.....	29
ภาพที่ 2.12 บริเวณวิกฤตของการทดสอบจะอยู่ด้านซ้ายและขวามีค่าเป็นได้ทั้งบวกและลบ.....	29
ภาพที่ 3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย (ก) ตัวอย่าง A และ (ข) ตัวอย่าง B.....	40
ภาพที่ 3.2 แผนผังรายละเอียดของแต่ละการทดลอง.....	41
ภาพที่ 3.3 แผนผังแสดงขั้นตอนและแนวคิดของการทดลองที่ 1.....	45
ภาพที่ 3.4 แผนผังแสดงขั้นตอนและแนวคิดของการทดลองที่ 2.....	46
ภาพที่ 3.5 แผนผังแสดงขั้นตอนและแนวคิดของการทดลองที่ 3.....	47
ภาพที่ 3.6 แผนผังแสดงขั้นตอนและแนวคิดของการทดลองที่ 4.....	48
ภาพที่ 3.7 แผนผังการทดลองที่ 1.....	50
ภาพที่ 3.8 แผนผังการทดลองที่ 2.....	51
ภาพที่ 3.9 แผนผังการทดลองที่ 3.....	53
ภาพที่ 3.10 แผนผังการทดลองที่ 4.....	56

ภาพที่ 4.1 ตัวอย่าง A กำลังขยาย 1,000 เท่า	ภาพที่ 4.2 ตัวอย่าง B กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	58
ภาพที่ 4.3 แนวคิดสมมติฐานของการแยกเบื้องต้น.....		60
ภาพที่ 4.4 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรงของตัวอย่าง A การทดลองที่ 1		62
ภาพที่ 4.5 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรงของตัวอย่าง B การทดลองที่ 1		63
ภาพที่ 4.6 อัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 1		64
ภาพที่ 4.7 อัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 1.....		65
ภาพที่ 4.8 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของนอนแอกทีฟเบนโทไนด์ ตัวอย่าง A การทดลองที่ 1		67
ภาพที่ 4.9 การแยกนอนแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะดีที่สุดของตัวอย่าง A การทดลองที่ 1		68
ภาพที่ 4.10 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของนอนแอกทีฟเบนโทไนด์ ตัวอย่าง B การทดลองที่ 1.....		69
ภาพที่ 4.11 การแยกนอนแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะดีที่สุดของตัวอย่าง B การทดลองที่ 1.....		70
ภาพที่ 4.12 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ ตัวอย่าง A การทดลองที่ 1 ...		70
ภาพที่ 4.13 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะดีที่สุดของตัวอย่าง A การทดลองที่ 1		71
ภาพที่ 4.14 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 1.....		72
ภาพที่ 4.15 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะดีที่สุดของตัวอย่าง B การทดลองที่ 1		73
ภาพที่ 4.16 แนวคิดสมมติฐานของการระเหยน้ำโดยให้ความร้อน.....		76
ภาพที่ 4.17 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อค้ำตะแกรงและผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A การทดลองที่ 2		77
ภาพที่ 4.18 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อค้ำตะแกรงและผ่านตะแกรงของตัวอย่าง B การทดลองที่ 2		78
ภาพที่ 4.19 อัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 2		80

ภาพที่ 4.20 อัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 2	81
ภาพที่ 4.21 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ ตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 2	82
ภาพที่ 4.22 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะดีที่สุดของตัวอย่าง A การทดลองที่ 2	84
ภาพที่ 4.23 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ตัวอย่าง A การทดลองที่ 2 (เพิ่มเวลา).....	84
ภาพที่ 4.24 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะเพิ่มเวลาของตัวอย่าง A การทดลองที่ 2	85
ภาพที่ 4.25 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ตัวอย่าง A การทดลองที่ 2 (เพิ่มอุณหภูมิ)	86
ภาพที่ 4.26 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะเพิ่มอุณหภูมิของตัวอย่าง A การทดลองที่ 2	87
ภาพที่ 4.27 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 2	88
ภาพที่ 4.28 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะดีที่สุดของตัวอย่าง B การทดลองที่ 2	89
ภาพที่ 4.29 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ตัวอย่าง B การทดลองที่ 2 (เพิ่มอุณหภูมิ)	90
ภาพที่ 4.30 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะเพิ่มอุณหภูมิของตัวอย่าง B การทดลองที่ 2	91
ภาพที่ 4.31 ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมาใช้จริงของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 2	92
ภาพที่ 4.32 ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมาใช้จริงของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 2	92
ภาพที่ 4.33 ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ค้ำตะแกรงของการทดลองที่ 2	95
ภาพที่ 4.34 แนวคิดสมมติฐานของการขัดสี	98
ภาพที่ 4.35 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรงของตัวอย่าง A การทดลองที่ 3	100
ภาพที่ 4.36 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อค้ำตะแกรงและผ่านตะแกรงของตัวอย่าง B การทดลองที่ 3	101
ภาพที่ 4.37 อัตราเร็วร่วงผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 3.....	102
ภาพที่ 4.38 อัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 3	103

ภาพที่ 4.39 กราฟแสดงขนาดอนุภาคของตัวอย่าง A	ภาพที่ 4.40 กราฟแสดงขนาดอนุภาค ของตัวอย่าง B.....	104
ภาพที่ 4.41 ขนาดอนุภาคของตัวอย่าง A ที่ผ่านตะแกรง	ภาพที่ 4.42 ขนาดอนุภาคของตัวอย่าง B ที่ผ่านตะแกรง.....	104
ภาพที่ 4.43 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 3		105
ภาพที่ 4.44 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะดีที่สุดของตัวอย่าง A การทดลองที่ 3		107
ภาพที่ 4.45 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ตัวอย่าง A การทดลองที่ 3		107
ภาพที่ 4.46 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะที่เพิ่มของตัวอย่าง A การทดลองที่ 3		109
ภาพที่ 4.47 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง B ในการ ทดลองที่ 3		109
ภาพที่ 4.48 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะดีที่สุดของตัวอย่าง B การทดลองที่ 3		110
ภาพที่ 4.49 ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมาใช้จริงของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 3		111
ภาพที่ 4.50 ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมาใช้จริงของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 3		112
ภาพที่ 4.51 ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ค้ำตะแกรงของการทดลองที่ 3		114
ภาพที่ 4.52 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักฝุ่นทรายและแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A การทดลอง ที่ 2.....		118
ภาพที่ 4.53 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักฝุ่นทรายและแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A การทดลอง ที่ 3.....		118
ภาพที่ 4.54 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักฝุ่นทรายและแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง B การทดลอง ที่ 2.....		120
ภาพที่ 4.55 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักฝุ่นทรายและแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง B การทดลอง ที่ 3.....		120
ภาพที่ 4.56 แนวคิดสมมติฐานของการทดลองเปลี่ยนขนาดตะแกรง		121
ภาพที่ 4.57 ตัวอย่าง A กำลังขยาย 1,500 เท่า (เริ่มต้น) ภาพที่ 4.58 ตัวอย่าง A กำลังขยาย 1,500 เท่า (หลังผ่านการทดลองที่ 2).....		123

ภาพที่ 4.59 ตัวอย่าง A กำลังขยาย 1,500 เท่า (หลังผ่านการทดลองที่ 3)ภาพที่ 4.60 ตัวอย่าง A กำลังขยาย 1,500 เท่า (หลังผ่านการทดลองที่ 4).....	123
ภาพที่ 4.61 ทรายแบบห่อหลังผ่านอุณหภูมิ 1,000°C เวลา 1นาที่ ภาพที่ 4.62 ทรายแบบห่อหลังผ่านอุณหภูมิ 1,000°C เวลา 2นาที่.....	123
ภาพที่ 4.63 ร้อยละฝุ่นทรายแบบห่อผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรงตัวอย่าง A การทดลองที่ 4 ...	124
ภาพที่ 4.64 อัตราเร็วที่ผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 4.....	125
ภาพที่ 4.65 ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 4.....	126
ภาพที่ 4.66 ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์นำไปใช้จริงของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 4	127
ภาพที่ 4.67 ตัวอย่าง B กำลังขยาย 1,500 เท่า (เริ่มต้น) ภาพที่ 4.68 ตัวอย่าง B กำลังขยาย 1,500 เท่า (หลังผ่านการทดลองที่ 2).....	129
ภาพที่ 4.69 ตัวอย่าง B กำลังขยาย 1,500 เท่า (หลังผ่านการทดลองที่ 3)ภาพที่ 4.70 ตัวอย่าง B กำลังขยาย 1,500 เท่า (หลังผ่านการทดลองที่ 4).....	129
ภาพที่ 4.61 ทรายแบบห่อหลังผ่านอุณหภูมิ 1,000°C เวลา 1นาที่ ภาพที่ 4.62 ทรายแบบห่อหลังผ่านอุณหภูมิ 1,000°C เวลา 2นาที่.....	129
ภาพที่ 4.71 ร้อยละฝุ่นทรายแบบห่อผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรงตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 4	130
ภาพที่ 4.72 อัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 4	131
ภาพที่ 4.73 ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 4.....	132
ภาพที่ 4.74 ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมาใช้จริงของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 4	133
ภาพที่ 4.75 สมดุลมวลของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 4.....	136
ภาพที่ 4.76 สมดุลมวลของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 4.....	137
ภาพที่ 4.77 แสดงกลไกของการทดลองที่ 4 ตัวอย่าง A.....	140
ภาพที่ 4.78 แสดงกลไกของการทดลองที่ 4 ตัวอย่าง B.....	141

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	ค่าที่เหมาะสมของผงถ่านหินในการทำแบบหล่อทราย.....	7
ตารางที่ 2.2	ส่วนประกอบออกไซด์ของฝุ่นทรายแบบหล่อในถุงกรอง.....	9
ตารางที่ 2.3	สัดส่วนปริมาณธาตุของฝุ่นทรายแบบหล่อในถุงกรองของโรงหล่อโลหะ	10
ตารางที่ 2.4	ปริมาณฝุ่นทรายแบบหล่อในประเทศ.....	12
ตารางที่ 2.5	ผลการวิเคราะห์ค่าการชะละลายของโลหะหนักของฝุ่นทรายแบบหล่อ	13
ตารางที่ 2.6	ส่วนประกอบออกไซด์ของเบนโทไนต์	18
ตารางที่ 2.7	ปริมาณแอกทีฟเบนโทไนต์ในโรงหล่อเหล็ก.....	22
ตารางที่ 2.8	ผลการตัดสินใจจากการทดสอบสมมติฐาน	27
ตารางที่ 3.1	การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและความบริสุทธิ์ของฝุ่นทรายแบบหล่อ	49
ตารางที่ 4.1	ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย (d_{50}) ของอนุภาคตัวอย่าง A, B และเบนโทไนต์บริสุทธิ์	59
ตารางที่ 4.2	แสดงน้ำหนักร้อยละของฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง น้ำหนักนออนแอกทีฟเบนโทไนต์ และ น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนต์ของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 1.....	74
ตารางที่ 4.3	แสดงน้ำหนักร้อยละของฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนต์ และ น้ำหนักนออนแอกทีฟเบนโทไนต์ของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 1	74
ตารางที่ 4.4	ร้อยละการนำกลับคืนมาและร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนต์ของสภาวะ ที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 และ 2.....	97
ตารางที่ 4.5	แสดงร้อยละน้ำหนักร้อยละของฝุ่นทรายผ่านและค้างตะแกรงของตัวอย่าง A และ B.....	115
ตารางที่ 4.6	ความบริสุทธิ์ น้ำหนัก และการนำกลับคืนมาของแอกทีฟเบนโทไนต์ จากการทดลอง ที่ 2.....	116
ตารางที่ 4.7	ร้อยละการนำกลับคืนมาและร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนต์จากสภาวะ การทดลองที่ดีที่สุดของการทดลองที่ 2 และ 3.....	116
ตารางที่ 4.8	เปรียบเทียบร้อยละการนำกลับคืนมาและร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโท ไนต์จากการทดลองที่ 4.1 – 4.4.....	135

ตารางที่ 4.9 ร้อยละการนำกลับคืนมาสะสมของแอกทีฟเบนโทไนด์ ตัวอย่าง A จากการทดลองที่ 4 138

ตารางที่ 4.10 ร้อยละการนำกลับคืนมาสะสมของแอกทีฟเบนโทไนด์ ตัวอย่าง B จากการทดลองที่ 4..... 139

ตารางที่ 4.11 ผลรวมของต้นทุนในการนำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับมาใหม่จากฝุ่นทราย 144 กรัมของแต่ละตัวอย่าง A และตัวอย่าง B 142

ตารางที่ 4.12 ค่าพลังงานไฟฟ้าของการนำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับมาจากสถานะการให้ความร้อนและการให้ความร้อนร่วมกับการขั้ดสี..... 146

ตารางที่ 4.13 ค่าพลังงานไฟฟ้าของการนำฝุ่นทรายแบบหล่อกลับมาจากสถานะการให้ความร้อนและการให้ความร้อนร่วมกับการขั้ดสี..... 146

ตารางที่ 5.1 ผลการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์และฝุ่นทรายของตัวอย่าง A และ B ที่ผ่านตะแกรงจากการทดลองที่ 4.1 148

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมหล่อหลอมเหล็กเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อภาคเศรษฐกิจของประเทศไทย ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมต้นน้ำที่มีความสำคัญและเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมการผลิตอื่นๆ โดยมีอัตราการบริโภคเหล็กสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ในขณะเดียวกันก็เป็นอุตสาหกรรมที่อาจสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีปัจจัยเสี่ยงต่อความปลอดภัย ซึ่งในกระบวนการผลิตชิ้นงานหล่อจะมีแบบหล่อ (Mold) เป็นแบบในการหล่อลูกเหล็ก โดยเริ่มจากการเทน้ำโลหะลงสู่ช่องว่างของแบบหล่อตามแบบที่ต้องการ จากนั้นจึงให้น้ำโลหะเกิดการแข็งตัว จะได้ชิ้นงานหล่อเป็นผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ (สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2520) ในการผลิตลูกเหล็กเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ มีวัตถุดิบหลักคือ ทรายแบบหล่อและเบนโทไนต์เป็นตัวเชื่อมประสาน โดยเบนโทไนต์เป็นส่วนประกอบของฝุ่นทรายแบบหล่อ ซึ่งเป็นของเสียประเภทฝุ่นที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการทำลายแบบหล่อทราย ซึ่งประกอบด้วย 1) ฝุ่นทราย (Sand Dust) 2) แอคทีฟเบนโทไนต์ (Active Bentonite) คือ เบนโทไนต์ที่สามารถเกาะติดประสานกับฝุ่นทรายแบบหล่อได้ 3) เดดเบนโทไนต์ (Dead Bentonite) คือ เบนโทไนต์ที่ไม่สามารถเกาะติดประสานกับฝุ่นทรายแบบหล่อได้ และ 4) ฝุ่นถ่านหิน (Coal Dust)

เบนโทไนต์ คือ ดินเหนียวที่เกิดจากการสลายตัวของแร่ภูเขาไฟ สามารถดูดซึมน้ำและขยายตัว (Swelling) ได้ดี มีความเหนียวสูงมาก เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตแบบหล่อทราย เนื่องจากเหมาะสำหรับใช้เป็นตัวเชื่อมประสานในการผลิตแบบหล่อทราย และมีน้ำหนักเบา จึงสามารถถูกดูดไปเก็บไว้ในถุงกรองฝุ่นทรายได้จำนวนมาก ทำให้สามารถนำเบนโทไนต์ในถุงกรองฝุ่นทรายกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาการแยกส่วนของแอคทีฟเบนโทไนต์ออกจากฝุ่นทราย เพื่อนำกลับคืนมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตแบบหล่อทรายอีกครั้ง และจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีการประยุกต์ใช้น้ำทรายแบบหล่อกลับมาใช้ใหม่ (Auychaiwatt, 2003) และมีงานวิจัยที่นำฝุ่นทรายแบบหล่อกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตแบบหล่อทราย และยังไม่มียานวิจัยที่แยกแอคทีฟเบนโทไนต์จากฝุ่นทรายแบบหล่อกลับมาใช้ใหม่ได้จริง ในปัจจุบันฝุ่นทรายแบบหล่อที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตลูกเหล็ก มักถูกนำไปกำจัดโดยกระบวนการฝังกลบ (Landfill) เนื่องจากมีต้นทุนในการกำจัดน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกำจัดด้วยวิธีอื่น ๆ แต่ในการฝังกลบจำเป็นต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณใกล้เคียงได้

เนื่องจากถ้านำฝุ่นทรายแบบหล่อกลับมาใช้ใหม่ในการ ผลิตแบบหล่อทรายใหม่ โดยที่ไม่ผ่านกระบวนการแยกทางกายภาพ ส่งผลให้แบบหล่อทรายมีปริมาณฝุ่นทรายมาก ทำให้สมบัติความโปร่งอากาศ (Permeability) ของทรายแบบหล่อน้อยลง มีรูพรุนน้อย ทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นในกระบวนการเทน้ำโลหะไหลออกไม่ได้ตอนเทน้ำโลหะจึงทำให้แบบหล่อทรายระเบิด (สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2520) งานวิจัยนี้จึงสนใจแยกแอคทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยที่แอคทีฟเบนโทไนด์เป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญของเบนโทไนด์ราคาของเบนโทไนด์มีราคาแพง จึงจำเป็นต้องมีการแยกแอคทีฟเบนโทไนด์ออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อก่อนการนำกลับมาใช้ใหม่ เพราะจะไม่ก่อให้เกิดผลเสียกับแบบหล่อทราย ดังที่กล่าวแล้วข้างต้น

จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องจึงได้แนวทางกระบวนการแยกทางกายภาพในการนำไปใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อให้สอดคล้องกับขนาดอนุภาคฝุ่นทรายแบบหล่อและการเกาะติดกันระหว่างแอคทีฟเบนโทไนด์กับฝุ่นทรายแบบหล่อ โดยใช้กระบวนการทางกายภาพ อันได้แก่ การแยกด้วยตะแกรงเพื่อนำส่วนที่หลุดออกได้ง่ายและไม่ต้องการออกไปก่อน (Park และคณะ, 2012) แล้วต่อด้วยการให้ความร้อน เพื่อนำน้ำอิสระภายนอก (free water) ออกจากแอคทีฟเบนโทไนด์เพื่อลดการเชื่อมประสานกับฝุ่นทรายแบบหล่อ (Holzer และคณะ, 2010) จากนั้นจึงใช้การขัดสี เพื่อเพิ่มการหลุดแยกแอคทีฟเบนโทไนด์ออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อได้มากขึ้น (Lucarz, 2007) สุดท้ายจึงทำการลดรูเปิดตะแกรง เพื่อให้ขนาดอนุภาคเบนโทไนด์ที่มีขนาดเล็กมากวิ่งผ่านตะแกรงเพิ่มขึ้น (Park และคณะ, 2012) จากนั้นวิเคราะห์ทางสถิติของสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองพร้อมสร้างสมการถดถอยแบบง่าย และเมื่อได้สภาวะการทดลองที่เหมาะสมต่อการแยกแอคทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อในแต่ละการทดลอง จึงนำมาคิดประเมินค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการแยกแอคทีฟเบนโทไนด์ออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อ
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับสภาวะที่เหมาะสมในแต่ละขั้นตอน
- 1.2.3 ประเมินค่าใช้จ่ายโดยใช้ข้อมูลจากการทดลอง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษางานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) สถานที่ทำการทดลองคือ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีขอบเขตการวิจัยดังนี้

1.3.1 ศึกษาตัวอย่างฝุ่นทรายแบบหล่อที่เก็บรวบรวมจากถ่วงกรองของแต่ละโรงการผลิตแบบหล่อทราย ซึ่งประกอบด้วย 2 โรงการผลิต โดยโรงที่ 1 เก็บตัวอย่างเรียกว่า ตัวอย่าง A เป็นตัวอย่างฝุ่นทรายที่ได้จากการผลิตแบบหล่อทรายสำหรับผลิตลูกเหล็กขนาดเล็กกว่า 50 มิลลิเมตร ส่วนโรงที่ 2 เก็บตัวอย่างเรียกว่า ตัวอย่าง B เป็นตัวอย่างฝุ่นทรายที่ได้จากการผลิตแบบหล่อทรายสำหรับผลิตลูกเหล็กขนาดมากกว่า 50 มิลลิเมตรถึง 100 มิลลิเมตร

1.3.2 ศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการด้วยกระบวนการแยกทางกายภาพ สำหรับการแยกแอคทีฟเบนโทไนด์ ที่เคลือบอยู่ออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อให้หลุดร่วงออกมาแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งในแต่ละกระบวนการแยกของตัวอย่าง A และ ตัวอย่าง B แบ่งเป็นการทดลอง 4 ส่วน คือ 1. กระบวนการแยกเบื้องต้น 2. กระบวนการให้ความร้อน 3. กระบวนการขัดสี และ 4. กระบวนการเปลี่ยนขนาดตะแกรง โดยแต่ละกระบวนการมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

- การทดลองที่ 1 กระบวนการแยกเบื้องต้น ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย ขนาดตะแกรงต่างๆ คือขนาดตะแกรง 325 เมช (45 ไมครอน) ขนาดตะแกรง 400 เมช (38 ไมครอน) ขนาดตะแกรง 500 เมช (25 ไมครอน) เวลาในการร่อน 5, 15 และ 30 นาที

- การทดลองที่ 2 กระบวนการให้ความร้อน ประกอบด้วย อุณหภูมิในการอบตัวอย่าง 80, 100, 120, 150, 180 และ 200°C และ เวลาในการให้ความร้อน 30, 60 และ 90 นาที

- การทดลองที่ 3 กระบวนการขัดสี ประกอบด้วย ความเร็วรอบในการปั่น 500, 1,500, 2,500 และ 5,000 รอบต่อนาที และเวลาในการปั่น 5, 10 และ 15 นาที

- การทดลองที่ 4 การเปลี่ยนขนาดตะแกรง ประกอบด้วย ขนาดตะแกรง 400 เมช (38 ไมครอน) และขนาดตะแกรง 500 เมช (25 ไมครอน)

1.3.3 วิเคราะห์สถิติในแต่ละการทดลอง ดูความมีนัยสำคัญในแต่ละการทดลอง

1.3.4 โดยในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้มีตัวแปรตามหรือพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ คือ ปริมาณร้อยละแอคทีฟเบนโทไนด์ซึ่งสามารถวัดได้ตามวิธีวิเคราะห์ Methylene Blue Procedure ตามมาตรฐาน ASTM C 837 – 99

1.3.5 ประเมินค่าใช้จ่ายโดยใช้ข้อมูลจากการทดลองโดยคิดค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองและระยะคืนทุน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 จากการศึกษาเพื่อแยกแอคทีฟเบนโทไนด์ออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อ จะได้สภาวะที่เหมาะสมในแต่ละกระบวนการเพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริง

1.4.2 วิเคราะห์สถิติในแต่ละการทดลอง ดูความมีนัยสำคัญในการแยกแอคทีฟเบนโทไนด์กลับมาของแต่ละการทดลอง

1.4.3 ทราบค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง และศึกษาปริมาณฝุ่นทรายแบบหล่อที่นำไปกำจัดและลดต้นทุนการซื้อเบนโทไนด์ จากสภาวะที่ดีที่สุดในการแยกแอคทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ

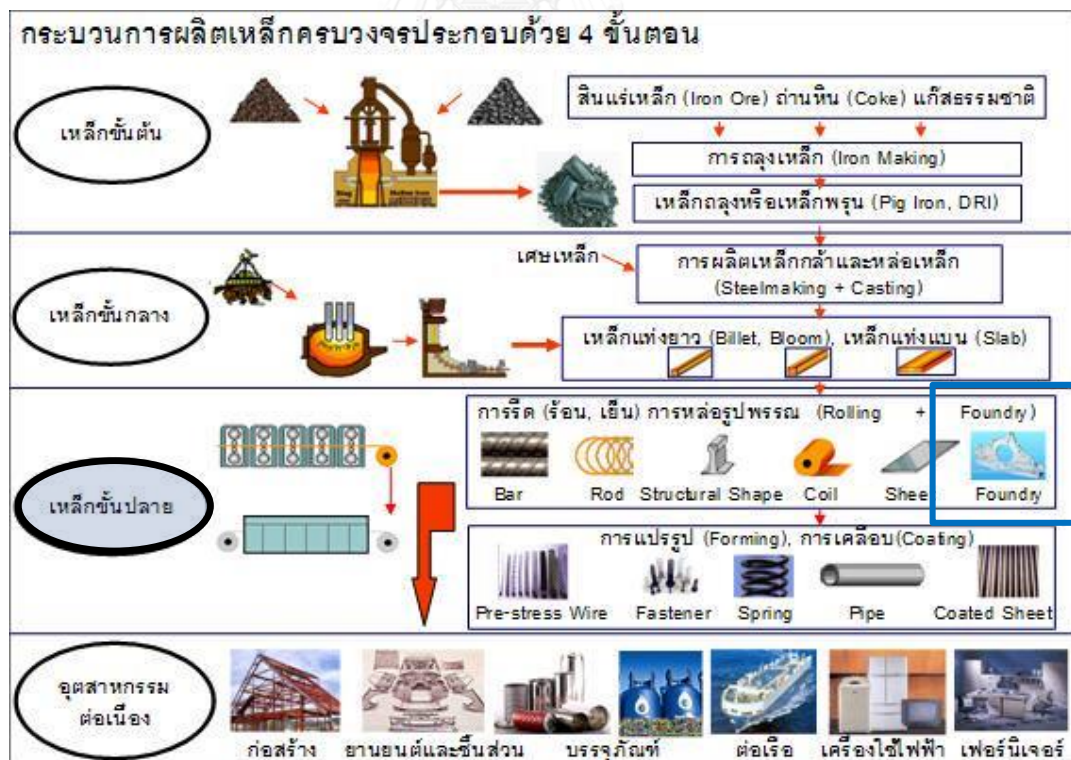


บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตลูกเหล็ก

อุตสาหกรรมหล่อหลอมเหล็กเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อภาคเศรษฐกิจของประเทศ จากภาพที่ 2.1 แสดงภาพรวมอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ อุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้น อุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลาง อุตสาหกรรมเหล็กขั้นปลายและอุตสาหกรรมต่อเนื่อง โดยที่ อุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้นนำเอาวัตถุดิบคือ สินแร่เหล็กมาถลุงเป็นวัตถุดิบพื้นฐานเพื่อส่งให้อุตสาหกรรมขั้นกลางนำไปแปรรูปต่อไปเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นกลาง ซึ่งอุตสาหกรรมขั้นปลายจะนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จ เริ่มจากการนำผลิตภัณฑ์เหล็กสำเร็จรูปมาขึ้นรูปร้อน (Hot forming) ได้เป็นผลิตภัณฑ์เหล็กสำเร็จรูป เช่น เหล็กเส้น (Re-bar) ลูกเหล็ก (Steel ball) เป็นต้น และ อุตสาหกรรมต่อเนื่องเป็นการนำผลิตภัณฑ์เหล็กที่ได้จากอุตสาหกรรมขั้นต้น ขั้นกลาง ขั้นปลาย สร้างเป็นสิ่งก่อสร้าง ยานยนต์ เป็นต้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551)

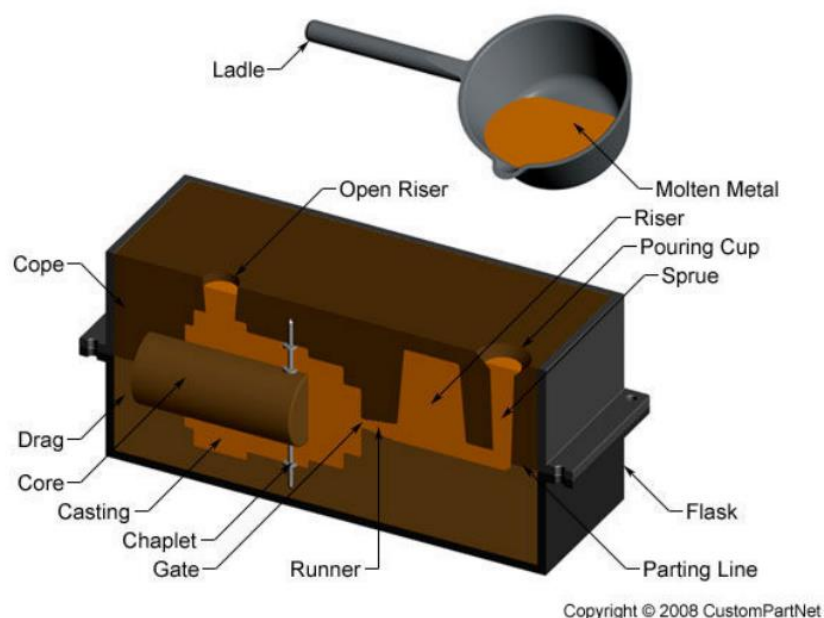


ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตเหล็กครบวงจร

(กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551)

2.1.1 องค์ประกอบของแบบหล่อทรายที่ใช้ในการผลิตลูกเหล็ก

จากภาพที่ 2.2 แสดงกระบวนการผลิตลูกเหล็กในโรงหล่อเริ่มต้นจากการสร้างแบบหล่อทราย จากนั้นเทน้ำเหล็กลงบนแบบหล่อทรายทิ้งให้ลูกเหล็กแข็งตัวตามรูปร่างที่ต้องการ และแยกทรายแบบหล่อออกจากลูกเหล็ก โดยการพลิกแบบหล่อทรายให้แตกออกจากกัน ทำให้สามารถนำทรายแบบหล่อที่แตกออกจากลูกเหล็กกลับมาใช้สร้างแบบหล่อทรายใหม่ในกระบวนการผลิตลูกเหล็ก และนำลูกเหล็กที่ได้เข้าสู่กระบวนการเขย่า (Shakeout) ด้วยการหมุนเหวี่ยงในทอกลมนวนอนขนาดใหญ่ เพื่อแยกลูกเหล็กออกจากกัน (Auychaiwatt, 2003)



ภาพที่ 2.2 องค์ประกอบแบบหล่อทราย

(สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2520)

โดยองค์ประกอบหลักของแบบหล่อทรายประกอบด้วย ดังนี้

1. ทราย (Sand) ทรายซิลิกาที่มีส่วนผสมซิลิกามากกว่าร้อยละ 95
2. ทรายจากแบบหล่อทรายที่ใช้แล้ว (Returned Sand) ทรายแบบที่มีน้ำหรือมีความชื้นอยู่ในทราย สามารถนำกลับมาใช้ผลิตแบบหล่อทรายใหม่ได้
3. ผงถ่านหิน (Coal) เมื่อใส่ผงถ่านหินลงไปแบบหล่อทรายจะทำหน้าที่คล้ายฟิล์มเพื่อขัดขวางการสัมผัสกันของน้ำโลหะกับอนุภาคทราย ลดการซึมของน้ำโลหะไหลลงไปในอนุภาคทราย เพื่อลดอัตราการขยายตัวของทราย ลดการเคลื่อนที่ของแบบหล่อทรายหรือการหดตัวของแบบ

หล่อทรายจนเกิดเป็นหลุมหรือเสียรูปร่างแบบหล่อทราย สุดท้ายจะทำให้ผิวลูกเหล็กเรียบสวยตามที่ต้องการ คุณสมบัติของถ่านหินที่เหมาะสมสำหรับเป็นส่วนประกอบของแบบหล่อทราย แสดงไว้ในตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าที่เหมาะสมของผงถ่านหินในการทำแบบหล่อทราย (Ittipon, 2011)

ลักษณะ	ผงถ่านหิน
ค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาLOI (ร้อยละ)	92-96
ปริมาณซิลเฟอร์ (ร้อยละ)	0.4-0.8
ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)	1.2-2.6
สารระเหย (ร้อยละ)	34-40
การขยายตัว (swelling)	2-7
ค่าความมันเงาของคาร์บอน Lustrous Carbon (ร้อยละ)	9-14
คุณภาพผิวหน้าแบบหล่อ	ปานกลางถึงดี

4. น้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างเบนโทไนต์กับเม็ดทราย เพื่อช่วยให้เบนโทไนต์มีสมบัติเป็นกาวเชื่อมประสาน โดยจำเป็นต้องมีปริมาณน้ำที่เหมาะสมซึ่งอยู่ระหว่าง 4 - 8 ร้อยละ โดยน้ำหนัก ยึดเกาะกับทรายได้แข็งแรง ถ้าหากมีปริมาณน้ำน้อยกว่าหรือมากกว่าช่วงที่เหมาะสม ส่งผลให้แบบหล่อทรายขาดความแข็งแรง นอกจากนั้นปริมาณน้ำส่วนเกินจะแพร่ไปตามช่องว่างในแบบหล่อทราย ซึ่งทำให้สูญเสียสมบัติทางด้านความโปร่งอากาศ (Permeability) ส่งผลให้แก๊สและไอน้ำที่เกิดขึ้นระหว่างที่เทน้ำโลหะหลอมเหลวในแบบหล่อทรายไหลออกจากแบบหล่อทรายได้ยาก (สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2520)

5. เบนโทไนต์ เป็นกาวเชื่อมประสานเม็ดทรายให้เกาะติดกัน

ตัวอย่างแบบหล่อทรายในต่างประเทศพบว่ามีส่วนประกอบดังนี้ ทรายร้อยละ 82 – 90 เบนโทไนต์ร้อยละ 5 – 8 ผงถ่านหินร้อยละ 3 – 6 และน้ำร้อยละ 2 – 4 (Cannon และคณะ, 2005) ส่วนในประเทศพบว่ามีส่วนประกอบดังนี้ ทรายร้อยละ 4.6 ทรายจากแบบหล่อทรายที่ใช้แล้วร้อยละ 90.1 เบนโทไนต์ร้อยละ 2.7 ผงถ่านหินร้อยละ 0.3 และน้ำร้อยละ 2.3 ซึ่งองค์ประกอบต่างๆ ของแบบหล่อทรายขึ้นกับความแข็งแรงของแบบหล่อที่ต้องการผลิตชิ้นงานหล่อ

2.2 ผุ่นทรายแบบหล่อ

2.2.1 ส่วนประกอบผุ่นทรายแบบหล่อ

ผุ่นทรายแบบหล่อเกิดขึ้นจากกระบวนการทำลายแบบหล่อในการผลิตลูกเหล็ก โดยผุ่นทรายแบบหล่อนั้นจะถูกดูดเก็บไว้ในถังกองผุ่นทรายเพื่อนำไปกำจัดต่อไป โดยส่วนประกอบของผุ่นทรายแบบหล่อประกอบด้วย 1. ผุ่นทราย 2. ผุ่นถ่านหิน 3. น้ำ และ 4. เบนโทไนด์

ผุ่นทราย

ผุ่นทรายที่มีชื่อทางเคมีว่า ซิลิกาออกไซด์ หรือรู้จักในรูปที่พบได้ทั่วไปคือ ควอร์ซ ลักษณะของงานที่เกิดผุ่นทรายจะเกิดจากการโม่ การบด การย่อยหินหรือแร่ต่างๆ การก่อสร้างหรืองานที่เกี่ยวข้องกับหิน ทรายซีเมนต์ การทำแก้ว การทำเซรามิค การทำอิฐ การทำภาชนะดินเผา การหล่อโลหะ และการเจียรนัยเพชรหรือพลอย เป็นต้น (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2548) แต่การได้รับผุ่นทรายเข้าไปในปอด โดยที่ผุ่นทรายมีขนาดเล็ก 0.5-5 ไมครอน จะทำให้เกิดโรคที่เรียกว่า โรคมะเร็งปอด

ผุ่นถ่านหิน

ผุ่นถ่านหินเป็นผุ่นผงละเอียดจากการบดถ่านหินให้ละเอียด มักเกิดขึ้นในระหว่างการทำเหมืองหรือจากเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับถ่านหิน เมื่อสูดดมผุ่นถ่านหินเข้าไปจะได้รับอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ ผุ่นถ่านหินประกอบด้วยสารเคมีที่มีคาร์บอน ไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก และยังมีออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์(กำมะถัน) การสูดหายใจเอาผุ่นผงจากถ่านหินเข้าสู่ปอดนั้นสามารถทำให้เป็นโรคปอดหรือที่เรียกว่า โรคมะเร็งปอด (สุชาติ ชินะจิตร, 2549)

จากตารางที่ 2.2 แสดงถึงส่วนประกอบออกไซด์ของผุ่นทรายแบบหล่อจากโรงงานผลิตลูกเหล็ก (Magotteaux) พบว่าปริมาณซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) เท่ากับร้อยละ 67.60 ซึ่งเป็นส่วนประกอบทางออกไซด์ที่มากที่สุดของผุ่นทรายแบบหล่อ รองลงมาคือ อะลูมินัมออกไซด์ (Al_2O_3) เท่ากับร้อยละ 15.03 (Auychaiwatt, 2003) และพบว่าในสหรัฐอเมริกามีส่วนประกอบออกไซด์ของผุ่นทรายแบบหล่อ พบปริมาณซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) เท่ากับร้อยละ 51.6 ซึ่งเป็นส่วนประกอบออกไซด์ที่มากที่สุดของผุ่นทรายแบบหล่อ รองลงมาคือ อะลูมินัมออกไซด์ (Al_2O_3) เท่ากับร้อยละ 12.1 (Kraus และคณะ, 2009) เช่นเดียวกับตัวอย่าง A และตัวอย่าง B

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบออกไซด์ของฝุ่นทรายแบบหล่อในถุงกรอง (Auychaiwatt, 2003) และ (Kraus และคณะ, 2009)

สูตรออกไซด์	ร้อยละโดยมวล	
	Magotteaux ^a	Iron Foundry silica dust (Wisconsin USA) ^b
SiO ₂	67.60	51.6
Al ₂ O ₃	15.03	12.1
Fe ₂ O ₃	5.56	6.4
CaO	2.09	2.5
MgO	2.22	2.1
SO ₃	0.38	0.8
Na ₂ O	3.09	1.3
K ₂ O	0.74	0.7
TiO ₂	0.80	0.5
P ₂ O ₅	0.20	0.1
MnO	ไม่มี	0.1
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	ไม่มี	70.1
Loss On Ignition (LOI)	36.14	22.0

^a = (Auychaiwatt, 2003)

^b = (Kraus และคณะ, 2009)

สัดส่วนปริมาณธาตุของฝุ่นทรายแบบหล่อในต่างประเทศจากการวิเคราะห์สัดส่วนปริมาณธาตุในตัวอย่างฝุ่นทรายแบบหล่อในโรงหล่อเหล็กของประเทศนิวซีแลนด์ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ด้วยเครื่องมือเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence spectrometer) พบว่ามีสัดส่วนปริมาณธาตุที่แตกต่างกัน เนื่องจากปริมาณเหล็กที่ใช้ในกระบวนการผลิตในแต่ละประเภทของโรงหล่อที่แตกต่างกัน เช่น โรงหล่อ Pacific Steel พบว่ามีปริมาณสังกะสีสูง เนื่องจากเป็นโรงหล่อเหล็กที่มีปริมาณการใช้สังกะสีสูงเป็นส่วนประกอบ ส่วนโรงหล่อ Masport Steel พบว่ามีปริมาณออกไซด์มาก เนื่องจากเป็นโรงหล่อเหล็กที่มีปริมาณการใช้สังกะสีสูงเป็นส่วนประกอบ แล้วสังกะสีได้เปลี่ยนรูปเป็นซิงค์ออกไซด์ ส่วนโรงหล่อ A&G Price Steel จะพบปริมาณเหล็กสูง เนื่องจากเป็นโรงหล่อที่มีปริมาณการใช้เหล็กสูงเป็นส่วนประกอบ (Hamilton และ Sammes, 1999)

ตารางที่ 2.3 สัดส่วนปริมาณธาตุของฝุ่นทรายแบบหล่อในถลุงกรองของโรงหล่อโลหะ (Hamilton และ Sammes, 1999)

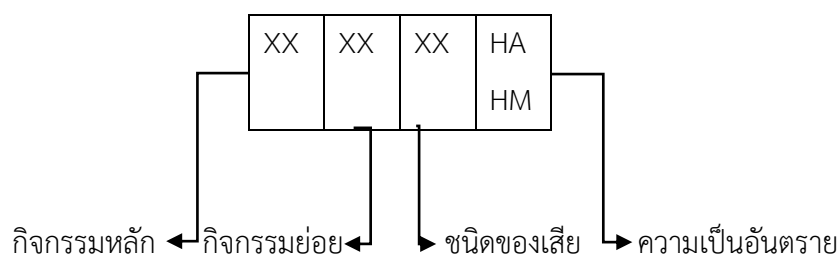
ธาตุ	ร้อยละโดยมวล		
	Pacific Steel foundry dust (New Zealand)	Masport Steel foundry dust (New Zealand)	A&G Price Steel foundry dust (New Zealand)
Cr	0.2	0.5	0.5
V	0	0	0
Cu	0.1	0	0.3
Pb	4.9	3.5	1.5
O	15.4	56	6.5
Na	4.7	2.8	2.9
Mg	0.8	0.8	15.8
Al	0.2	2.2	0.6
Si	1.2	10.9	4.8
P	0.2	0.1	0.2
S	0.8	0.5	1.6
Cl	2.2	2.7	1.6
K	1.3	0.6	1.6
Ca	1.4	0.7	9
Ti	0	0	0
Mn	1.1	1.3	10.5
Fe	14.8	9.4	34.6
Zn	49.8	8.2	7.7
Sr	0	0	0
Zr	0	0	0.1
Total	99.1	99.8	99.8

2.2.2 กฎหมายไทยที่เกี่ยวกับฝุ่นทรายแบบหล่อจากกระบวนการหล่อลูกเหล็ก

การใช้ประโยชน์ของเสียจากโรงหล่อนับว่าเป็นอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งที่ต้องได้รับการควบคุมจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องด้วยกิจกรรมการถลุงหล่อหลอมหรือผลิตเหล็กกล้าหรือเหล็กกล้าในขั้นต้นตามประเภทหรือชนิดของโรงงานลำดับที่ 59 ตามระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ.2545 และพรบ.โรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2535 ในส่วนการนำของเสียจากโรงงานกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่จากกิจกรรมโรงงานลำดับที่ 59 มาใช้ประโยชน์ใหม่นั้นสามารถถูกจัดอยู่ในประเภทที่ 106

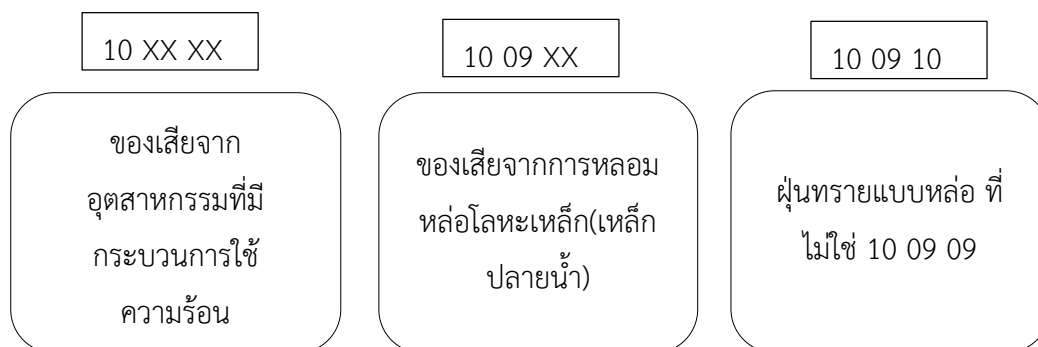
ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 มีการจำแนกของเสียอุตสาหกรรมออกเป็น 2 กลุ่มตามความเป็นอันตรายได้แก่ ของเสียอันตรายแบบ HA (Hazardous waste-Absolute entry) คือ เป็นของเสียอันตรายอย่างแน่นอน ไม่ต้องพิจารณาองค์ประกอบหรือความเข้มข้นของสารอันตรายที่เจือปน ของเสียอันตรายแบบ HM (Hazardous waste-Mirror entry) คือ เป็นของเสียที่อาจเป็นของเสียอันตราย และเปิดโอกาสให้พิสูจน์ความเป็นอันตราย หากไม่มีการทดสอบความเป็นอันตรายตามที่กำหนดในภาคผนวกที่ 2 ให้ถือว่าเป็นของเสียอันตราย และของเสียไม่อันตราย (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548) โดยนิยามคำว่า “สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว” หมายความว่า สิ่งของที่มิใช่แล้วหรือของเสียทั้งหมดที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงาน รวมถึงของเสียจากวัตถุดิบ ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ของเสียที่เป็นผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพ และน้ำทิ้งที่มีองค์ประกอบหรือมีคุณลักษณะที่เป็นอันตราย (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548)

การจำแนกสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามคู่มือการกำหนดรหัสสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2548 มีการกำหนดให้ใช้รหัสเลข 6 ตัวแทนของเสียจากกิจกรรมต่างๆ พร้อมตัวอักษรกำกับเพื่อแสดงความเป็นอันตรายของของเสียนั้นต่อท้ายรหัสเลข 6 ตัว ดังแสดงภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ระบบการจำแนกรหัสสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว
(กระทรวงอุตสาหกรรม, 2558)

สำหรับฝุ่นทรายแบบหล่อมีการกำหนดรหัสสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วเป็น 10 09 10 HM ดังนี้



ภาพที่ 2.4 รหัสสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วของฝุ่นทรายแบบหล่อ
(กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548)

จากคู่มือการกำหนดรหัสสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วพ.ศ.2548 พบว่าฝุ่นทรายแบบหล่อจากการหล่อโลหะที่นำมาศึกษาอยู่ในกลุ่ม 10 09 10 (Thunsiri, 2004) ดังแสดงดังภาพที่ 2.4 ซึ่งเป็นของเสียที่ไม่อันตรายเนื่องจากค่าการชะละลายโลหะหนักมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (Auychaiwatt, 2003)

2.2.3 ประเภทฝุ่นทรายแบบหล่อ 10 09 10

ในประเทศไทยพบว่ามีปริมาณฝุ่นทรายที่ไม่อันตราย 10 09 10 อยู่ในช่วง 803 – 30,940 ตันต่อปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551-2558 ดังแสดงในตารางที่ 2.4 ซึ่งในปัจจุบันฝุ่นทรายแบบหล่อประเภทนี้ถูกกำจัดด้วยกระบวนการฝังกลบที่หลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรม โดยมีค่าใช้จ่ายในการฝังกลบ 500 บาทต่อตัน

ตารางที่ 2.4 ปริมาณฝุ่นทรายแบบหล่อในประเทศไทย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2558)

ปี พ.ศ.	ปริมาณฝุ่นทรายแบบหล่อในไทย(ตัน)
2551	30,940.00
2552	28,670.00
2553	24,210.00
2554	13,603.05
2555	803.05
2556	2,097.00
2557	7,386.00
2558	6,229.00

2.2.4 ค่าความเป็นพิษของฝุ่นทรายแบบหล่อ

จากการทดสอบสัดส่วนของธาตุในฝุ่นทรายแบบหล่อในโรงหล่อเหล็ก พบว่ามีธาตุที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำเนื้อเหล็กหรือเหล็กกล้ามีส่วนผสมของธาตุโลหะหนัก จำเป็นต้องนำฝุ่นทรายแบบหล่อมาทดสอบค่าการชะละลายของโลหะหนัก เพื่อเป็นการลดปริมาณฝุ่นทรายแบบหล่อและต้นทุนในการกำจัดด้วยกระบวนการฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ จึงจำเป็นต้องลดปริมาณฝุ่นทรายแบบหล่อโดยการนำฝุ่นทรายแบบหล่อกลับมาใช้ใหม่ เมื่อนำฝุ่นทรายแบบหล่อมาทดสอบค่าการชะละลายของโลหะหนัก พบว่าฝุ่นทรายแบบหล่อจากกระบวนการหล่อโลหะมีปริมาณน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ตามประกาศฉบับที่ 6 ของกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2540 (Auychaiwatt, 2003) ซึ่งประกาศฉบับที่ 6 ของกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2540 ต้องทดสอบการชะละลายของโลหะในของเสียที่จากอุตสาหกรรมหล่อหลอมเหล็ก เพื่อป้องกันการรั่วไหลสู่ภายนอกสิ่งแวดล้อม (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, 2540)

จากตารางที่ 2.5 แสดงถึงค่าการชะละลายของโลหะหนักจากฝุ่นทรายแบบหล่อในปี ค.ศ. 2003 และ ค.ศ. 2004 ซึ่งเปรียบเทียบค่าการชะละลายของโลหะหนักจากมาก่อตโตและนวโลหะเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, 2540) จากการทดสอบพบว่ามีโลหะหนักที่สามารถวัดค่าได้คือ แบเรียม (Ba) และ อาร์เซนิก (As) กล่าวได้ว่าทั้งอาร์เซนิกและแบเรียมเป็นส่วนผสมสำคัญของลูกเหล็กจากการหลอมโลหะ

ตารางที่ 2.5 ผลการวิเคราะห์ค่าการชะละลายของโลหะหนักของฝุ่นทรายแบบหล่อ (Auychaiwatt, 2003) และ (Thunsiri, 2004)

โลหะหนัก	มาก่อตโต (มิลลิกรัมต่อลิตร) ^a	นวโลหะ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ^b	มาตรฐาน
As	0.053	น้อยกว่า 0.05	5
Ba	0.359	0.682	100
Cd	น้อยกว่า 0.005	น้อยกว่า 0.005	1
Cr	น้อยกว่า 0.007	น้อยกว่า 0.007	5
Pb	น้อยกว่า 0.0050	น้อยกว่า 0.0050	5
Hg	น้อยกว่า 0.0040	น้อยกว่า 0.0040	0.2
Se	น้อยกว่า 0.0090	น้อยกว่า 0.0050	1
Ag	น้อยกว่า 0.007	น้อยกว่า 0.007	5

^a = (Auychaiwatt, 2003)

^b = (Thunsiri, 2004)

2.2.5 การใช้ประโยชน์ของฝุ่นทรายแบบหล่อในปัจจุบัน

ปัจจุบันของเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมหล่อหลอมเหล็กสามารถนำของเสียไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นเพื่อก่อให้เกิดมูลค่าเช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา นำฝุ่นทรายแบบหล่อมาผลิตคอนกรีตสำเร็จรูป (self – consolidating concrete : SCC) โดยควบคุมอัตราส่วนผสมตาม ASTM C 618 Class C มีส่วนประกอบของเถ้าลอยเป็นส่วนประกอบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุทั้งหมด ฝุ่นทรายแบบหล่อผสมกับเถ้าลอยด้วยอัตราส่วน 3 อัตราคือ ร้อยละ 10, 20 และ 30 ซึ่งระหว่างทำปฏิกิริยาของฝุ่นทรายแบบหล่อกับอนุภาคสารเคมีที่ผสมกัน พบว่าที่อัตราส่วนร้อยละ 30 สีของคอนกรีตสำเร็จรูปเปลี่ยนเป็นสีเทาเข้มหรือสีดำ และคอนกรีตสำเร็จรูปยังไม่แข็งแรงตามที่ต้องการ จึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงสัดส่วนในการผสม แต่สามารถส่งจำหน่ายได้ (Kraus และคณะ, 2009)

2.2.6 การจัดการฝุ่นทรายแบบหล่อ

ของเสียจากอุตสาหกรรมหล่อโลหะเป็นของเสียที่น่าเป็นห่วงเพราะของเสียมีส่วนผสมของโลหะหลายชนิดในปริมาณที่แตกต่างกัน จึงมีวิธีการจัดการของเสียฝุ่นทรายแบบหล่อก่อนที่จะนำไปฝังกลบในวิธีที่แตกต่างกันซึ่งจำแนกได้ 2 วิธี คือ 1. การจัดการด้วยกระบวนการแยกสิ่งที่มีค่าออกมา ก่อน 2. การลดความเป็นพิษด้วยกระบวนการอัดก้อนแข็ง (Solidification) ร่วมกับการปรับเสถียร (Stabilization)

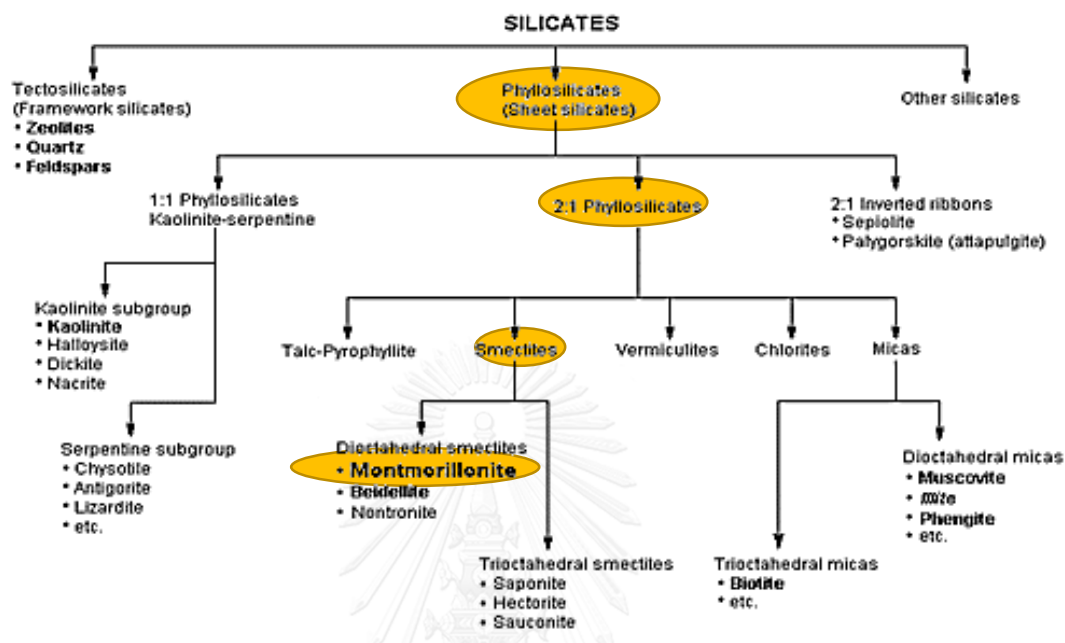
- ตัวอย่างของการจัดการด้วยกระบวนการแยกสิ่งที่มีค่าออกมาก่อน
 - ในประเทศอิตาลี นำของเสียจากอุตสาหกรรมหล่อมาแยกทรายแบบหล่อและเศษเหล็กกลับคืนมาใช้ใหม่ เนื่องจากสร้างมูลค่าทางการค้าได้ จากนั้นจึงนำไปกำจัดที่หลุมฝังกลบ เพื่อลดปริมาณของเสียฝุ่นทรายแบบหล่อที่ต้องนำไปทิ้งในหลุมฝังกลบ (Yener และคณะ, 2012)
- ตัวอย่างของการลดความเป็นพิษด้วยกระบวนการอัดก้อนแข็ง (Solidification) ร่วมกับการปรับเสถียร (Stabilization)
 - ในประเทศตุรกี แต่เดิมได้มีการจัดการของเสียอันตรายด้วยวิธีการเผาหรือกำจัดที่หลุมฝังกลบทันที แต่พบว่าส่วนประกอบของฝุ่นทรายแบบหล่อมีโลหะหนักปะปนมาด้วย เช่น สังกะสี ตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ฝุ่นทรายแบบหล่อที่ได้จากเตาไฟฟ้า EAFD (Electric arc furnace dust) มีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา LOI (loss on ignition) จึงทำให้ไม่เหมาะสมต่อการนำมากำจัดด้วยวิธีการ

เผา ในปัจจุบันจึงได้นำกระบวนการอัดก้อนแข็ง (Solidification) และการปรับเสถียร (Stabilization) มาช่วยเปลี่ยนของเสียให้มีความเป็นพิษน้อยลงก่อนนำไปฝังกลบ โดยการปรับเสถียรฝุ่นทรายแบบหล่อจะใช้ถ่านหินและเถ้าลอยเป็นตัวเชื่อมประสานหลักก่อน แล้วจึงอัดเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Salihoglu และคณะ, 2007)

- ของเสียจากอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่เป็นเหล็กกล้า จะมีของเสียจากการทำลายแบบหล่อและจากระบบกำจัดฝุ่นในถุงกรอง จึงต้องนำไปทดสอบเบื้องต้นการชะละลายโลหะหนักโดยวิธี EP Toxicity พบว่ากากของเสียอุตสาหกรรมทั้งสองนี้ไม่จัดอยู่ในกากของเสียอันตราย และมีคุณสมบัติทางเคมีเป็นวัสดุพอลิโซลวาน (Class F ASTM C 618) (พิเชษฐ์ อธิภาคย์, 2542)
- ฝุ่นทรายแบบหล่อสามารถรีไซเคิลจากกากตะกอนน้ำทิ้งที่วิเคราะห์ซีไอที พบว่าสามารถรีไซเคิลจากตะกอนที่มีปรอทได้ร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนัก โดยที่ค่าการชะละลายปรอทไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด จากนั้นนำมาผลิตก้อนแข็งโดยใช้สัดส่วนกากของเสียจากระบบกำจัดฝุ่นต่อปูนซีเมนต์ต่อน้ำที่เหมาะสมที่ 80:20:0.28 โดยน้ำหนัก ซึ่งสามารถกำลังรับแรงอัด 166 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (วราภรณ์ กิจชัยนุกูล, 2541)
- จากอุตสาหกรรมถลุงแร่สังกะสี ฝุ่นทรายแบบหล่อนำมาใช้ผสมกับปูนซีเมนต์ในการหล่อแข็งจากตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ ใช้อัตราส่วนระหว่างฝุ่นทรายแบบหล่อต่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อฝุ่นทรายแบบหล่อเท่ากับ 50:50:100 กำลังรับแรงอัดเท่ากับ 62 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (สุวิมล อัครพิศิษฐ์, 2544)
- ฝุ่นทรายดำสามารถรีไซเคิลโครเมียมออกไซด์ได้โดยใช้สัดส่วนปูนซีเมนต์ผสมกับฝุ่นทรายแบบหล่อในอัตราส่วน 20:80 จึงสามารถกำจัดโครเมียมได้สูงถึง 93.05 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด สามารถรับกำลังแรงอัดได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน (กลุ่มงานสิ่งแวดล้อมกองพิสิิกส์และวิศวกรรม, 2554)

2.3 เบนโทไนต์

2.3.1 แหล่งกำเนิด โครงสร้าง และส่วนประกอบของเบนโทไนต์



ภาพที่ 2.5 แร่กลุ่มซิลิเกต

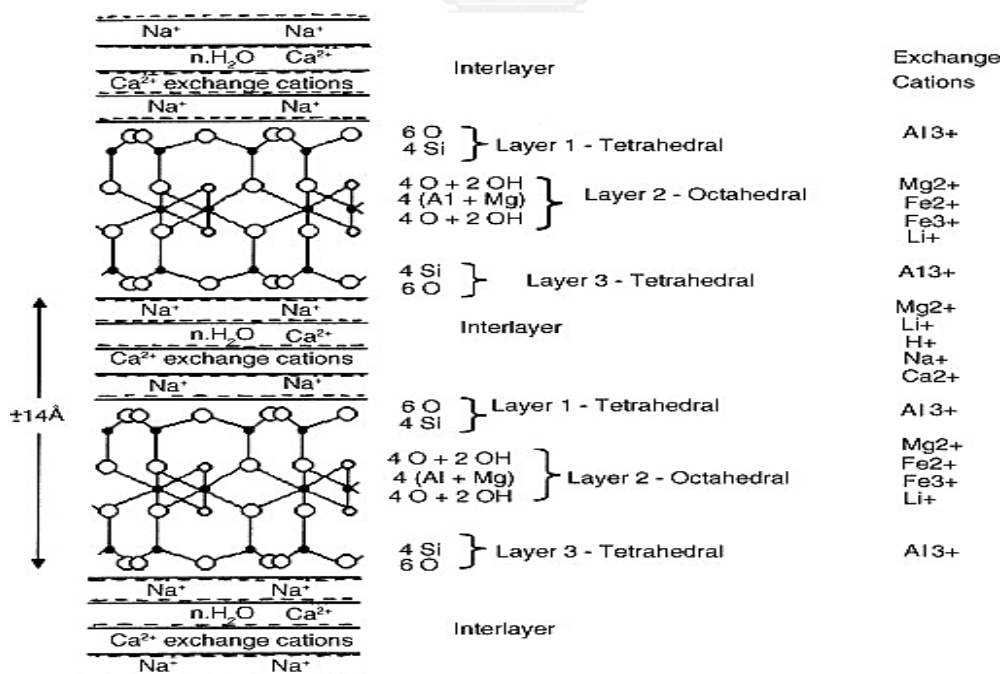
(นิวัติ อนงศรีรักษ์, 2554)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เบนโทไนต์เป็นแร่ดินเหนียวที่พบในตะกอนและการสลายตัวของแร่ภูเขาไฟ จากภาพที่ 2.5 เบนโทไนต์จัดอยู่ในแร่กลุ่มซิลิเกต (Silicate mineral group) แบบแผ่น (2:1 Phyllosilicates) อยู่ในกลุ่มย่อยลงมาคือ กลุ่มสมกไทล์ (Smectite group) มีองค์ประกอบหลักคือ แร่มอนต์โมริลโลไนต์ (Montmorillonite) (Ram และ Lal, 2010) อยู่ในช่วงร้อยละ 56.5 – 91.2 โดยน้ำหนัก แร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar) อยู่ในช่วงร้อยละ 6.2 – 25.9 โดยน้ำหนัก แร่ควอตซ์ (Quartz) อยู่ในช่วง 0.8 – 42.6 ร้อยละโดยน้ำหนัก แร่คริสโตบาลิต (cristobalite) อยู่ในช่วงร้อยละ 1.4 – 5.7 โดยน้ำหนัก แร่แคลไซต์ (calcite) อยู่ในช่วงร้อยละ 1.9 – 7.1 โดยน้ำหนัก แร่ซิลิกา (Silica) อยู่ในช่วงร้อยละ 5.7 – 9.6 โดยน้ำหนัก และแร่ยิปซัม (Gypsum) อยู่ในช่วงร้อยละ 0.8 – 3.5 โดยน้ำหนัก (Gomez-Espina และ Villar, 2010) แร่นี้ถูกค้นพบในฝรั่งเศสโดย Damour และ Salvetat ในปี ค.ศ. 1847 แบบตาราง (Ittipon, 2011)

ส่วนประกอบหลักของเบนโทไนต์คือ แร่มอนต์โมริลโลไนต์ มีสูตรโมเลกุล คือ $M + [Al_2y (Mg Fe)y] Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$ โดยที่ + M หมายถึงประจุบวกที่มาทำการแลกเปลี่ยนประจุกัน อาจเป็นได้ทั้ง แคลเซียม หรือ โซเดียม แร่มอนต์โมริลโลไนต์เป็นแร่ดินที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินอัคนีเนื้อแก้ว หินทัฟฟ์หรือเถ้าภูเขาไฟ ซึ่งแบ่งการกำเนิดออกเป็น 4 ชนิดดังนี้ 1. เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของเถ้าภูเขาไฟ หรือทัฟฟ์แบบอยู่กับที่ 2. เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินอัคนีด้วยน้ำร้อน 3. เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของมวลหินอัคนีในทันทีทันใดโดยก๊าซและไอน้ำร้อนที่มีอยู่ในมวลหินอัคนีนั้น และ 4. การเกิดแบบอื่น ๆ ที่ไม่สามารถระบุการเกิดที่แน่ชัดได้ (นุชิต ศิริทองคำ, 2555)

โครงสร้างของแร่มอนต์โมริลโลไนต์มีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบ (2:1 Phyllosilicates) หมายถึง ประกอบด้วยชั้นเตตระฮีดรอล (Tetrahedral) 2 ชั้นและชั้นออกทระฮีดรอล 1 ชั้น (Octahedral) ซึ่งชั้นออกทระฮีดรอลอยู่ตรงกลางชั้นเตตระฮีดรอล ดังแสดงภาพที่ 2.6 ภายในชั้นเตตระฮีดรอลจะประกอบด้วยธาตุซิลิกา (Si) และ ออกซิเจน (O) ภายในชั้นออกทระฮีดรอลประกอบด้วย ธาตุออกซิเจน (O), อะลูมิเนียม (Al), แมกนีเซียม (Mg) และหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ส่วนชั้นอินเทอร์เลเยอร์ (Interlayer) คือ ช่องว่างที่แทรกอยู่ระหว่างกลางชั้นเตตระฮีดรอลกับชั้นเตตระฮีดรอล ซึ่งประกอบด้วยธาตุที่มีประจุบวก คือ โซเดียม (Na), แคลเซียม (Ca) และมีโมเลกุลของน้ำ (H_2O) (Zybankowska-Kumon, 2012)



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของแร่มอนต์โมริลโลไนต์ (Montmorillonite)

(Tyagi และคณะ, 2006)

จากตารางที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบออกไซด์ของเบนโทไนต์ ตัวอย่างเบนโทไนต์จาก WesternUnited States พบว่ามีส่วนประกอบออกไซด์คือ แร่มอนต์โมริลโลไนต์ ($M + [Al_2y (Mg Fe)y] Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$) มากที่สุด รองลงมาคือ ซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) และอะลูมินัมออกไซด์ (Al_2O_3) ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างจาก China พบว่ามีส่วนประกอบออกไซด์คือ ซิลิกอนออกไซด์มากที่สุด รองลงมาคือ อะลูมินัมออกไซด์

ตารางที่ 2.6 ส่วนประกอบออกไซด์ของเบนโทไนต์ (Kawatra และ Ripke, 2001) และ (Hong และคณะ,2009)

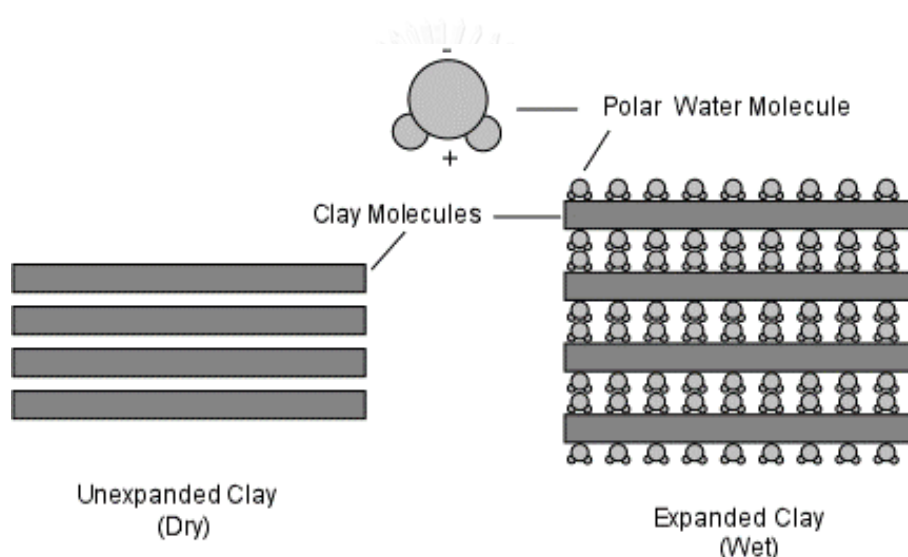
สูตรเคมี	ร้อยละโดยมวล	
	WesternUnited States(ASTM E946,1996) ^a	Henan ,China ^b
SiO ₂	34.62	77.0
Al ₂ O ₃	23.16	15.7
Fe ₂ O ₃	5.49	1.98
CaO	9.63	1.81
MgO	2.11	2.63
SO ₃	5.93	0.0436
Na ₂ O	1.06	0.192
K ₂ O	0.39	0.378
TiO ₂	1.25	0.123
P ₂ O ₅	2.20	ไม่มี
MnO ₂	0.01	ไม่มี
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	63.27	ไม่มี
SrO	0.39	0.0146
BaO	0.53	0.0257
MnO	ไม่มี	0.0626
Cl	ไม่มี	0.0369
ZrO ₂	ไม่มี	0.0169
Loss On Ignition (LOI)	13.24	ไม่มี

^a = (Kawatra และ Ripke, 2001)

^b = (Hong และคณะ, 2009)

2.3.2 สมบัติของเบนโทไนต์

เบนโทไนต์มีสมบัติในการเกาะเชื่อมประสานกับอนุภาคอื่นได้เมื่อมีการขยายตัว (Swelling) ดังแสดงตามภาพที่ 2.7 โดยเมื่อโมเลกุลน้ำสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างอินเทอร์เลเยอร์ที่อยู่ระหว่างแผ่นเตตระฮีดรอล (Tetrahedral sheet) กับแผ่นเตตระฮีดรอลภายในโครงสร้างของแร่มอนต์โมริลโลไนต์ที่เป็นส่วนประกอบหลักของเบนโทไนต์ จึงทำให้เบนโทไนต์เกิดการพองตัวหรือขยายตัว ส่วนการหดตัว (Shrinking) เกิดขึ้นเมื่อเบนโทไนต์ที่เกิดการขยายตัวแล้วมีการสูญเสียน้ำภายในช่องว่างอินเทอร์เลเยอร์ออกสู่ภายนอกโครงสร้าง ทำให้ช่องว่างยุบตัว เบนโทไนต์จึงเกิดการหดตัว ส่งผลให้เบนโทไนต์แยกออกจากอนุภาคที่เกาะเชื่อมประสาน (Holzer และคณะ, 2010)

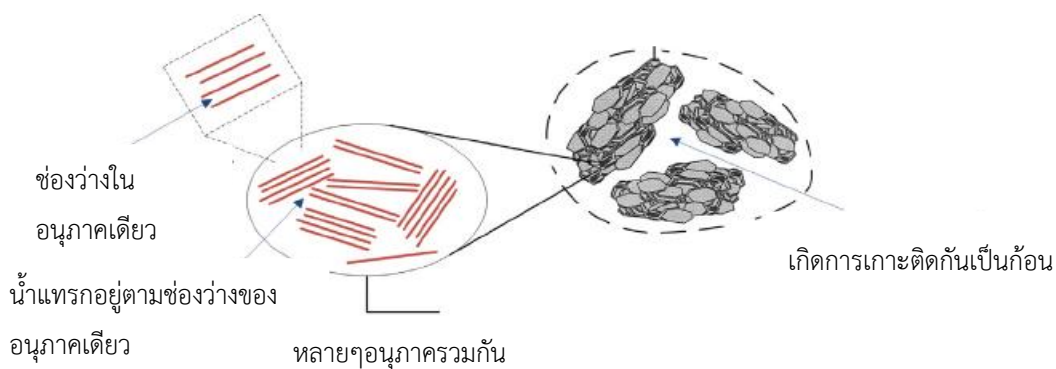


CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 2.7 การขยายตัว (Swelling) และการหดตัว (Shrinking) ของเบนโทไนต์
(นิวัติ อนงค์รักษ์, 2554)

เบนโทไนต์สามารถเป็นวัสดุเชื่อมประสาน (binder) ในการสร้างแบบหล่อทรายของอุตสาหกรรมหล่อลอมเหล็ก เนื่องจากเบนโทไนต์สามารถขยายตัวและทำหน้าที่เชื่อมประสานเกาะติดกับอนุภาคอื่นได้ดังภาพที่ 2.8 คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของเบนโทไนต์ซึ่งมีแร่มอนต์โมริลโลไนต์เป็นส่วนประกอบหลัก (Zybankowska-Kumon, 2012) คือ ทำให้เบนโทไนต์สามารถทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิสูงถึง 1,500 องศาเซลเซียส แบบหล่อทรายที่สร้างจากการใช้ทรายร่วมกับเบนโทไนต์จะมีความแข็งแรง นอกจากนี้เบนโทไนต์ยังสามารถประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ อีก อาทิเช่น การ

ทำโคลนเจาะต่างๆ อุตสาหกรรมเซรามิก ใช้ผสมดินหรือคอนกรีตในการก่อสร้างเขื่อนหรือคลองเพื่อป้องกันการรั่วซึม เป็นต้น (ัญลักษณ์ แสงบูรณ, 2554)



ภาพที่ 2.8 ลักษณะการเกาะติดกันของเบนโทไนต์

(Liu, 2013)

ไอออนบวกในเบนโทไนต์สามารถถูกแทนที่ได้เช่น การแทนที่ของ Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} หรือ H^+ ใน Si^{4+} และ Al^{3+} ในสภาวะธรรมชาติแร่มอนต์โมริลโลไนต์จะมีประจุลบ ที่มีกลุ่มไอออนบวกล้อมรอบอยู่ ไอออนบวกจะถูกยึดติดอยู่ที่ผิวของแร่มอนต์โมริลโลไนต์ เพื่อให้ประจุทั้งหมดเป็นกลางต้องมีประจุบวก (Cation) แทนที่ได้เรียกว่า การแลกเปลี่ยนประจุบวก (Exchangeable cation) ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างเช่น Al^{3+} ไปแทนที่ Si^{4+} ในชั้นเตตระฮีดรอล และ Mg^{2+} หรือ Fe^{2+} เข้าแทนที่ Al^{3+} ในชั้นออกเตตราฮีดรอล (ัญลักษณ์ แสงบูรณ, 2554) สมบัติการแลกเปลี่ยนประจุบวกของเบนโทไนต์ ทำให้เบนโทไนต์สามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้ เพื่อบอกว่าอนุภาคเบนโทไนต์สามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้มากน้อยเพียงใด (Methylene Blue Index) (สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2019) เมื่อเบนโทไนต์สามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้ปริมาณมากส่งผลให้ค่าร้อยละแอกทีฟเบนโทไนต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคของเบนโทไนต์มีหมู่ไฮดรอกไซด์ล้อมรอบ และอยู่ในสภาพพีเอชที่เหมาะสมเกิดการดูดซับเมทิลีนบลูได้ดี สิ่งสำคัญของการทดสอบการดูดซับเมทิลีนบลูคือระยะเวลาการดูดซับเมทิลีนบลูของชั้นอินเทอร์เลเยอร์อยู่ที่ประมาณ 25 นาที (Randelović และคณะ, 2014)

2.3.3 ชนิดของเบนโทไนต์

ชนิดของเบนโทไนต์สามารถแบ่งตามส่วนประกอบที่มีธาตุโซเดียมและแคลเซียมได้ 2 กลุ่ม (รัญลักษณ์ แสงบูรณ, 2554) คือ

- โซเดียมเบนโทไนต์ (Sodium – Bentonite) ลักษณะสีเทาคล้ายปูนซีเมนต์ มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ถึง 5 – 20 เท่าจากปริมาตรเดิม เพราะผลึกของโซเดียมเบนโทไนต์มีขนาดเล็กมากกระจายอยู่ในน้ำ ทำให้น้ำโคลนมีลักษณะกึ่งแข็งและกึ่งเหลวคล้ายวุ้น เหมาะสำหรับเป็นน้ำโคลนไหลวนใช้ในการเจาะหรือเรียกว่าโคลนเจาะ (drilling mud)
- แคลเซียมเบนโทไนต์ (Calcium – Bentonite) ลักษณะสีค่อนข้างขาว มีความสามารถในการดูดซับน้ำและการพองขยายตัวได้น้อยกว่าโซเดียมเบนโทไนต์ แต่ก็สามารถนำมาทำโคลนเจาะหลุมตื้นๆ ส่วนใหญ่จะใช้ทำสารดูดซึมหรือฟอกสีในเครื่องกรองน้ำมันในโรงกลั่น เป็นสารดีเทอร์เจนต์ในการดูดซับน้ำมันจากพีชและสัตว์

ชนิดของเบนโทไนต์สามารถแบ่งตามสมบัติการเชื่อมประสานได้ 2 กลุ่ม (สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2019)

- แอคทีฟเบนโทไนต์คือ เบนโทไนต์ที่สามารถดูดซับน้ำได้ภายในชั้นอินเทอร์เลเยอร์แล้วสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างเม็ดทรายได้ด้วยการเกาะติดกับผิวเม็ดหรือฝุ่นทรายทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างเม็ดทราย ยังส่งผลให้ทรายแบบมีความแข็งแรง ทั้งนี้การเชื่อมประสานจะเกิดจากความสามารถในการพองตัวของเบนโทไนต์
- เดทเบนโทไนต์คือ เบนโทไนต์ที่ไม่สามารถดูดซับน้ำได้ หมดสภาพของการเป็นตัวเชื่อมประสานและสามารถหลุดร่วงออกจากผิวฝุ่นทรายได้ ซึ่งหากมีอยู่ในปริมาณที่สูงความแข็งแรงของทรายแบบจะต่ำ

2.3.4 กลไกการเปลี่ยนสภาพจากแอคทีฟเบนโทไนต์เป็นเดทเบนโทไนต์

การเปลี่ยนสภาพจากแอคทีฟเบนโทไนต์เป็นเดทเบนโทไนต์เกิดจากการเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งกลไกที่เกิดขึ้นมีดังนี้ คือ

1. กลไกการดึงโมเลกุลของน้ำออกจากโมเลกุลเบนโทไนต์ (dehydration)
2. กลไกการทำลายหมู่ไฮดรอกซิลออกจากโมเลกุลเบนโทไนต์ (dehydroxylation)
3. กลไกการสลายโครงสร้างแบบผลึกเป็นรูปร่างไม่แน่นอน (decomposition)
4. กลไกการสร้างผลึกขึ้นใหม่ (recrystallization)

ค่าอุณหภูมิต่างๆทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงรูปร่างดังกล่าวทั้ง 4 ขั้นตอน ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณและองค์ประกอบทางเคมีของแรมอนด์โมริลโลไนต์ (Zybankowska-Kumon และคณะ, 2011) เช่น เมื่อเบนโทไนต์สัมผัสกับความร้อนที่สูงกว่า 350 องศาเซลเซียส จะทำให้สูญเสียน้ำในโครงสร้างและไม่สามารถเชื่อมประสานกับเม็ดทรายได้เปลี่ยนสภาพเป็นเดทเบนโทไนต์ (Zanetti และ Fiore, 2003)

ในการสร้างแบบหล่อทรายแต่ละครั้ง เบนโทไนต์ชนิดแอคทีฟเบนโทไนต์เป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญในการเชื่อมประสานเม็ดทรายให้ขึ้นรูปเป็นแบบหล่อทราย จากตารางที่ 2.7 บอกถึง ร้อยละแอคทีฟเบนโทไนต์ในฝุ่นทรายแบบหล่อของแต่ละกระบวนการผลิตในโรงหล่อเหล็ก Teksid ประเทศอิตาลี (Fiore และ Zenetti, 2007)

ตารางที่ 2.7 ปริมาณแอคทีฟเบนโทไนต์ในโรงหล่อเหล็ก (Fiore และ Zenetti, 2007)

ตัวอย่าง	ร้อยละ Active Bentonite ในฝุ่นทรายแบบหล่อ
MS2	42.1
FPM	6.1
MD1	4.0
MD2	36.3
FP	29.4
NIF	37.9

คำอธิบายตาราง

MS2 = ตัวอย่างทรายที่ใช้ทำแบบหล่อ

FPM = ตัวอย่างฝุ่นจากถุงกรองและแท่นพิมพ์ของโรงหล่อ 1

MD1 = ตัวอย่างฝุ่นทรายแบบหล่อของโรงหล่อ 1

MD2 = ตัวอย่างฝุ่นทรายแบบหล่อของโรงหล่อ 2

FP = ตัวอย่างฝุ่นทรายโรงผลิตวัสดุสำหรับลาดถนน

NIF = ตัวอย่างอนุภาคละเอียดที่ไม่เสถียรจากการทำแบบหล่อ

2.4 กระบวนการแยกทางกายภาพ

2.4.1 กระบวนการแยกด้วยตะแกรง

การร่อนคือ การแยกของผสมของอนุภาคของแข็งที่มีลักษณะเป็นเม็ดๆ หรือผง ซึ่งมีขนาดอนุภาคแตกต่างกันโดยใช้ตะแกรงร่อนแยก แต่ละอนุภาคที่แยกได้จะมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน เพราะการแยกด้วยตะแกรงเป็นการแบ่งประเภทขนาดอนุภาค โดยการใช้ขนาดของรูเปิดตะแกรงที่มีขนาดช่องว่างแตกต่างกัน ซึ่งของแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดรูเปิดตะแกรง (oversize) จะค้างอยู่บนรูตะแกรง ส่วนของแข็งที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดรูเปิดตะแกรง (undersize) จะลอดผ่านช่องตะแกรงได้ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2554)

โดยปัจจุบันพบว่ามาตรฐานตะแกรงที่นิยมใช้แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ 1. มาตรฐานตะแกรงแบบอังกฤษ (British standard) ผลิตตามมาตรฐาน ISO: 3310-1/BS410-1 2. มาตรฐานตะแกรงแบบไทเลอร์ (Tyler standard) ผลิตตามมาตรฐาน BS: 410-1 เป็นตะแกรงซึ่งมีตาเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส เช่นเดียวกับตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน แต่มีขนาดแตกต่างกันเล็กน้อย 3. มาตรฐานตะแกรงแบบอเมริกัน (American Society for Testing Materials : ASTM-E 11) เป็นตะแกรงซึ่งมีตาเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส เหมาะใช้เป็นตะแกรงคัดขนาดทราย (วริญญา ใจใส, 2556)

เมชัมเบอร์ (mesh number) หมายถึง จำนวนช่องเปิดต่อพื้นที่ของตะแกรง เป็นค่าที่ใช้วัดขนาดอนุภาคของผงที่ลอดผ่านรูบนตะแกรง ขนาดเมชัมเบอร์ของตะแกรงได้แก่เบอร์ 4, 8, 16, 30, 50 และ 100 เป็นต้น ตัวเลขเมชัมเบอร์บอกถึงจำนวนรูต่อพื้นที่ตะแกรง 1 นิ้ว เช่น ขนาดตะแกรงเบอร์ 30 หมายความว่าความยาวตะแกรง 1 นิ้ว แบ่งออกเป็น 30 ช่อง ดังนั้นใน 1 ตารางนิ้วจะมีจำนวนช่องทั้งสิ้น 900 ช่อง ถ้าขนาดเมชัมเบอร์สูงขนาดรูก็จะมีความเล็กลง แต่ถ้าขนาดเมชัมเบอร์น้อยขนาดรูก็จะมีความใหญ่ขึ้น ปกติขนาดเมชเบอร์เดียวกันของตะแกรงมาตรฐานแต่ละแบบ อาจจะมีขนาดของช่อง (aperture size) ไม่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น ตะแกรงขนาดเมชัมเบอร์ 100 แบบไทเลอร์มีขนาดช่อง 0.147 มิลลิเมตร แบบอังกฤษมีขนาดช่อง 0.152 มิลลิเมตร และแบบอเมริกันมีขนาดช่อง 0.149 มิลลิเมตร ดังนั้นมาตรฐานตะแกรงทุกแบบต้องแสดงรายละเอียดของขนาดเมชและขนาดช่องในแผ่นป้ายด้านข้างตะแกรง

การขึ้นรูปตะแกรงเริ่มจากการประกอบโครงรอบตะแกรงกับส่วนฐานล่างรอบตะแกรง มีลักษณะวางซ้อนเหลื่อมกันระหว่างแผ่นตะแกรงลดसान เพื่อป้องกันไม่ให้แผ่นตะแกรงลดसानหลุด

ออกจากโครงตะแกรง วัสดุที่นำมาทำตะแกรงมักทำจากทองเหลือง และสแตนเลส ส่วนการออกแบบภายในตะแกรงร้อนทุกอันจำเป็นต้องทำแถบลาดเท (Fillet) ป้องกันโดยรอบเส้นลวดตาข่ายกับโครงตะแกรง เพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุไปกระแทกกับโครงรอบตะแกรง และป้องกันไม่ให้วัสดุที่มีขนาดเล็กกว่ารูเปิดตะแกรงเข้าไปอุดตันตามซอกกรอบตะแกรงร้อน เพื่อให้ง่ายต่อการทำความสะอาด (เบน นา เจริญ, 2554)

2.4.2 กระบวนการแยกด้วยความร้อน

น้ำอิสระ (free water) คือ น้ำที่อยู่รอบนอกอนุภาคเบนโทไนด์สามารถระเหยได้ง่าย เพื่อลดแรงเชื่อมประสานของแอกทิฟเบนโทไนด์จากผิวของฝุ่นทรายแบบหล่อ จึงจำเป็นต้องดึงน้ำอิสระออกไป โดยการดึงน้ำอิสระออกจากเบนโทไนด์ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 การระเหยน้ำอิสระออกจากผิวหน้าของเบนโทไนด์ด้วยอัตราคงที่ ขั้นตอนที่ 2 คือ ช่วงที่ผิวหน้าของเบนโทไนด์เริ่มแห้งอย่างสมบูรณ์ความชื้นคงที่ การใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมในการนำน้ำอิสระออกไปควรจะเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของน้ำ

ปัจจัยที่มีผลต่อการดึงน้ำอิสระภายนอกประกอบด้วย 5 ปัจจัย ดังนี้ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2553)

1. อุณหภูมิ มีบทบาทมากต่อการทำแห้ง โดยมีผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนในเบนโทไนด์ปกติเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ระยะเวลาการระเหยน้ำอิสระจะลดลง แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกิน อาจเกิดการสูญเสียน้ำหนักและทำลายโครงสร้างของเบนโทไนด์ แต่ที่อุณหภูมิต่ำของเหลวจะระเหยได้ช้าลง
2. พื้นที่ผิวของวัสดุ วัสดุที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากจะระเหยได้มาก แต่วัสดุที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อยจะระเหยได้น้อย
3. ความดันบรรยากาศ ที่ความดันบรรยากาศสูง น้ำจะระเหยได้ยากกว่าที่ความดันบรรยากาศต่ำ
4. การถ่ายเทอากาศเหนือวัสดุ ต้องมีการถ่ายเทอากาศหรือมีลมพัดตลอดเวลา จะสามารถป้องกันการอิมตัวของไอน้ำแล้วน้ำจะระเหยได้มากกว่าบริเวณที่ไม่มีอากาศถ่ายเทหรือไม่มีลมพัดตลอดเวลา น้ำจะระเหยได้น้อย

2.4.3 กระบวนการแยกด้วยการขัดสี

การขัดสี (Attrition) อันเนื่องมาจากถูกขูดขีด เกิดขึ้นเมื่อมีวัสดุสองชิ้นถูกัน หรือวัสดุที่ผิวแข็งมากกว่าถูไปบนวัสดุที่ผิวอ่อนกว่า ทำให้วัสดุที่ผิวอ่อนกว่าหลุดออกมาเนื่องจากความแข็งแรงของผิวที่น้อยกว่า (อาจหาญ ณ นรงค์, 2552) โดยสภาวะที่เหมาะสมของกลไกการขัดสีที่สำคัญประกอบด้วย 2 กลไกคือ 1. กลไกการทำให้แตกจากผิวหน้าเกิดขึ้นเมื่อมีอนุภาค 2 ขนาดเกาะติดกัน

เม็ดยี่ลละเอียดยกว่าจะเคลื่อนที่ออกจากผิวหน้าของเม็ดยี่ที่มีขนาดใหญ่มากกว่า ในระหว่างที่เม็ดยี่ลละเอียดยแตกออกก็จะกระจายอยู่รอบๆ เม็ดยี่ที่มีขนาดใหญ่มากกว่า และ 2. กลไกการแตกออกมา คือ การที่เม็ดยี่ทรายเม็ดยี่ใหญ่ 1 เม็ดยี่แตกออกเป็นเม็ดยี่ทรายเม็ดยี่เล็กๆ หลายเม็ดยี่ (Briens, 2009) ซึ่งกระบวนการแยกด้วยการขัดสีเป็นแนวทางให้เบนโทไนต์ที่เกาะอยู่ผิวหน้าของฝุ่นทรายแบบหล่อแตกและหลุดออกจากผิวหน้าฝุ่นทรายแบบหล่อ โดยใช้เครื่องมือพื้นฐานในการสร้างแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดจากการหมุนรอบจุดหมุน (center of rotation) ด้วยความเร็วรอบที่สูง โดยมีหลักการของการเหวี่ยงของที่ผสมกันให้ปะทะชนกันกับขอบภาชนะ แล้วทำให้อนุภาคเล็กที่เกาะภายนอกหลุดแยกออกจากอนุภาคขนาดใหญ่ได้

2.5 การนำกลับคืนมาใช้ใหม่

กระบวนการแยกแบบสองทาง (Binary Separation) ประกอบด้วย การแยกของหนึ่งอย่างที่ต้องการโดยใช้ช่องทางหนึ่งและส่วนที่ไม่ต้องการโดยใช้อีกช่องทางหนึ่งออกจากของผสม เพื่อการนำกลับคืนมาใช้ใหม่ (John Pichtel, 2014) ในงานวิจัยนี้จึงใช้กระบวนการแยกแบบสองทางในการแยกแอกทีฟเบนโทไนต์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ เพื่อนำกลับคืนมาใช้ใหม่อีกครั้ง แสดงดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 แผนผังการแยกแบบสองทาง Binary Separation

(John Pichtel, 2014)

จากภาพที่ 2.9 มีของผสม $X_0 + Y_0$ ต้องการแยกวัสดุที่ต้องการด้วยกระบวนการแยกแบบสองทาง (Binary Separation) ซึ่งในทางออกที่ 1 จะมีการไหลออกของส่วนที่ต้องการ (X) โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้หรือการสกัดของที่ต้องการอาจจะถูกแยกได้ไม่สมบูรณ์เช่นมี Y ปนมาด้วย ส่วนทางออกที่ 2 จะมีการไหลออกของส่วนที่ไม่ต้องการ (Y) เป็นส่วนใหญ่ และประกอบด้วยส่วนที่ต้องการ (X) เป็นส่วนน้อย ซึ่งความบริสุทธิ์ของสิ่งที่ต้องการและการนำกลับคืนมาใช้ใหม่ของส่วนที่ต้องการสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$P(X_1) = (X_1 / (X_1 + Y_1)) \times 100 \quad \text{สมการที่ 1}$$

$$R(X_1) = (X_1 / X_0) \times 100 \quad \text{สมการที่ 2}$$

โดยที่	$P(x)$	= ร้อยละความบริสุทธิ์ของส่วนที่ต้องการ
	$R(x)$	= ร้อยละการนำกลับคืนมาใช้ของส่วนที่ต้องการ
	X_0	= น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)
	X_1	= น้ำหนักของส่วนที่ต้องการที่ผ่านการแยกแล้ว (กรัม)
	Y_1	= น้ำหนักของส่วนที่ไม่ต้องการที่ผ่านการแยกแล้ว (กรัม)

2.6 การทดสอบสมมติฐานและการวิเคราะห์ความถดถอย

2.6.1 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) เป็นส่วนหนึ่งของสถิติเชิงอนุมาน (Statistical Inference) ซึ่งเป็นการทดสอบเกี่ยวกับตัวแปรตาม ในการทดสอบสมมติฐานโดยใช้ข้อมูลจากตัวอย่าง เพื่อสรุปว่าสมมติฐานหรือสิ่งที่คาดไว้จริงหรือไม่ นั่น สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ การตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบ ทั้งนี้ความหมายหรือนิยามของคำศัพท์ต่างๆ ในการทดสอบสมมติฐาน มีดังต่อไปนี้ (ธีระพงษ์ ภาระการดี, 2555)

- สมมติฐานคือ ความเชื่อหรือคำกล่าวอ้างอิงยืนยันเกี่ยวกับลักษณะของประชากร ซึ่งอาจมีเพียงประชากรเดียวหรือหลายประชากรก็ได้
- สมมติฐานที่จะทดสอบเรียกว่า สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) เขียนแทนด้วย H_0 สมมติฐานที่แย้งกับสมมติฐานหลัก และนำมาพิจารณาในการทดสอบด้วยเรียกว่า สมมติฐานแย้ง หรือสมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis) ซึ่งแทนด้วย H_1
- บริเวณยอมรับ (Acceptance region) คือบริเวณที่พิจารณาการยอมรับ H_0 ส่วน บริเวณปฏิเสธ (Rejection region) หรือบริเวณวิกฤต (Critical region) คือบริเวณที่ทำให้เกิดการปฏิเสธ H_0
- 4. ผลการตัดสินใจจากการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากสมมติฐานที่จะทดสอบ (H_0) เป็นความเชื่อ หรือคำยืนยันเกี่ยวกับลักษณะของ ประชากรซึ่งยังไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นจริงหรือเท็จ จนกว่าจะทำการพิสูจน์โดยเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมด มาวิเคราะห์ตามปัจจัยที่สนใจ

ซึ่งบางครั้งการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดจากประชากรเป็นสิ่งที่ทำได้ยากเพราะต้องเสียค่าใช้จ่าย และเวลามาก จึงทำได้เพียงการสำรวจจากตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบเท่านั้นเอง ดังนั้นผลการตัดสินใจจากการทดสอบ สมมติฐานใดๆ สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ผลการตัดสินใจจากการทดสอบสมมติฐาน

การตัดสินใจ	ข้อเท็จจริง	
	H_0 เป็นจริง	H_0 เป็นเท็จ
ปฏิเสธ H_0	ความผิดพลาดประเภทที่ 1	ตัดสินใจถูก
ยอมรับ H_0	ตัดสินใจถูก	ความผิดพลาดประเภทที่ 2

ผลการทดสอบไม่ว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลัก ย่อมอาจมีความผิดพลาด เกิดขึ้นได้ 2 กรณีเสมอ คือ

- 1) การปฏิเสธ H_0 เมื่อ H_0 เป็นจริง เรียกว่า ความผิดพลาดประเภทที่ 1
 - 2) การยอมรับ H_0 เมื่อ H_0 เป็นเท็จ เรียกว่า ความผิดพลาดประเภทที่ 2
- ขนาดของความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Size of a type I error) คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 เขียนแทนด้วย α เราเรียกว่า ระดับนัยสำคัญ (Level of significant) และขนาดของความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Size of a type II error) คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 2 ในการทดสอบสมมติฐานผู้ทดสอบต้องพยายามควบคุมความผิดพลาดทั้งสองประเภทให้มีโอกาสเกิดขึ้นน้อยที่สุดแต่ขนาดของความผิดพลาดสองประเภทยี่สวนทางกัน กล่าวคือ ถ้า α มีค่ามากแล้ว β จะมีค่าน้อย การควบคุมความผิดพลาดทั้งสองประเภทนี้สามารถลดลงได้ถ้าเพิ่มขนาดตัวอย่างให้มากขึ้น

ประเภทของการทดสอบสมมติฐาน

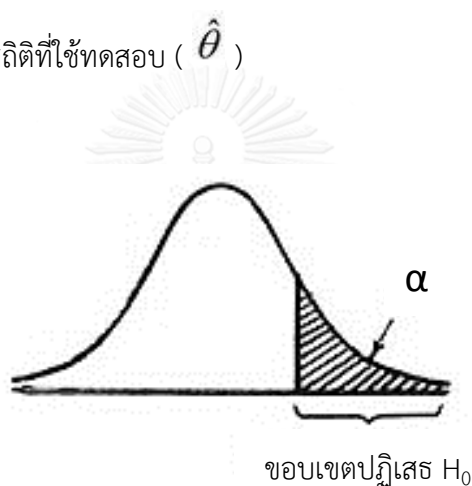
ในการทดสอบสมมติฐานใดๆ เราจะยอมรับว่าสมมติฐานหลักเป็นจริงก่อน จึงทำการสุ่มตัวอย่างและคำนวณค่าสถิติที่ได้จากตัวอย่างที่สุ่ม ถ้าค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบนั้นแตกต่างจากพารามิเตอร์ที่กำหนดใน H_0 มากเพียงพอที่จะปฏิเสธ H_0 เราจึงจะปฏิเสธ H_0 หรือกล่าวว่าเป็นแตกต่าง

อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาความแตกต่างดังกล่าว จะพบว่ามี 2 แบบคือ (ธีระพงษ์ กระจ่างการดี, 2555)

- การทดสอบแบบทางเดียว (One Tailed Test) ให้ θ เป็นพารามิเตอร์ ที่ต้องการทดสอบ และให้ θ_0 เป็นค่าคงที่ที่ต้องการทดสอบหรือเป็นค่าพารามิเตอร์ที่คาดหวังไว้ สมมติฐานที่จะทดสอบอยู่ในลักษณะ

$$1. H_0: \theta = \theta_0 \quad ; \quad H_1: \theta > \theta_0$$

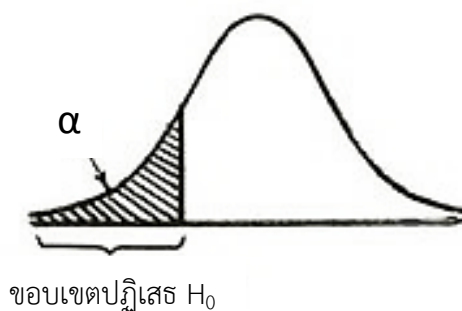
เมื่อยอมรับว่า H_0 เป็นจริงก่อนบริเวณปฏิเสธ H_0 จะอยู่ปลายหางทางขวา ดังภาพที่ 2.10 ของการแจกแจงของตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ ($\hat{\theta}$)



ภาพที่ 2.10 บริเวณวิกฤตของการทดสอบจะอยู่ด้านขวาและมีค่าเป็นบวก (ธีระพงษ์ กระจ่างการดี, 2555)

$$2. H_0: \theta = \theta_0 \quad ; \quad H_1: \theta < \theta_0$$

เมื่อยอมรับว่า H_0 เป็นจริงก่อน บริเวณปฏิเสธ H_0 จะอยู่ปลายหางด้านซ้าย ดังภาพที่ 2.11 ของการแจกแจงของตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ ($\hat{\theta}$)

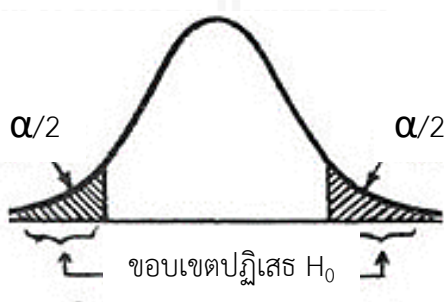


ภาพที่ 2.11 บริเวณวิกฤตของการทดสอบจะอยู่ด้านซ้ายและมีค่าเป็นลบ
(ธีระพงษ์ ภาระการดี, 2555)

- การทดสอบแบบทางสองทาง (Two Tailed Test) กำหนดให้ θ เป็นพารามิเตอร์ที่ต้องการจะทดสอบสมมติฐาน และให้ $\theta < \theta_0$ เป็นค่าคงที่ที่ต้องการทดสอบหรือเป็นค่าพารามิเตอร์ที่คาดหวังไว้ ที่จะทดสอบจะอยู่ในลักษณะ

$$H_0: \theta = \theta_0 \quad ; \quad H_1: \theta \neq \theta_0$$

เมื่อยอมรับว่า H_0 เป็นจริงก่อน บริเวณปฏิเสธ H_0 จะอยู่ปลายทางทั้งสองข้าง ดังภาพที่ 2.12 ของการแจกแจงของตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ ($\hat{\theta}$)



ภาพที่ 2.12 บริเวณวิกฤตของการทดสอบจะอยู่ด้านซ้ายและขวามีค่าเป็นได้ทั้งบวกและลบ
(ธีระพงษ์ ภาระการดี, 2555)

ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานทางสถิติมีดังนี้

1. ตั้งสมมติฐานหลัก (H_0) และสมมติฐานรอง (H_1) ให้มีความหมายตรงข้ามกันเสมอ
2. กำหนดสถิติทดสอบ
3. คำนวณค่าสถิติที่ใช้ทดสอบจากตัวอย่างขนาด n ที่สุ่มมา
4. กำหนดระดับนัยสำคัญ α
5. ตัดสินใจยอมรับหรือปฏิเสธ H_0 โดยพิจารณาจากเงื่อนไขนี้ ถ้าค่าสถิติทดสอบที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 3 ตกอยู่ในบริเวณยอมรับ เราจะตัดสินใจยอมรับ H_0 แต่หากตกอยู่บริเวณปฏิเสธ จะตัดสินใจปฏิเสธ H_0
6. สรุปผลการทดสอบ

2.6.2 การวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะประมาณหรือพยากรณ์ค่าของตัวแปรตัวหนึ่งจากตัวแปรอื่นๆ ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์ โดยจะต้องมีการกำหนดหรือทราบค่าตัวแปรอื่นๆ ล่วงหน้า ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรตาม (Dependent variable : Y) หนึ่งตัว กับตัวแปรอิสระ (Independent variable : X) หนึ่งตัว แต่ความสัมพันธ์ดังกล่าวยังคงเป็นแบบเส้นตรงอยู่ เรียกว่า สมการถดถอยแบบง่าย (Simple Regression) เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว หรือลักษณะที่สนใจศึกษา 2 ลักษณะ โดยที่ต้องทราบค่าของตัวแปรตัวหนึ่งหรือต้องกำหนดค่าของตัวแปรตัวหนึ่งไว้ล่วงหน้า

จุดประสงค์หลักของการวิเคราะห์การถดถอย คือ เพื่อวิเคราะห์ค่าแนวโน้มของตัวแปรตาม โดยใช้ค่าที่ทราบของตัวแปรอิสระ การวิเคราะห์นี้อาศัยหลักการ เช่น $Y = a + bX$ โดยที่ a คือ ค่าคงที่ ส่วน b คือ ความชันของเส้นกราฟ ซึ่งแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ X เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเรียกว่า สัมประสิทธิ์การถดถอย เมื่อทราบสมการการถดถอย จะสามารถวิเคราะห์แนวโน้มของเหตุการณ์ที่ต้องการศึกษาโดยรู้ค่า Y จากค่า X ที่กำหนดขึ้น (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2557)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i \quad ; i = 1, 2, \dots, N \quad \text{สมการที่ 3}$$

โดยที่	Y	= ค่าของตัวแปรตาม (Dependent Variable)
	X	= ค่าของตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
	β_0	= ส่วนตัดแกน Y หรือ คือค่าของ Y เมื่อ X มีค่าเป็นศูนย์
	e	= ค่าความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม (random error)

ในการวิเคราะห์การถดถอยนั้นศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด ถ้า X และ Y มีความสัมพันธ์กันมาก แสดงว่าถ้า X มีค่าเปลี่ยนแปลงไปจะมีผลกระทบต่อค่าของ Y และใช้ความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ได้มาประมาณค่าหรือพยากรณ์ค่า Y ในอนาคต เมื่อกำหนดค่า X การวิเคราะห์การถดถอยแบบง่ายมีประโยชน์ดังต่อไปนี้ (อรสา จรุงธรรม, 2555)

1. ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามหนึ่งตัวกับตัวแปรต้นหนึ่งตัว
2. ใช้ศึกษาเปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตาม
3. ใช้สร้างสมการสภาวะเหมาะสมตัวแปรตามเมื่อรู้ค่าตัวแปรต้น

การวิเคราะห์สมการถดถอยแบบง่ายเพื่อต้องการ (วัชรพร วงศ์สมิง, 2550)

1. พิจารณาว่าตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามและตัวแปรอิสระต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ
2. พิจารณาว่าตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตามมีรูปแบบความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นหรือไม่
3. สร้างสมการวิเคราะห์ความถดถอยแบบง่าย

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จะทำให้ทราบผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้ (สมประสงค์ เสนารัตน์, 2553)

1. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรต้น ซึ่งแปลความหมายได้คือ ความมีนัยสำคัญ (existence) และค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์หรือ R^2
2. สมการวิเคราะห์สภาวะเหมาะสม นำไปใช้บอกตัวแปรตามเมื่อรู้ค่าตัวแปรต้นได้

การออกแบบการทดลองเป็นการออกแบบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสม โดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งอาศัยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยมีข้อจำกัดของการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) คือ ใช้สำหรับออกแบบการทดลองขึ้นเดียวจบด้วยปัจจัยพร้อมๆ กันในเวลาเดียวกันโดยวิธีใช้จำนวนการทดลองน้อยกว่าการศึกษาที่ละปัจจัย และตัวแปรอิสระที่ใช้ในการทดลองต้องมีช่วงห่างที่เท่ากัน แต่แผนการทดลองงานวิจัยนี้เป็นการทดลองต่อกันเป็นลำดับ จึงเลือกใช้สมการถดถอยแบบง่ายในการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยเลือกสภาวะของการทดลองที่ 1 มาวิเคราะห์ เมื่อเสร็จการทดลองที่ 1 ถึงจะวิเคราะห์สภาวะการทดลองของการทดลองที่ 2 ทำแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนจบการทดลอง

2.7 ทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 งานวิจัยที่ใช้วิธีการแยกเบนโทไนต์ออกจากเม็ดทรายด้วยวิธีอื่นๆ

Cannon และคณะ (2005) วิเคราะห์กลไกของกระบวนการออกซิเดชันของเบนโทไนต์เพื่อลดการใช้เบนโทไนต์ในโรงหล่อ ซึ่งโรงหล่อต้องการลดการใช้เบนโทไนต์ถึงร้อยละ 20 - 30 โดยใช้กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง (Advanced Oxidation) กับทรายที่ผ่านการใช้แล้ว (ทรายที่ผสมน้ำและเบนโทไนต์) พบว่า กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงทำให้คาร์บอนที่เคลือบอยู่บนผิวเบนโทไนต์หลุดออกไป แล้วช่วยให้เบนโทไนต์สามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้เพิ่มขึ้น จากการบำบัดด้วยคลื่นความถี่สูงอัลตราโซนิก สามารถแยกเบนโทไนต์ออกมาได้ถึงร้อยละ 25 - 30 แต่ถ้าไม่ใช่คลื่นความถี่สูงอัลตราโซนิก จะแยกเบนโทไนต์ได้แค่ร้อยละ 7 การทำอัลตราโซนิกทำให้ขนาดเบนโทไนต์เล็กลง โดยที่ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเบนโทไนต์ลดลงจาก 4.6 ไมครอนเป็น 3 ไมครอน ในขณะที่พื้นที่ผิวของเบนโทไนต์สามารถกระจายตัวออกมามากกว่าร้อยละ 50 จากเริ่มต้น หลังจากการทำอัลตราโซนิกที่เวลา 20 นาที ช่วยให้ประสิทธิภาพการยึดเกาะของเบนโทไนต์เพิ่มขึ้น และช่วยลดปริมาณการใช้เบนโทไนต์ในโรงหล่อได้ นอกจากนี้สมมุติฐานการทดลองด้วยอัลตราโซนิกสามารถเปลี่ยนคุณสมบัติการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนของเบนโทไนต์ได้ โดยการแยกอนุภาคของเบนโทไนต์ออกเป็นลักษณะเดี่ยวๆ และไม่เป็นชั้น โดยจะเกิดขึ้นที่ผิวภายนอกของเบนโทไนต์ ช่วยให้การยึดเกาะติดน้อยลงระหว่างเม็ดทรายกับเบนโทไนต์ แต่ก็สามารถเชื่อมประสานได้ ดังนั้นจึงใช้ปริมาณเบนโทไนต์ในการหล่อลดลงแต่ไม่เสียคุณสมบัติความแข็งแรงของแบบหล่อทราย มีวิธีการทดลองดังนี้ เริ่มต้นมีเบนโทไนต์ในฝุ่นทรายแบบหล่อยร้อยละ 7 นำฝุ่นทรายแบบหล่อ 5 กรัม เติมน้ำปราศจากไอออน 200 มิลลิลิตร ปรับเครื่องล้างความถี่สูง (Ultrasonic bath) ที่ 47 กิโลเฮิร์ตซ์, 60 วัตต์ ที่เวลา 1 - 30 นาที สูดท้ายแล้วที่ 30 นาที พบเบนโทไนต์ เพิ่มจากร้อยละ 7 เป็นร้อยละ 28 เนื่องจากมีการใช้เครื่องอัลตราโซนิกซึ่งมีต้นทุนสูง จึงไม่เหมาะต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมจริง

Wendlandt และคณะ (2007) ศึกษาพื้นผิวของเม็ดทรายที่มีเบนโทไนต์เคลือบอยู่ในสหรัฐอเมริกา โดยวิธีการแยกแบบ 1. การวิเคราะห์โดยใช้ตะแกรงแบบเปียก (Wet-Sieving) 2. การตกตะกอนแบบใช้แรงโน้มถ่วง (Gravitative sedimentation) 3. การหมุนปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) พบว่าเริ่มต้นมีแรมอนต์โมริลโลไนต์ร้อยละ 80 - 90 ของน้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด หลังจากผ่านกระบวนการแยกแล้ว พบว่าเบนโทไนต์ที่มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 2 ไมครอน พบแรมอนต์โมริลโลไนต์ร้อยละ 71 - 78 ของน้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด และเบนโทไนต์ที่ขนาดอนุภาคน้อยกว่าหรือเท่ากับ 38 ไมครอน พบแรมอนต์โมริลโลไนต์ประมาณร้อยละ 92 - 96 ของน้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด การศึกษาการแยกแบบใช้น้ำต้องใช้น้ำปริมาณมาก จึงหลีกเลี่ยงวิธีการแยกแบบใช้น้ำเพื่อลดการบำบัดน้ำต่อไป

Dugan และ Anderson (2012) ในรัฐโคโลราโด ประเทศสหรัฐอเมริกา ของเสียจากโรงหล่อ โลหะประกอบไปด้วยทรายแบบหล่อ (green sand) ใส้แบบหล่อ (core sand) และฝุ่นทรายแบบหล่อ (foundry sand dust) ซึ่งถูกเก็บไว้ในถังกองเก็บฝุ่นทราย ซึ่งพบว่าส่วนประกอบของฝุ่นทรายแบบหล่อเป็นถ่านหินและเบนโทไนต์คิดเป็นสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก จึงศึกษาการแยกผงถ่านหินจากฝุ่นทรายแบบหล่อด้วยกระบวนการลอยแร่ (Froth Flotation) โดยอาศัยหลักการการชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ทำให้ผงถ่านหินลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ แต่เบนโทไนต์จมลงด้านล่าง ในส่วนประกอบของฝุ่นทรายแบบหล่อพบว่ามีผงถ่านหินเป็นส่วนประกอบหลักประมาณร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก หลังจากผ่านกระบวนการแยกสามารถนำผงถ่านหินกลับมาใช้ใหม่ได้ร้อยละ 70 ของน้ำหนักถ่านหินทั้งหมด ส่วนเบนโทไนต์ พบว่ามีส่วนประกอบร้อยละ 30 โดยน้ำหนักในฝุ่นทรายแบบหล่อ หลังจากผ่านกระบวนการแยกสามารถนำเบนโทไนต์กลับมาใช้ใหม่ได้ร้อยละ 40 ของน้ำหนักเบนโทไนต์ทั้งหมด

2.7.2 งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองการถดถอย

เสริมศักดิ์ เวียงวิเศษ (2554) วิเคราะห์ปรับปรุงสมบัติแบบหล่อทราย หาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วกับสารเติมแต่งอื่นๆให้มีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด ใช้หลักการออกแบบการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลทางสถิติของส่วนผสมแบบหล่อทราย โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ central composite rotatable design (CCRD) ส่วนการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลที่ใช้ประเมินความเหมาะสมแบบหล่อทรายภายใต้มาตรฐานของสมาคม A.F.S (American Foundry' men Society) คือ แบบจำลองการถดถอยทางสถิติของความแข็งแรงอัดในสภาพเปียกและความสามารถในการปล่อยซิมอากาศโดยใช้โปรแกรม Design - Expert version 7.0 โดยมีส่วนผสมคือ น้ำหนักทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วครั้งที่ 1 (A) เบนโทไนต์ (B) และน้ำ (C) โดยมีเงื่อนไขข้อจำกัดคือ $90 \leq A \leq 99.9$, $0.05 \leq B \leq 5$ และ $0.05 \leq C \leq 5$ นำวิธีพื้นผิวผลตอบสนองมาใช้หาอัตราส่วนผสมแบบหล่อทรายที่เหมาะสมที่สุด ผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมคือ ส่วนผสมของทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วครั้งที่ 1 ร้อยละ 93.2 ส่วนผสมของเบนโทไนต์ร้อยละ 5 และส่วนผสมของน้ำร้อยละ 1.8 ส่วนแบบจำลองรูปแบบทางสถิติของความแข็งแรงอัดในสภาพเปียกและความเหมาะสมในการปล่อยซิมอากาศมีความเหมาะสมในรูปแบบเชิงเส้นตรง (linear model) และรูปแบบเชิงเส้นโค้ง (quadratic model) ตามลำดับโดยพิจารณาจากค่า p-value ของทั้งคู่มีค่าน้อยกว่า 0.05 คือเท่ากับ 0.0002 และ 0.0022 ตามลำดับ และค่า p-value lack of fit เท่ากับ 0.44 และ 0.85 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ารูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้มีความเหมาะสมกับข้อมูลและสามารถยอมรับรูปแบบการถดถอยนั้นได้ ส่วนรูปแบบสมการถดถอย

แบบสมการโพลิโนเมียลอันดับสอง (second-order polynomial) (Scheffe, 1958) รูปแบบสมการนี้ไม่มีจุดตัดหรือค่าคงที่และส่วนกำลังสอง เนื่องจากผลรวมของส่วนผสมทั้งหมดมีค่าเท่ากับร้อยละ 1 หรือ 100 ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก (GCS) ได้สมการคือ $5.07A + 12.13B + 0.19C$ ซึ่งได้ค่าความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก (GCS) ประมาณ 7.6 lb/in^2 ความสามารถในการปล่อยซิมอากาศ (Perm) ได้สมการคือ $64.7A - 11.95B + 42.25C - 34.9AB + 25.48AC - 143.48BC$ และค่าความสามารถในการปล่อยซิมอากาศประมาณ 31.3 และวิเคราะห์การแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนร่วมกับฟังก์ชันความพึงพอใจให้ผลใกล้เคียงกัน โดยที่ให้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลน้อยที่สุดและมีความพึงพอใจมากที่สุด ผลการวิเคราะห์ให้ค่าการแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนของความแข็งแรงอัดในสภาพเปียกและความสามารถในการปล่อยซิมอากาศที่น้อยที่สุดที่ทำนายได้เท่ากับ 1.058 และ 4.28 ตามลำดับ โดยให้ค่าความพึงพอใจสูงสุดเท่ากับร้อยละ 72.4 จากงานวิจัยนี้ นำแบบจำลองสมการถดถอยไปใช้ในการวิเคราะห์หลักในสภาพที่เหมาะสมในการแยกแอคทีฟเบนโทไนต์ออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อ ของตัวอย่าง A และ ตัวอย่าง B

เชิญขวัญ รุจทินกฤต (2557) ศึกษาหาส่วนผสมแบบหล่อทรายที่เหมาะสมที่สุดในการนำทรายที่ผ่านการใช้งานแล้ว (A) เบนโทไนต์ (B) น้ำ (C) และทรายใหม่ (D) มาเป็นส่วนผสม แล้วทำให้สมบัติของแบบหล่อทรายเป็นไปตามมาตรฐานของสมาคม A.F.S. (American Foundry men's Society) มากที่สุด โดยตัวแปรที่ใช้ชี้วัดคุณภาพของแบบหล่อทรายคือ ความสามารถในการกักอัดของทราย ความสามารถในการปล่อยซิมอากาศของแบบหล่อทราย ความชื้นของทรายในแบบหล่อทราย และความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก โดยใช้โปรแกรม Design – Expert version 7.0 การศึกษาให้ใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมและวิธีพื้นผิวตอบสนองเพื่อนำมาใช้ในการหาส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่เหมาะสมที่สุดในราคาต้นทุน วัตถุประสงค์ นอกจากนี้ผู้ประกอบการสามารถนำทรายไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และประสิทธิผลต่อไป พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้การแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ประกอบด้วยส่วนผสมของ A เท่ากับร้อยละ 92.94 ส่วนผสมของ B เท่ากับร้อยละ 4.5 ส่วนผสมของ C เท่ากับร้อยละ 2.065 และส่วนผสมของ D เท่ากับร้อยละ 0.496 การวิเคราะห์การแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนให้มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด โดยการกำหนดให้ ค่าการแพร่กระจาย ความคลาดเคลื่อนของความแข็งแรงอัดในสภาพเปียกและความสามารถในการปล่อยซิมอากาศมีค่าน้อยที่สุด ผลจากการกำหนดส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแต่ละส่วนผสมทำให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนของความสามารถในการกักอัดของทรายในช่วง 3.84 - 3.86 ความสามารถในการปล่อยซิมอากาศอยู่ในช่วง 0.88 - 3.09 ความชื้นของทรายอยู่ในช่วง 1.05 - 1.06 และความแข็งแรงอัดในสภาพเปียกอยู่ในช่วง 1.05 - 1.06 ผลการศึกษาเป็นรูปแบบสมการถดถอยแบบสมการโพลิโนเมียลอันดับสอง (second-order polynomial) (Scheffe, 1958) รูปแบบสมการ

นี้ไม่มีจุดตัดหรือค่าคงที่และส่วนกำลังสอง เนื่องจากผลรวมของส่วนสมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 1 หรือ 100 รูปแบบจำลองการถดถอยของผลตอบสนองในตัวแปรส่วนประกอบเทียม คือความสามารถในการกดอัดของทราย (compact) ได้สมการคือ $64.79A + 57.47B + 48.04C + 62.66D$ ความสามารถในการปล่อยซิมอากาศ (Perm) ได้สมการคือ $72.31A + 74.42B + 83.62C + 418.93D - 8.50AB + 0.54AC - 390.74AD - 13.14BC - 349.32BD - 404.60CD$ และความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก (GCS) ได้สมการคือ $0.69A + 0.21B + 0.79C + 0.51D$ ซึ่งทำให้ได้ค่าความสามารถในการกดอัดของทรายได้เท่ากับร้อยละ 60.135 ความสามารถในการปล่อยซิมอากาศได้เท่ากับ 74.018 ปาสคาล และความแข็งแรงอัดในสภาพเปียกที่ทำนายได้เท่ากับ 0.687 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากงานวิจัยนี้ นำแบบจำลองสมการถดถอยไปใช้ในการวิเคราะห์หลักไถนสภาพที่เหมาะสมในการแยกแอกทีฟเบนโทไนต์ออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อ ของตัวอย่าง A และ ตัวอย่าง B

2.7.3 งานวิจัยเกี่ยวกับการอบฝุ่นทรายที่อุณหภูมิต่างๆและการร่อนด้วยตะแกรง

Holzer และคณะ (2010) การวิเคราะห์โครงสร้าง 3 มิติด้วยเทคนิค FIB - nanotomography ร่วมกับ cryo - preparation จะได้ภาพ 3 มิติที่มีความละเอียดสูงของน้ำในช่องว่างของเบนโทไนต์ที่อิ่มตัว เนื่องจากน้ำอิสระ (Free water) แทรกอยู่ในช่องว่างของโครงสร้างทำให้มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเบนโทไนต์คือ การขยายตัว (Swelling) เริ่มต้นเบนโทไนต์เป็นวัสดุที่มีความชื้นเนื่องจากมีน้ำอิสระอยู่ในโครงสร้าง จึงต้องนำน้ำอิสระออกไปด้วยวิธีการทำให้แห้งด้วยการอบด้วยเตาไฟฟ้า โดยเริ่มต้นเบนโทไนต์มีน้ำอิสระอยู่ร้อยละ 75 โดยปริมาตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากอบเสร็จแล้วนำไปเข้าโถดูดความชื้น ผลที่ได้คือ น้ำอิสระลดลงจากเริ่มต้นประมาณร้อยละ 50 โดยปริมาตร เนื่องจากเบนโทไนต์มีการหดตัว (Shrinkage) เพราะสูญเสียน้ำออกไป จึงวิเคราะห์ด้วยเทคนิค cryo - preparation จึงต้องเตรียมเบนโทไนต์ด้วยการแช่แข็งที่ความดันสูง การวิเคราะห์ขนาดเบนโทไนต์ที่มีขนาดเล็กมากที่มีการปรับเสถียรด้วยเทคนิค cryo preparation จะวิเคราะห์ร่วมกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ซึ่งทำให้เห็นการกระจายตัวของขนาดรูพรุนต่างๆ กัน นอกจากนี้การวิเคราะห์ขนาดรูพรุน จำเป็นต้องมีการเตรียมตัวอย่างโดยใช้เทคนิคการทำให้แห้งด้วยการให้ความร้อน และการทำให้แห้งด้วยการแช่แข็ง ซึ่งการแช่แข็งที่ความดันสูงๆ จะทำให้ผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น จากงานวิจัยนี้ นำแนวโน้มของอุณหภูมิในการอบ มาเป็นแนวทางเบื้องต้นในการดึงน้ำอิสระออกจากเบนโทไนต์ เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการลดน้ำอิสระของเบนโทไนต์ และหลังจากการให้ความร้อนแล้วต้องนำเข้าโถดูดความชื้น และดูลักษณะผิวการเกาะติดเชื่อมประสานกันของเบนโทไนต์บนฝุ่นทรายแบบหล่อ ด้วยเทคนิคการกระจายตัวของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

Park และคณะ (2012) เป็นการศึกษาการฟื้นฟูสภาพของทรายแบบหล่อที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้และการปรับเสถียรทรายแบบหล่อที่เหลืออยู่ที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยขั้นตอนในกระบวนการฟื้นฟูสภาพเป็นการบดละเอียดด้วยเครื่อง rotor mill เมื่อบดเรียบร้อยแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดจะทราบส่วนประกอบทางเคมีของทรายแบบหล่อว่าประกอบด้วย SiO_2 มากกว่าร้อยละ 97 จากนั้นแยกโลหะออกจากทรายแบบหล่อด้วยแม่เหล็ก แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร และ 3.35 มิลลิเมตร ทรายแบบหล่อที่มีขนาดอนุภาค 0.075 - 3.35 มิลลิเมตร เป็นทรายแบบหล่อที่สามารถนำกลับมาใช้เป็นส่วนผสมแบบหล่อทรายได้มากถึงร้อยละ 80 ส่วนทรายแบบหล่อที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เพราะว่ามีโลหะจำนวนมากและพบว่ามีปริมาณเบนโทไนต์จำนวนมากเช่นกัน จึงนำทรายแบบหล่อไปเข้ากระบวนการปรับเสถียรคือ โดยการทำอนุภาคที่เป็นผงทรายแบบหล่อนี้เคลือบด้วยฝุ่นถ่านหินปริมาณร้อยละ 25 และผสมตัวเชื่อมประสานด้วยโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 0.51 - 0.54 นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ทำให้โลหะหนักทุกตัวเหลือความเข้มข้นน้อยกว่า 0.02 ppm ยกเว้นโครเมียมที่เหลือน้อยกว่า 0.1 ppm จากงานวิจัยนี้ราคาของอุณหภูมิในการอบและเวลาในการให้ความร้อน เป็นแนวทางเบื้องต้นในการเลือกอุณหภูมิและเวลา จากการศึกษาเป็นการนำทรายแบบหล่อกลับมาใช้ใหม่ เมื่อนำมาใช้ในงานวิจัยได้เปลี่ยนค่าอุณหภูมิในการทดลองให้มีย่าน้อยกว่า 100 องศาเซลเซียส เพราะงานวิจัยเป็นศึกษาฝุ่นทรายแบบหล่อ และเพิ่มประสิทธิภาพการแยกด้วยการคัดขนาดฝุ่นทรายแบบหล่อ โดยใช้ตะแกรงในการคัดขนาดเพื่อเลือกแต่สิ่งที่ต้องการให้ผ่านตะแกรงลงมา เพราะขนาดอนุภาคของเบนโทไนต์มีขนาดเล็กมาก จึงต้องใช้ตะแกรงขนาดเล็กเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยก

2.7.4 งานวิจัยเกี่ยวกับการขจัดสีอนุภาค

Lucarz (2007) ศึกษาผลกระทบการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยทำให้ขนาดเม็ดทรายซิลิกาที่มีขนาดอนุภาคเล็กลง อิทธิพลที่ส่งผลต่อลดขนาดเม็ดทรายประกอบด้วย การบด การขจัดสี และการลดขนาดอนุภาค โดยใช้เครื่องมือแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและตะแกรงร่อนในการนำกลับคืนมาของทรายแบบหล่อ ซึ่งนำไปสู่ปัจจัยในแต่ละกรณีของการนำกลับมาใช้ใหม่ คือ ความเร็วรอบในการหมุน จำนวนรอบของการนำกลับมาใช้ใหม่ และขนาดตะแกรงต่างๆ การตรวจสอบการทำงานของ การลดขนาดอนุภาคเทียบกับระยะเวลาภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่แตกต่างกันของการนำกลับคืนมาใช้ใหม่ ปกติการนำทรายแบบหล่อกลับคืนมาใช้ใหม่ จะแยกวัตถุเชื่อมประสานออกจากผิวหน้าทรายและการขจัดสีหรืออบที่ผิวหน้า การทดลองนำทรายแบบหล่อกลับคืนมาใช้ใหม่แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ใช้ตะแกรงและใช้เครื่องมือลดขนาดอนุภาค ส่วนที่ 2 ทำการขจัดสี โดยที่ส่วนที่ 1 ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้ 1. แยกอนุภาคขนาดเล็กออกไปก่อนด้วยการร่อนแยกด้วยขนาดรูเปิดตะแกรง 0.8,

0.63 และ 0.4 มิลลิเมตร นำส่วนที่ค้างอยู่บนตะแกรงเข้าสู่ขั้นที่ 2 การปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องมือใช้แรงหนีศูนย์กลาง ที่ความเร็วรอบ 2,300 – 6,500 รอบต่อนาที ซึ่งเครื่องมือใช้แรงหนีศูนย์กลางมี 2 แบบ คือ แบบ impact - free peripheral ring และแบบ impact peripheral ring พารามิเตอร์ในการตรวจสอบประกอบด้วยค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ S_f (Specific surface) และค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง d_a (Arithmetic mean diameter) จากผลการทดลองพบว่า ขนาดรูเปิดตะแกรง 0.8 มิลลิเมตร ใช้เครื่องมือแบบ impact - free peripheral ring ที่ความเร็วรอบสูง ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจะลดลง ขนาดรูเปิดตะแกรง 0.63 มิลลิเมตร ใช้เครื่องมือแบบ impact peripheral ring ที่ความเร็วรอบ 4,500 รอบต่อนาทีเป็นความเร็วรอบสูงสุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมีการเปลี่ยนแปลงแต่เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก จึงสรุปว่าการทดลองในกรณีขนาดรูเปิดตะแกรง 0.63 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ไม่เปลี่ยนแปลง การทดลองที่ 2 การขัดสี ใช้เครื่องมือแบบ impact - free peripheral ring และแบบ impact peripheral ring จะควบคุมการใช้ขนาดรูเปิดตะแกรง 0.8 มิลลิเมตร ที่ความเร็ว 2,300 และ 6,500 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นไปตามที่คาดหวังไว้คือ กระบวนการขัดสีเม็ดทรายจะมีประสิทธิภาพมากที่ความเร็วรอบสูง ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะที่เพิ่มขึ้นบอกถึงประสิทธิภาพในการขัดสีเม็ดทราย จากผลการทดลองในส่วนนี้พบว่า ความเร็วรอบ 2,300 รอบต่อนาที เกิดการขัดสีของเม็ดทรายน้อย ความเร็วรอบ 6,500 รอบต่อนาที เกิดการขัดสีของเม็ดทรายมากกว่า จากการศึกษานี้ทำการลดขนาดเม็ดทรายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้การขัดสีเพื่อแยกวัสดุเชื่อมประสานรอบนอกเม็ดทรายออกไป ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางงานวิจัยที่ต้องการแยกเบนโทไนต์เป็นวัสดุเชื่อมประสานที่เกาะอยู่รอบนอกของฝุ่นทรายแบบหล่อกลับมาใช้ใหม่

2.7.5 งานวิจัยเกี่ยวกับการดูดซับเมทิลีนบลูของเบนโทไนต์

Yener และคณะ (2012) ศึกษาความสามารถการแลกเปลี่ยนแคตไอออนและพื้นที่ผิวสัมผัสของแอคทีฟเบนโทไนต์ (acid activated bentonite) ด้วยการดูดซับเมทิลีนบลู การแลกเปลี่ยนไอออนที่แตกต่างกันและลักษณะการดูดซับทางกายภาพของเมทิลีนบลูที่ผิวสัมผัสแอคทีฟเบนโทไนต์ ในการดูดซับนั้นจะเกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสและช่องว่างอินเทอร์เลเยอร์ โดยธรรมชาติๆ แคลเซียมเบนโทไนต์ (CaB) ที่ได้มาจาก Enez/Edirne ประเทศตุรกีจะเป็นแอคทีฟเวทเต็ด (acid activated) ที่ 90 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง แต่อัตราส่วนไฮโดรคลอริกต่อแคลเซียมเบนโทไนต์ต่างกันไป การแลกเปลี่ยนไอออนและการดูดซับของไอออนเมทิลีนบลูจะเกิดขึ้นพร้อมกันที่ผิวไอออนของเบนโทไนต์ การแลกเปลี่ยนไอออนและตัวดูดซับเมทิลีนบลูเริ่มต้นที่เท่ากับ 0 และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามไอโซเทอมการดูดซับ ค่าตัวดูดซับจะดูความสามารถในการดูดซับของชั้นอินเทอร์เลเยอร์ จากงานวิจัยนี้ทราบว่าเบนโทไนต์สามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบหาค่า ร้อยละแอคทีฟเบนโทไนต์ ด้วยมาตรฐาน Methylene Blue Procedure ASTM C 837-99

Cottet และคณะ (2014) ศึกษาลักษณะการดูดซับของแรมอลต์โมริลโลไนต์กับไอออนออกไซด์ด้วยสายละลายเมทิลีนบลู เนื่องจากแรมอลต์โมริลโลไนต์กับเหล็กออกไซด์ สามารถเป็นตัวดูดซับเมทิลีนบลูได้ ด้วยลักษณะโครงสร้างของแรมอลต์โมริลโลไนต์กับเหล็กออกไซด์ โดยดูพื้นที่ผิวสัมผัสจากเครื่องมือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด การทดลองแบบที่ละเทที่ดำเนินการภายใต้สภาพที่แตกต่างกันของความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น เวลาสัมผัส และอุณหภูมิที่ดูดซับเมทิลีนบลูของแรมอลต์โมริลโลไนต์กับไอออนออกไซด์ ไอโซเทอมของการทดลองการดูดซับนำเสนอออกมาในรูปแบบของฟรูนลิช (Freundlich) และแลงเมียร์ (Langmuir) ได้ข้อมูลที่เหมาะสมดีกว่าผลที่ได้จากความสามารถการดูดซับสูงสุดของ 71.12 มิลลิกรัมต่อกรัมที่ 333 เคลวิน จากงานวิจัยนี้ทราบว่าเบนโทไนต์สามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้นำไปใช้ในการทดสอบหาค่าร้อยละแอกทีฟเบนโทไนต์ ด้วยมาตรฐาน Methylene Blue Procedure ASTM C 837-99

2.7.6 สรุปแนวทางวิจัย

การค้นคว้านงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ส่วนใหญ่เป็นการแยกทรายแบบหล่อกลับมาใช้ใหม่ด้วยกลไกการใช้น้ำ (Zanetti และ Fiore, 2002) การแยกเบนโทไนต์จากทรายแบบหล่อด้วยกลไกการใช้น้ำ (Zanetti และ Fiore, 2003) ซึ่งต้องใช้น้ำในปริมาณมากในการแยกและต้องใช้สารเคมีช่วยในการแยก (cannon และคณะ, 2005) และการแยกฝุ่นทรายแบบหล่อจากฝุ่นทรายแบบหล่อด้วยการใช้ตะแกรง แต่ก็มีกรวดแอกทีฟเบนโทไนต์ที่ผ่านตะแกรงลงมา พบว่าความบริสุทธิ์แอกทีฟเบนโทไนต์ที่ได้ลดลง (Steele และ Huff, 2003) จึงได้นำแนวทางมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยการแยกเบนโทไนต์จากฝุ่นทรายแบบหล่อและเพิ่มกระบวนการใช้ความร้อนและการขัดสี โดยที่เริ่มต้นโดยแยกส่วนที่ไม่ต้องการออกไปก่อนที่ไม่สามารถทำหน้าที่เชื่อมประสานได้ ด้วยการร่อนแยกตะแกรงโดยเครื่องเขย่า (Park และคณะ, 2012) โดยที่สิ่งที่ไม่ต้องการจะเรียกว่า นอนแอกทีฟเบนโทไนต์ (Non Active Bentonite) ซึ่งมีส่วนประกอบของ Non Active Bentonite ดังต่อไปนี้ 1. ฝุ่นทรายแบบหล่อ 2. เติเบนโทไนต์ และ 3. ฝุ่นคาร์บอน

ในการเลือกขนาดตะแกรงจะต้องพิจารณาจากขนาดอนุภาคสิ่งที่ต้องการแยกออกจากกัน เพื่อให้ส่วนที่ต้องการเป็นอนุภาคที่ค้างตะแกรงและส่วนที่ไม่ต้องการจะผ่านตะแกรงลงมา อนุภาคที่สามารถหลุดร่วผ่านรูเปิดของตะแกรงมาได้ต้องมีขนาดเล็กกว่ารูเปิดตะแกรง โดยงานวิจัยนี้มีขนาดอนุภาคดังต่อไปนี้ 1. ฝุ่นทรายแบบหล่อตัวอย่าง A มีขนาดอนุภาคที่ร้อยละ 50 โดยปริมาตร (d_{50}) เท่ากับ 39 ไมครอน 2. ฝุ่นทรายแบบหล่อตัวอย่าง B มีขนาดอนุภาคที่ร้อยละ 50 โดยปริมาตร (d_{50}) เท่ากับ 25 ไมครอน 3. เบนโทไนต์มีขนาดอนุภาคที่ร้อยละ 50 โดยปริมาตร (d_{50}) เท่ากับ 3.22 ไมครอน และ 4. ผงถ่านหินมีขนาดอนุภาคที่ร้อยละ 50 โดยปริมาตร (d_{50}) เท่ากับ 81 ไมครอน

จากนั้นจึงแยกส่วนที่ต้องการคือแอกทีฟเบนโทไนด์ โดยวิธีระเหยน้ำอิสระรอบนอกของแอกทีฟเบนโทไนด์ออกไป (Holzer และคณะ, 2010) เพื่อลดการเชื่อมประสานของแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ ในการตัดสินใจเลือกใช้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ จะเลือกใช้อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของน้ำ เมื่อระเหยน้ำอิสระออกไปได้มากที่สุด โดยส่งผลกระทบต่อการเล่นสภาพจากแอกทีฟเบนโทไนด์เป็นเดทเบนโทไนด์ (Wang และคณะ, 2006) จะทำให้ได้สภาพที่เหมาะสมที่สุดที่มีค่าร้อยละ แอกทีฟเบนโทไนด์มากที่สุด

ต่อจากนั้นเมื่อสามารถลดการเชื่อมประสานลงได้ จึงต้องมีแรงมาช่วยกระทำให้เกิดการขัดสีขึ้นกับแอกทีฟเบนโทไนด์และฝุ่นทรายแบบหล่อ เพื่อให้เกิดการหลุดแยกมากขึ้น โดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (Lucarz, 2007) การตัดสินใจในการเลือกใช้ความเร็วรอบคือ เนื่องด้วยข้อจำกัดของเครื่องหมุนเหวี่ยงของสถานที่ทำการทดลองได้ความเร็วรอบต่ำสุด 500 รอบต่อนาที และในงานวิจัยที่ได้ศึกษามาใช้ความเร็วรอบที่ 300 และ 2,400 รอบต่อนาที (Cannon และคณะ, 2005) จึงได้ออกแบบในการทดลองใช้ความเร็วรอบที่ 500, 1,500 และ 2,500 รอบต่อนาที

จากการทดลองทั้งหมดเราจะได้สภาพที่ดีที่สุดในการแยกเบนโทไนด์ออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อด้วยปัจจัยต่างๆ จึงต้องมีการวิเคราะห์ทางสถิติในการทดลอง และที่สำคัญสุดท้ายนี้ จากข้อมูลการทดลองจะนำมาประเมินค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของกระบวนการแยกเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

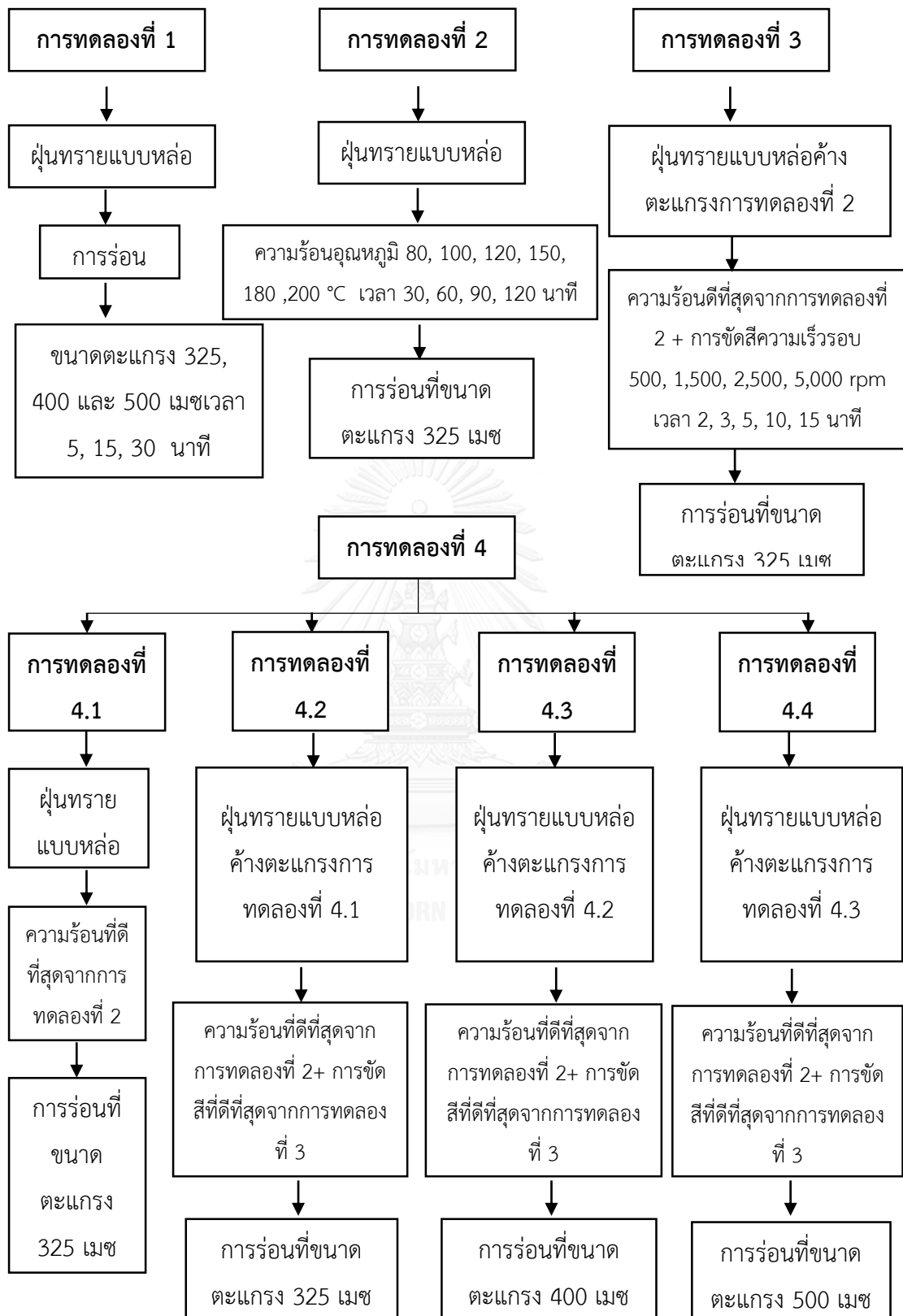
3.1 แผนงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการแยกเบนโทไนต์ออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อที่ถูกเก็บไว้ในถุงกรองจากโรงหล่อลูกเหล็กโลหะ โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นทรายแบบหล่อที่ใช้ในการวิจัยนี้ด้วยวิธีการแบ่งสี่ (Quartering Method) (ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2553) และพบว่าในแต่ละวันมีของเสียฝุ่นทรายแบบหล่อเกิดขึ้นประมาณ 33 ตันต่อวันภายในโรงงานนี้ ตัวอย่างฝุ่นทรายแบบหล่อที่นำมาศึกษา คือ ตัวอย่าง A และ B ดังแสดงตามภาพที่ 3.1 โดยที่ตัวอย่าง A เป็นตัวอย่างฝุ่นทรายที่เกิดจากการผลิตแบบหล่อทรายสำหรับลูกเหล็กขนาดเล็กกว่า 50 มิลลิเมตร ส่วนตัวอย่าง B เป็นตัวอย่างฝุ่นทรายที่เกิดจากการผลิตแบบหล่อทรายสำหรับลูกเหล็กขนาด 50 มิลลิเมตร ถึง 100 มิลลิเมตร

องค์ประกอบฝุ่นทรายแบบหล่อประกอบด้วย เบนโทไนต์ ฝุ่นถ่านหิน ฝุ่นทราย และน้ำ เมื่อเบนโทไนต์สัมผัสกับน้ำเหล็กที่มีอุณหภูมิสูงถึง 1550 °ซ จะทำให้เกิดเบนโทไนต์เป็น 2 ประเภทตามสมบัติการเชื่อมประสานคือ แอคทีฟเบนโทไนต์ คือ เบนโทไนต์ที่ยังสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างเม็ดทรายได้ และเดทเบนโทไนต์ คือ เบนโทไนต์ที่หมดสภาพของการเป็นตัวเชื่อมประสานและสามารถหลุดร่วงออกจากผิวฝุ่นทรายได้ งานวิจัยนี้สนใจการนำแอคทีฟเบนโทไนต์กลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตแบบหล่อทราย จากภาพที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของการทดลองทั้งหมด โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลองดังนี้ การทดลองที่ 1 จะแยกเบื้องต้น (Primary separation) การทดลองที่ 2 การให้ความร้อน (Heat Application) การทดลองที่ 3 การขัดสีร่วมกับความร้อน (Attrition+Heat) และการทดลองที่ 4 การเปลี่ยนขนาดตะแกรง (Screen size Change)



ภาพที่ 3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย (ก) ตัวอย่าง A และ (ข) ตัวอย่าง B



ภาพที่ 3.2 แผนผังรายละเอียดของแต่ละการทดลอง

3.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 เครื่องมือวัดลักษณะพื้นที่ผิวและขนาดอนุภาค

- 1 เครื่องวัดอนุภาคขนาด (Laser Particle Size Distribution Analyzer)
- 2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope)
รุ่น JSM - 6400

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

- 1 เครื่องเขย่า (Sieve Shaker) ยี่ห้อ Endecotts รุ่น Octagon 200
- 2 เครื่องปั่นแบบใช้แกนแม่เหล็กหมุน (Magnetic Heating Agitator) ภาพที่ ง.2 ยี่ห้อ Diligent รุ่น ST-1
- 3 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ภาพที่ ง.1 ยี่ห้อ Boeco รุ่น C-28
- 4 เตาอบ (Oven) ยี่ห้อ Binder รุ่น F115
- 5 หลอดปั่นเหวี่ยง ภาพที่ ง.4 ยี่ห้อ SARSTEDT ปริมาตร 50 มิลลิลิตร หลอดยาว 12 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางฝา 3.5 เซนติเมตร
- 6 นาฬิกาจับเวลา ยี่ห้อ AUSTIN
- 7 เครื่องแก้วพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์
- 8 แม่เหล็ก (Magnetic Stir bar) ขนาด 30×7 มิลลิเมตร
- 9 ตะแกรง 325 เมช (45 ไมครอน) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว (203 มิลลิเมตร) ภาพที่ ง.3
- 10 ตะแกรง 400 เมช (38 ไมครอน) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว (203 มิลลิเมตร)
- 11 ตะแกรง 500 เมช (25 ไมครอน) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว (203 มิลลิเมตร)

3.2.3 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์

- 1 เครื่องวัดพีเอช (pH-meter) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น PSM11T-090
- 2 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
- 3 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BSA224S-CW

3.2.4 สารเคมี

- 1 เมททิลีนบลู ($C_{16}H_{18}N_3SCL \times 3H_2O$)
- 2 กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ร้อยละ 98 (RCI Labscan, ประเทศไทย)

3.2.5 อุปกรณ์ในการทดสอบร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์

- 1 กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 2

3.3 แนวทางการดำเนินวิจัย

การทดลองที่ 1 การแยกเบื้องต้น เพื่อแยกส่วนที่ไม่ต้องการ (นอนแอกทีฟเบนโทไนด์ : Non Active Bentonite) ออกไป โดยคาดว่าฝุ่นทรายแบบห่อมีส่วนประกอบของนอนแอกทีฟเบนโทไนด์ ซึ่งเป็นอนุภาคเดี่ยว มีลักษณะร่วนและหลุดได้ง่ายผสมอยู่ร่วมกับฝุ่นทรายแบบห่อ จึงแยกด้วยการเขย่าตะแกรงขนาด 325, 400 และ 500 เมช โดยที่นอนแอกทีฟเบนโทไนด์ประกอบด้วย เดทเบนโทไนด์ ฝุ่นทราย และฝุ่นคาร์บอน เพื่อให้ส่วนที่ต้องการค้างตะแกรงและส่วนที่ไม่ต้องการจะผ่านลอดตะแกรงลงมา โดยที่ฝุ่นทรายแบบห่อกับแอกทีฟเบนโทไนด์จะเกาะติดกันค้างบนตะแกรง และส่วนที่ผ่านตะแกรงเป็นนอนแอกทีฟเบนโทไนด์ แล้วนำส่วนที่ผ่านและค้างบนตะแกรงไปทดสอบร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์ และร้อยละนอนแอกทีฟเบนโทไนด์ แนวทางการทดลองแสดงดังภาพที่ 3.3

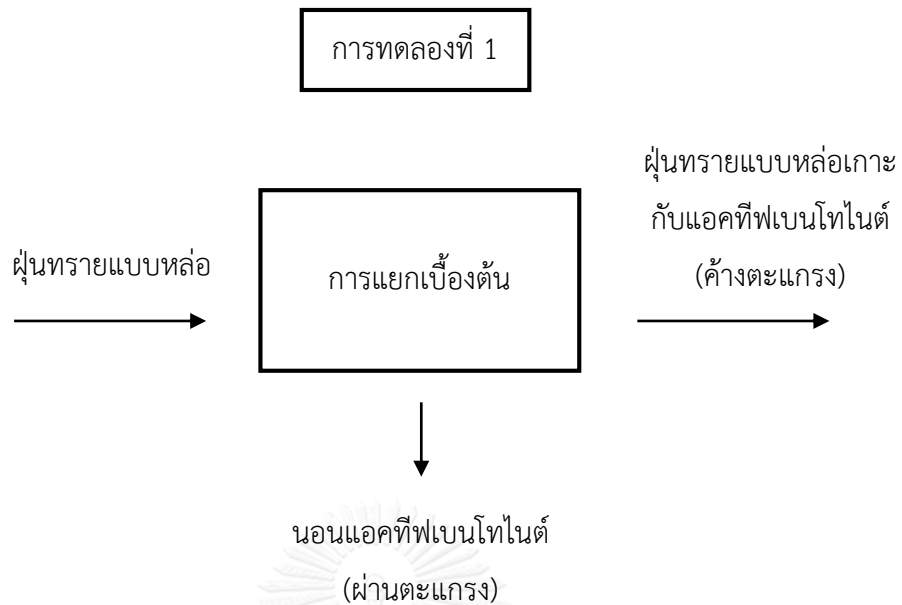
การทดลองที่ 2 การให้ความร้อน เพื่อให้แอกทีฟเบนโทไนด์สูญเสียน้ำอิสระและลดการเชื่อมประสาน โดยนำตัวอย่างฝุ่นทรายแบบห่อไปให้ความร้อน แล้วนำไปร่อนแยกด้วยตะแกรงขนาด 325 เมช นำส่วนที่ผ่านและค้างบนตะแกรงไปไตเตรทหาค่าร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์ แนวทางการทดลองแสดงดังภาพที่ 3.4 เลือกค่าอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่ดีที่สุดไปทำการทดลองที่ 3

การทดลองที่ 3 การขัดสีร่วมกับความร้อน เพื่อเพิ่มการหลุดแยกของแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบห่อ โดยเริ่มจากการให้ความร้อนตามสภาวะที่ดีที่สุดของการทดลองที่ 2 กับตัวอย่างฝุ่นทรายแบบห่อค้างบนตะแกรงจากการทดลองที่ 2 ที่มีค่าร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์ของส่วนที่ผ่านตะแกรงมากที่สุด แล้วเพิ่มแรงขัดสีเพื่อช่วยให้แอกทีฟเบนโทไนด์หลุดออกจากฝุ่นทรายแบบห่อมากขึ้น แล้วนำไปร่อนแยกด้วยตะแกรงขนาด 325 เมช นำส่วนที่ผ่านและค้างบนตะแกรงไปไตเตรทหาค่าร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์ แนวทางการทดลองแสดงดังภาพที่ 3.5 เลือกใช้สภาวะการขัดสีที่ความเร็วรอบและเวลาในการขัดสีที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 3 และเลือกใช้ค่าอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่สภาวะเหมาะสมที่สุดจากการทดลองที่ 2 ไปทำการทดลองที่ 4 ต่อไป

การทดลองที่ 4 การเปลี่ยนขนาดตะแกรง เพื่อให้แยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบห่อได้ดีขึ้น นำตัวอย่างฝุ่นทรายแบบห่อเริ่มต้นมาทำซ้ำในแนวทางของการทดลองที่ 2 และที่ 3 ซึ่ง

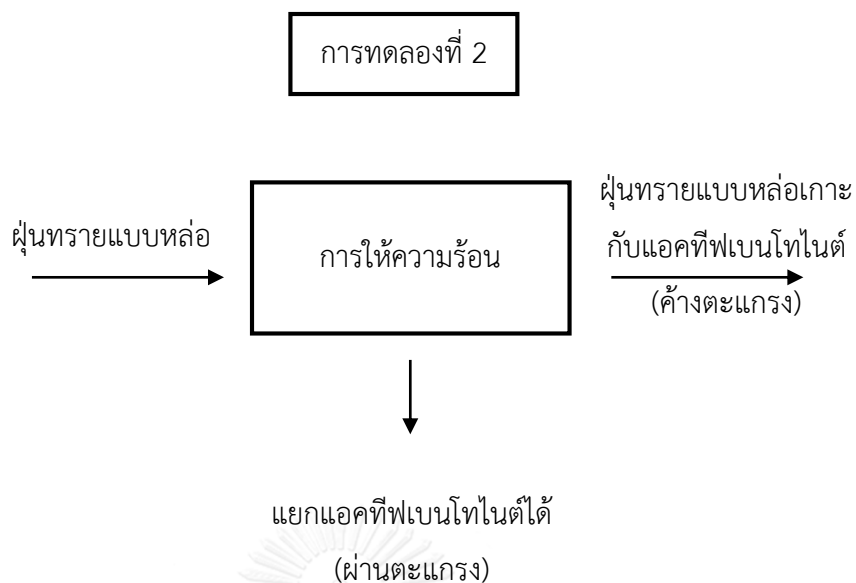
การทดลองที่ 3 เลือกทำที่สภาวะอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ 2 และเลือกทำที่สภาวะความเร็วรอบและเวลาในการขัดสีที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 3 แล้วนำไปร่อนแยกด้วยตะแกรงขนาด 325, 400 และ 500 เมช ทุกครั้งที่มีการแยกด้วยตะแกรงจะนำส่วนที่ผ่านและค้างบนตะแกรงไปไตเตรทหาค่าร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์ แนวทางการทดลองแสดงดังภาพที่ 3.6





ภาพที่ 3.3 แผนผังแสดงขั้นตอนและแนวคิดของการทดลองที่ 1

สมมติฐาน	นำนอนแอกทีฟเบนโทไนด์ออกไป
ขั้นตอน	ใช้ตะแกรงในการร่อนแยกเพื่อให้ส่วนที่ไม่เกาะติด(นอนแอกทีฟเบนโทไนด์)กับฝุ่นทรายแบบหล่อจะล่องผ่านตะแกรงลงมาก่อน
ตัวแปรต้น	<ol style="list-style-type: none"> 1. ขนาดตะแกรง <ul style="list-style-type: none"> - เบอร์ 325 (45 ไมครอน) - เบอร์ 400 (38 ไมครอน) - เบอร์ 500 (25 ไมครอน) 2. เวลาในการร่อน <ul style="list-style-type: none"> - 5 นาที - 15 นาที - 30 นาที

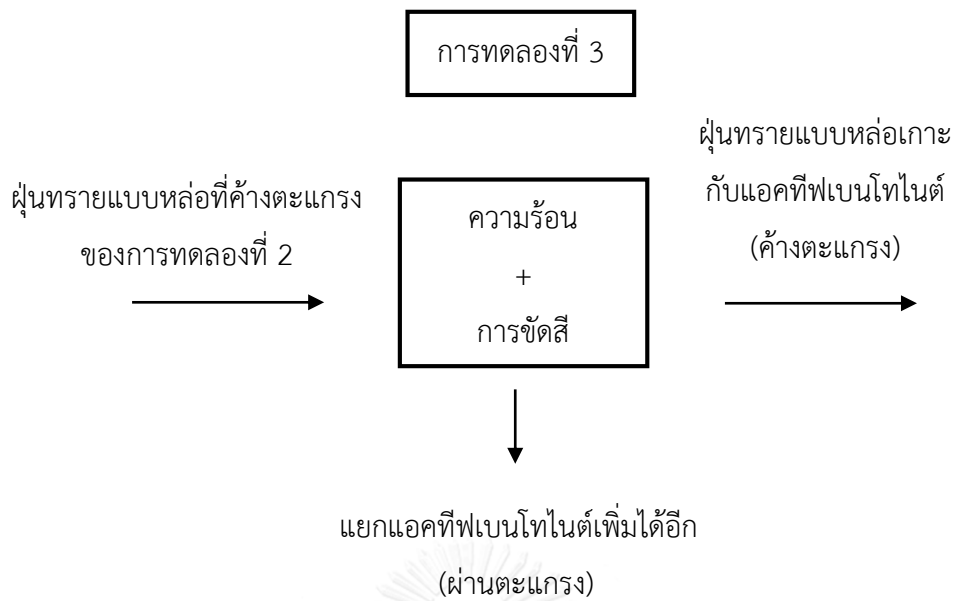


ภาพที่ 3.4 แผนผังแสดงขั้นตอนและแนวคิดของการทดลองที่ 2

สมมติฐาน
ขั้นตอน
ทีฟเบนโทไนต์
ตัวแปรต้น

แยกแอกทีฟเบนโทไนต์จะเกาะติดกับผู้ทรงรายแบบหล่อ
ให้ความร้อนเพื่อระเหยน้ำออกไปลดการเกาะติดกันของผู้ทรงรายแบบหล่อกับแอก

1. อุณหภูมิ
 - 80 องศาเซลเซียส
 - 100 องศาเซลเซียส
 - 120 องศาเซลเซียส
 - 150 องศาเซลเซียส
 - 180 องศาเซลเซียส
 - 200 องศาเซลเซียส
2. เวลาในการให้ความร้อน
 - 30 นาที
 - 60 นาที
 - 90 นาที
 - 120 นาที



ภาพที่ 3.5 แผนผังแสดงขั้นตอนและแนวคิดของการทดลองที่ 3

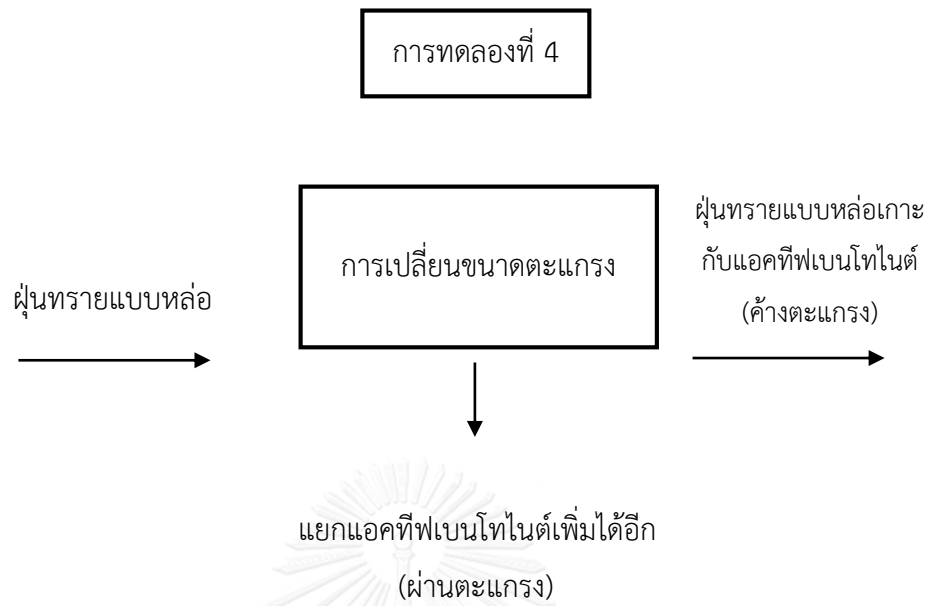
สมมติฐาน เพิ่มการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ยังเหลือเกาะติดกับฝุ่นทรายแบบหล่อ
ขั้นตอน ใช้แรงขัดสีเพื่อให้แอกทีฟเบนโทไนด์หลุดแยกเพิ่มขึ้น
ตัวแปรต้น

1. ความเร็วรอบ

- 500 รอบต่อนาที
- 1,500 รอบต่อนาที
- 2,500 รอบต่อนาที
- 5,000 รอบต่อนาที

2. เวลาในการขัดสี

- 2 นาที
- 3 นาที
- 5 นาที
- 10 นาที
- 15 นาที



ภาพที่ 3.6 แผนผังแสดงขั้นตอนและแนวคิดของการทดลองที่ 4

สมมุติฐาน เพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของแอคทีฟเบนโทไนต์ขนาดเล็กที่ยังเหลือเกาะติดอยู่กับผู้ชมทรายแบบหล่อ

ขั้นตอน เปลี่ยนขนาดตะแกรงเพื่อเพิ่มความเข้มข้นแอคทีฟเบนโทไนต์ให้มากขึ้น

ตัวแปรต้น

1 ขนาดตะแกรง

- เบอร์ 325 (45 ไมครอน)

- เบอร์ 400 (38 ไมครอน)

- เบอร์ 500 (25 ไมครอน)

3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพ คือ การตรวจลักษณะพื้นที่ผิวด้วยเครื่องมือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Scanning Electron Microscopy : SEM) ของตัวอย่าง A ตัวอย่าง B เพื่อการเกาะติดเชื่อมประสานของเบนโทไนต์กับฝุ่นทรายแบบหล่อ และการดูขนาดอนุภาคด้วยเครื่องมือ Laser Particle Size Distribution Analyzer ของแต่ละวัตถุดิบในการทำแบบหล่อทราย คือ เบนโทไนต์บริสุทธิ์และผงถ่านหิน และดูขนาดอนุภาคของตัวอย่าง A และตัวอย่าง B เพื่อใช้ในการเลือกขนาดตะแกรง สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1

การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนต์ จะวิเคราะห์ออกมาในรูปของร้อยละแอกทีฟเบนโทไนต์ ด้วยวิธี Methylene Blue Procedure ASTM C 837-99 เมทิลีนบลูจะถูกดูดซับที่ชั้นอินเทอร์เลเยอร์ของแอกทีฟเบนโทไนต์ แต่เดทเบนโทไนต์ไม่สามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้ (Yener และคณะ, 2012) ส่วนการวิเคราะห์ร้อยละนอนแอกทีฟเบนโทไนต์สามารถคำนวณได้ดังภาคผนวกที่ ค สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและความบริสุทธิ์ของฝุ่นทรายแบบหล่อ

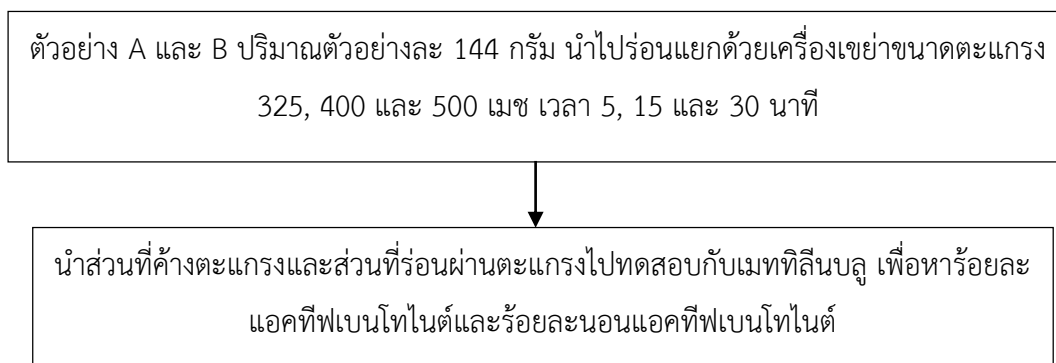
พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือวิเคราะห์
ลักษณะพื้นที่ผิว	Scanning Electron Microscopy (SEM)
ขนาดอนุภาค	Laser Particle Size Distribution Analyzer
ร้อยละ Active Bentonite	Methylene Blue Procedure ASTM C 837-99
ร้อยละ Non Active Bentonite	Total Bentonite - Active Bentonite

3.5 การดำเนินการวิจัย

3.4.1 ขั้นตอนการทดลองที่ 1 การแยกเบื้องต้น

ทำการศึกษาขนาดตะแกรงที่เหมาะสมต่อการร่อนแยกส่วนที่ไม่ต้องการออกไปก่อนคือ แยกนอนแอกทีฟเบนโทไนต์ออกไปก่อนให้มากที่สุด ซึ่งพิจารณาจากขนาดอนุภาคของตัวอย่าง A ตัวอย่าง B และเบนโทไนต์ ที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 3 – 39 ไมครอน จึงเลือกใช้ขนาดตะแกรง 325 เมช (45 ไมครอน) 400 เมช (38 ไมครอน) และ 500 เมช (25 ไมครอน) ในการร่อนแยกด้วยเครื่องเขย่า เริ่มต้นนำตัวอย่าง A และ B อย่างละ 150 กรัม นำไปทดสอบร้อยละแอกทีฟเบนโทไนต์และร้อยละนอนแอกทีฟเบนโทไนต์เริ่มต้น เหลืออยู่ตัวอย่างละ 144 กรัม ไปร่อนแยกด้วยเครื่องเขย่าด้วยขนาดตะแกรงดังนี้คือ ขนาดตะแกรง 325 เมช (45 ไมครอน) ขนาดตะแกรง 400 เมช (38 ไมครอน) และ

ขนาดตะแกรง 500 เมช (25 ไมครอน) ที่เวลา 5, 15 และ 30 นาที ตามลำดับ นำส่วนที่ผ่านและค้างบนตะแกรงไป ไตเตรทหาคาร์บอนแอคทีฟเบนโทไนด์และร้อยละนอนแอคทีฟเบนโทไนด์ โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ดังภาพที่ 3.7

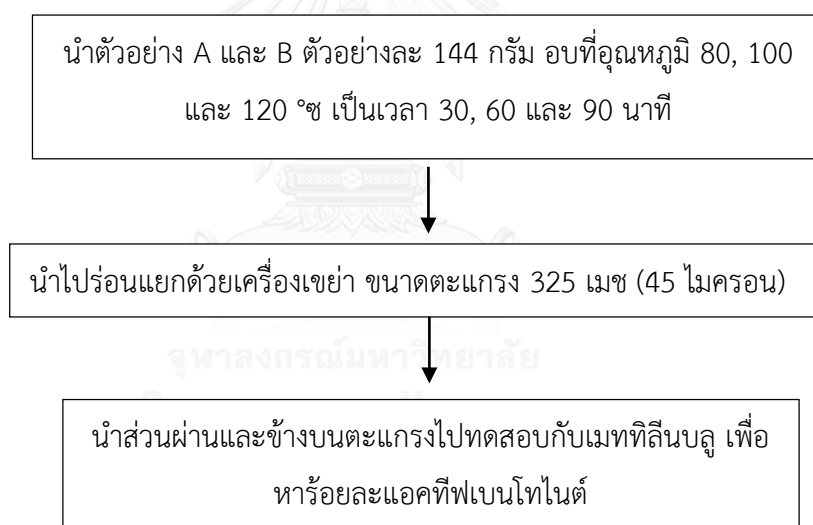


ภาพที่ 3.7 แผนผังการทดลองที่ 1

- ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่ 1
 - ตัวแปรต้นประกอบด้วย ขนาดตะแกรงต่างๆ คือ ขนาดตะแกรง 325 เมช (45ไมครอน) ขนาดตะแกรง 400 เมช (38 ไมครอน) ขนาดตะแกรง 500 เมช (25 ไมครอน) เวลาในการร่อน 5, 15 และ 30 นาที
 - ตัวแปรตามคือ ร้อยละนอนแอคทีฟเบนโทไนด์
 - ตัวแปรควบคุมคือ ความชื้นในบรรยากาศระหว่างการทดลองต้องน้อยกว่าร้อยละ 65 เพราะเป็นความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการแยกแอคทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ แต่ถ้าความชื้นในบรรยากาศมากกว่าร้อยละ 65 จะส่งผลให้ร้อยละแอคทีฟเบนโทไนด์ที่ได้น้อยลง
- จากการทดลองที่ 1 เพื่อต้องการแยกนอนแอคทีฟเบนโทไนด์ออกไปก่อนให้ได้ปริมาณมากที่สุด ให้เหลือฝุ่นทรายแบบหล่อเกาะกับแอคทีฟเบนโทไนด์ค้างอยู่บนตะแกรง เมื่อได้ผลของพารามิเตอร์ร้อยละนอนแอคทีฟเบนโทไนด์ที่มีค่าเหมาะสมที่สุด จะเป็นตัวชี้วัดบอกถึงสภาวะการร่อนที่ขนาดตะแกรงและเวลาในการร่อนที่ดีที่สุดของการทดลองที่ 1

3.4.2 ขั้นตอนการทดลองที่ 2 การให้ความร้อน

ทำการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนของตัวอย่าง A และ B ที่ดีที่สุด เพื่อระเหยน้ำอิสระออกจากแอคทีฟเบนโทไนด์ที่เกาะเชื่อมประสานตัวอย่าง A และ B ให้แอคทีฟเบนโทไนด์เกิดการร่อนออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อแล้วหลุดแยกออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อด้วยการเขย่าด้วยตะแกรง โดยเริ่มจากนำตัวอย่าง A และ B ตัวอย่างละ 150 กรัม นำไปทดสอบร้อยละแอคทีฟเบนโทไนด์และร้อยละนอนแอคทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้น เหลืออยู่ตัวอย่างละ 144 กรัม จากนั้นอบด้วยเตาอบ (Oven) ยี่ห้อ Binder รุ่น F115 เพื่อหาอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่ดีที่สุด โดยใช้อุณหภูมิที่ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส และเวลาในการให้ความร้อน 30, 60 และ 90 นาที ตามลำดับ เมื่ออบเสร็จนำเก็บที่โถดูดความชื้น แล้วนำไปร่อนแยกด้วยเครื่องเขย่าโดยใช้ขนาดตะแกรง 325 เมช (45 ไมครอน) นำส่วนที่ค้างบนและผ่านตะแกรงไปทดสอบกับเมทิลีนบลู เพื่อทำการทดลอง 3 ซ้ำ ดังภาพที่ 3.8



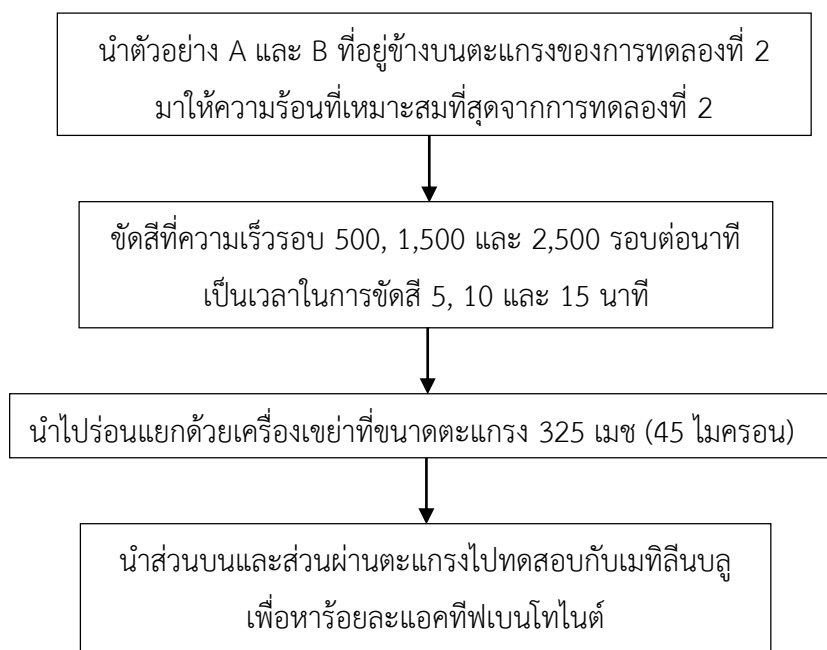
ภาพที่ 3.8 แผนผังการทดลองที่ 2

- วิเคราะห์ทางสถิติของสภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง
- ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่ 2
 - ตัวแปรต้นประกอบด้วย
 - อุณหภูมิในการอบตัวอย่าง 80, 100 และ 120 °ซ
 - เวลาในการให้ความร้อน 30, 60 และ 90 นาที

- ตัวแปรตามคือ ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์เพื่อดูสถานะเหมาะสมว่าอุณหภูมิและเวลาเท่าใดที่เหมาะสมต่อการลดการเชื่อมประสานให้แอกทีฟเบนโทไนด์ที่เกาะฝุ่นทรายแบบหล่อหลุดแยกกัน
 - ตัวแปรควบคุมคือ ความชื้นในบรรยากาศระหว่างการทดลองต้องน้อยกว่าร้อยละ 65 เพราะเป็นความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ แต่ถ้าความชื้นในบรรยากาศมากกว่าร้อยละ 65 จะส่งผลให้ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ได้ลดลง
- จากการทดลองที่ 2 ทำการระเหยน้ำอิสระแอกทีฟเบนโทไนด์ลดการเชื่อมประสานฝุ่นทรายแบบหล่อ เพื่อให้ได้แอกทีฟเบนโทไนด์กลับมาใช้ใหม่ โดยเลือกจากค่าร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์ที่มีค่าเหมาะสมที่สุดของสถานะการทดลองไปทดลองต่อในการทดลองที่ 3 โดยนำตัวอย่างฝุ่นทรายแบบหล่อที่ค้างบนตะแกรงของการทดลองที่ 2 ไปทดลองที่ 3 ต่อ

3.4.3 ขั้นตอนการทดลองที่ 3 การขัดสีร่วมกับความร้อน

ทำการศึกษาความเร็วรอบในการขัดสีและเวลาในการขัดสีที่เหมาะสมต่อการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ให้หลุดออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อได้มากขึ้น โดยการใช้เครื่องมือหเวียง ยี่ห้อ Boeco รุ่น C-28 โดยเริ่มจากนำตัวอย่าง A และ B ที่ค้างบนตะแกรง 325 เมชจากการทดลองที่ 2 มาให้ความร้อนที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ 2 จากนั้นไปขัดสีด้วยเครื่องมือหเวียงโดยใช้หลอดปั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ความยาวหลอด 12 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางฝา 3.5 เซนติเมตร ด้วยความเร็วรอบในการขัดสี 500, 1,500 และ 2,500 รอบต่อนาที และเวลาในการขัดสี 5, 10 และ 15 นาที ตามลำดับ สุดท้ายนำไปร่อนแยกด้วยเครื่องเขย่าที่ขนาดตะแกรง 325 เมช (45 ไมครอน) แล้วนำส่วนที่อยู่ค้างบนตะแกรงและส่วนที่ผ่านตะแกรงไปไตเตรทหา ค่าร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์ โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 แผนผังการทดลองที่ 3

- วิเคราะห์ทางสถิติของสภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง
- ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่ 3
 - ตัวแปรต้นประกอบด้วย
 - เวลาในการปั่น 5, 10 และ 15 นาที
 - ความเร็วรอบในการปั่น 500, 1,500 และ 2,500 รอบต่อนาที
 - ตัวแปรตาม คือ ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์เพื่อดูสภาวะการทดลองที่ดีที่สุดของการทดลองว่าความเร็วรอบและเวลาในการจัดสีที่เหมาะสมต่อการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ
 - ตัวแปรควบคุมประกอบด้วย
 - ความชื้นในการทดลองต้องน้อยกว่าร้อยละ 65 เพราะเป็นความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ แต่ถ้าความชื้นในบรรยากาศมากกว่าร้อยละ 65 จะส่งผลให้ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ได้ลดลง

○ อุณหภูมิที่ในการอบและเวลาในการให้ความร้อนเลือกจากสภาวะ
ที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2

- จากการทดลองที่ 3 เพื่อเพิ่มการแยกโดยการขัดสีให้แอกทีฟเบนโทไนด์หลุดจากฝุ่นทรายแบบห่อมากขึ้นแล้วให้แอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงได้ในปริมาณที่มากขึ้นกว่าเดิม เมื่อได้สภาวะที่ดีที่สุดของการทดลองที่ 2 การให้ความร้อน และการทดลองที่ 3 การขัดสี จึงนำสภาวะการทดลองที่ดีที่สุดไปใช้ต่อในการทดลองที่ 4

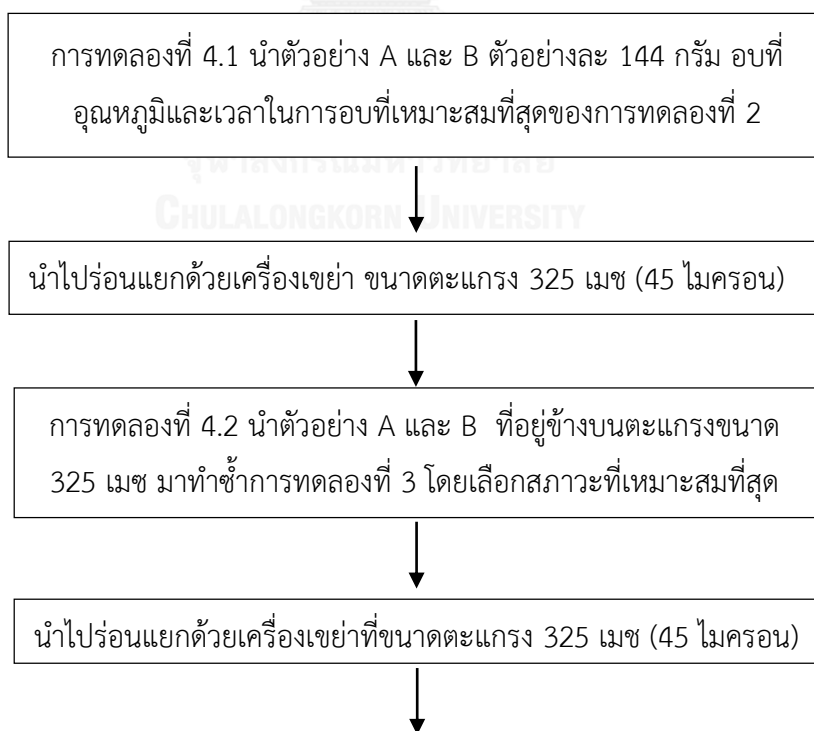
3.4.4 ขั้นตอนการทดลองที่ 4 การเปลี่ยนขนาดตะแกรง

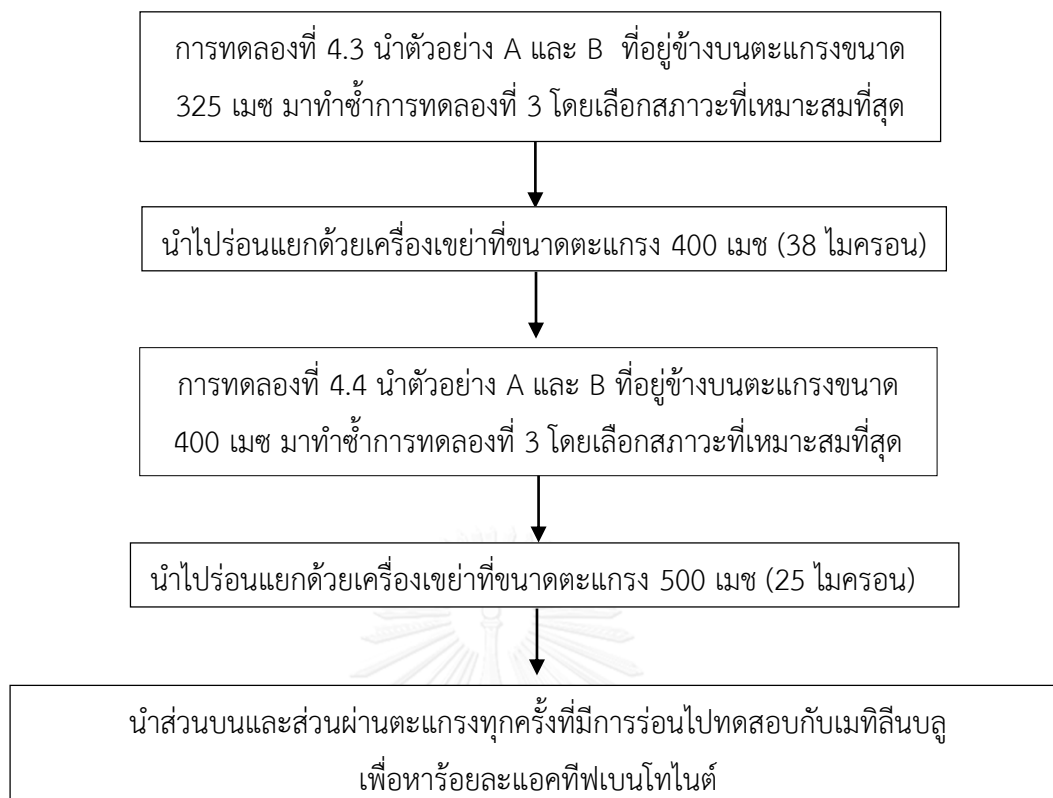
ทำการศึกษขนาดตะแกรงต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์หลุดออกจากฝุ่นทรายแบบห่อได้ดีขึ้น เลือกสภาวะที่ดีที่สุดของการทดลองที่ 2 และการทดลองที่ 3 เพื่อใช้ในการทดลองที่ 4 เริ่มต้นนำตัวอย่าง A และ B ตัวอย่างละ 150 กรัม นำไปทดสอบร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์และร้อยละนอนแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้น เหลืออยู่ตัวอย่างละ 144 กรัม จากนั้นให้ความร้อนตัวอย่างฝุ่นทรายแบบห่อที่อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่ดีที่สุดของการทดลองที่ 2 ร้อนแยกที่ขนาดตะแกรง 325 เมช (การทดลองที่ 4.1) จากนั้นนำส่วนที่อยู่ค้ำตะแกรง 325 เมช ไปอบใหม่ที่อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2 เมื่ออบเสร็จเรียบร้อย นำไปขัดสีที่ความเร็วรอบและเวลาในการขัดสีที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ 3 แล้วร้อนแยกด้วยขนาดตะแกรง 325 เมช (การทดลองที่ 4.2) ต่อจากนั้นนำส่วนที่ค้ำตะแกรง 325 เมช ไปอบใหม่ที่อุณหภูมิและเวลาที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2 เมื่ออบเสร็จเรียบร้อย นำไปขัดสีที่ความเร็วรอบและเวลาในการขัดสีที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ 3 แล้วร้อนแยกด้วยขนาดตะแกรง 400 เมช (การทดลองที่ 4.3) ท้ายสุดนำส่วนที่อยู่ค้ำตะแกรง 400 เมชไปอบใหม่ที่อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2 เมื่ออบเสร็จเรียบร้อย นำไปขัดสีที่ความเร็วรอบและเวลาที่ที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ 3 แล้วร้อนแยกด้วยขนาดตะแกรง 500 เมช (การทดลองที่ 4.4) ทุกครั้งที่มีการร้อนจะนำส่วนที่อยู่ค้ำบนตะแกรงและส่วนที่ผ่านตะแกรงไปไตเตรทหาค่าร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์ โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ดังภาพที่ 3.10

- วิเคราะห์ทางสถิติของสภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง
- สมดุลมวลของตัวอย่าง A และ B
- ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่ 4

- ตัวแปรต้นประกอบด้วย ตะแกรงขนาด 325, 400 และ 500 เมช

- ตัวแปรตามคือ ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์เพื่อดูสถานะการทดลองที่เหมาะสมของการเปลี่ยนขนาดตะแกรงต่อการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ
- ตัวแปรควบคุมประกอบด้วย
 - ความชื้นในการทดลองให้น้อยกว่าร้อยละ 65 ของความชื้นในบรรยากาศ เพราะเป็นความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ แต่ถ้าความชื้นในบรรยากาศมากกว่าร้อยละ 65 จะส่งผลให้ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ได้ลดลง
 - อุณหภูมิที่ในการอบและเวลาในการให้ความร้อนเลือกจากสถานะที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2
 - ความเร็วในการขัดสีและเวลาในการขัดสีเลือกจากสถานะที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 3





ภาพที่ 3.10 แผนผังการทดลองที่ 4

- จากการทดลองที่ 4 เพื่อเพิ่มการแยกของแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อได้ดีขึ้น และลดขนาดตะแกรงเพื่อให้แอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงได้โดยไม่มีอนุแอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงลงมาด้วย

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการอภิปรายข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการแยกเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ โดยฝุ่นทรายแบบหล่อที่ใช้ในงานวิจัยนี้มาจากขั้นตอนการผลิตลูกเหล็กโลหะ โดยนำฝุ่นทรายแบบหล่อมารับขั้นตอนการทดลองย่อยทั้งหมด 4 การทดลองคือ การแยกเบื้องต้น การให้ความร้อน การให้ความร้อนร่วมกับการขัดสี และการเปลี่ยนขนาดตะแกรง โดยสามารถนำเสนอผลการทำงานได้ ดังนี้

- 1) สมบัติทางกายภาพของฝุ่นทรายแบบหล่อ
- 2) การแยกเบื้องต้นโดยใช้ตะแกรงขนาดต่างๆ
- 3) การให้ความร้อนและร้อนแยก
- 4) การให้ความร้อน ขัดสี และร้อนแยก
- 5) การเปลี่ยนขนาดตะแกรง
- 6) การประเมินเศรษฐศาสตร์

4.1 สมบัติทางกายภาพของฝุ่นทรายแบบหล่อ

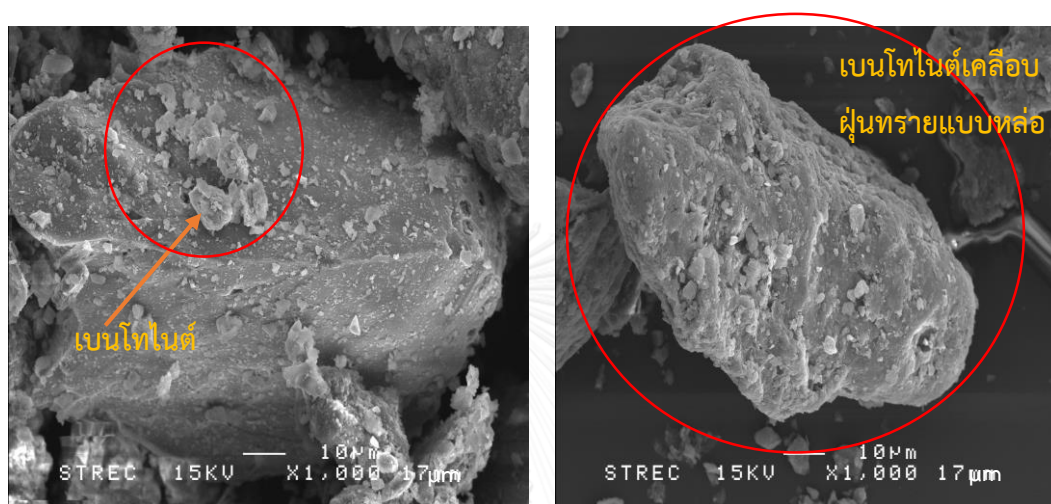
การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของฝุ่นทรายแบบหล่อ ทำเพื่อทดสอบสมมติฐานของแต่ละขั้นตอนย่อย ทั้งนี้ในการวิจัยของฝุ่นทรายแบบหล่อประกอบด้วย ฝุ่นทราย เบนโทไนด์ ฝุ่นถ่านหิน เมื่อนำมาประกอบทั้งสามมารวมกันจึงเรียกว่า ฝุ่นทรายแบบหล่อ สมบัติทางกายภาพจะประกอบไปด้วยการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer :XRD) ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer และการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียหลังเผา (Loss of ignition : LOI)

4.1.1 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer :XRD)

การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ผลแสดงดังภาพในภาคผนวก ฉ จากการวิเคราะห์พบว่า เบนโทไนด์ในวัตถุดิบของ ตัวอย่าง A และตัวอย่าง B มีโครงสร้างผลึกของแรมมอนต์โมริลโรไนต์อยู่ในช่วงเท่ากับ 20 - 30 องศา (Zhironga และคณะ, 2011) ทั้งนี้แรมมอนต์โมริลโรไนต์เป็นส่วนประกอบหลักของเบนโทไนด์

4.1.2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope :SEM)

เพื่อศึกษาลักษณะการเกาะติดของเบนโทไนด์บนฝุ่นทรายแบบห่อ จะใช้ภาพถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยายต่างๆ โดยที่ของเสียฝุ่นทรายแบบห่อที่ใช้ในงานวิจัยมี 2 ตัวอย่างคือ ตัวอย่าง A และตัวอย่าง B ดังแสดงในภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 ตัวอย่าง A กำลังขยาย 1,000 เท่า ภาพที่ 4.2 ตัวอย่าง B กำลังขยาย 1,000 เท่า

พบว่าที่กำลังขยาย 1,000 เท่า ตามภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2 ตัวอย่าง A มีเบนโทไนด์เกาะที่ผิวฝุ่นทรายแบบห่อในรูปแบบเป็นจุด ส่วนตัวอย่าง B มีเบนโทไนด์เกาะเคลือบบนผิวของฝุ่นทรายแบบห่อ และมีปริมาณในการเคลือบหนาแน่นมากกว่าตัวอย่าง A การเคลือบหรือการยึดเกาะนี้จะเกิดเมื่อเบนโทไนด์มีน้ำเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างชั้นของแรมมอนต์โมริลโลไนต์ (Cannon และคณะ, 2005) และเมื่อมีการเกาะติดประสานที่ดี อาจจะทำให้เกิดผลของการร่อนแยกที่ไม่ดีจึงอาจจะต้องเพิ่มกระบวนการอื่นๆ ด้วย

4.1.3 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer

การวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer เพื่อให้ทราบถึงการกระจายของขนาดอนุภาคของตัวอย่าง A, B และวัตถุดิบเบนโทไนด์ และขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย (d_{50}) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งจะนำไปสู่การเลือกขนาดรูตะแกรงที่เหมาะสมในงานวิจัยครั้งนี้ จากภาคผนวก ข แสดงขนาดอนุภาคของวัตถุดิบเบนโทไนด์อยู่ในช่วง 0.42 – 103.58 ไมครอน โดยมี d_{50}

เท่ากับ 3.22 ไมครอน ขนาดอนุภาคของตัวอย่าง A มีการกระจายในช่วง 0.46 – 399.55 ไมครอน โดยมี d_{50} เท่ากับ 39 ไมครอน และขนาดอนุภาคตัวอย่าง B อยู่ในช่วง 0.46 – 515.77 ไมครอน และมี d_{50} เท่ากับ 25 ไมครอน เพื่อให้เหมาะสมกับการแยกขนาดอนุภาคโดยขนาดรูตะแกรง โดยอนุภาคมีขนาดอยู่ในช่วง 3 – 39 ไมครอน จึงเลือกใช้รูดเปิดที่มีขนาด 45, 38 และ 25 ไมครอน (เบอร์ 325, 400 และ 500 เมช) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย (d_{50}) ของอนุภาคตัวอย่าง A, B และเบนโทไนต์บริสุทธิ์

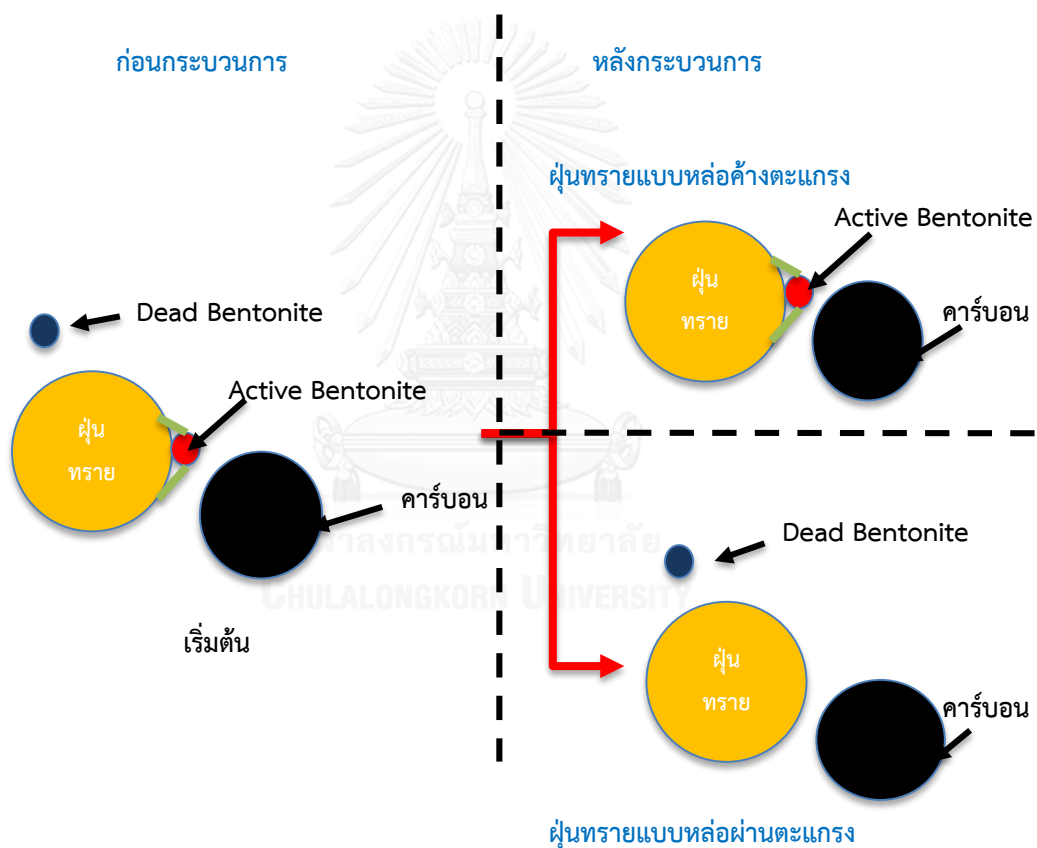
อนุภาค	ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย (d_{50}) (ไมครอน)	การกระจายของ ขนาดอนุภาค (ไมครอน)
ตัวอย่าง A	39.05	0.46 – 399.55
ตัวอย่าง B	25.25	0.46 – 515.77
วัตถุดิบเบนโทไนต์	3.22	0.42 – 103.58

4.1.4 การวิเคราะห์ค่าการสูญเสียหลังเผา (Loss of ignition : LOI)

ค่าสูญเสียหลังเผา คือ การสูญเสียน้ำหนักของสารอินทรีย์ในดินรวมกับปริมาณน้ำในโครงสร้างดินที่สลายตัวไปเมื่ออุณหภูมิสูง ซึ่งปริมาณน้ำในโครงสร้างของดินแต่ละชนิดหรือแต่ละแหล่งมีค่าไม่เท่ากัน จากการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียหลังเผา โดยการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมงของตัวอย่าง A และตัวอย่าง B พบว่ามีค่าร้อยละการสูญเสียหลังเผาเท่ากับ 8.01, 16.25 ตามลำดับ แสดงว่าตัวอย่าง B พบสารอินทรีย์และน้ำในโครงสร้างมากกว่าตัวอย่าง A และปริมาณสารอินทรีย์ในดินจะบอกถึงค่าความเหนียวของดินได้ ดินที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงก็จะมีค่าความเหนียวที่ดีซึ่งก็คือ ปริมาณเบนโทไนต์และน้ำในโครงสร้างที่มีในตัวอย่าง B มากกว่าตัวอย่าง A ส่งผลให้ตัวอย่าง B มีการเชื่อมประสานที่ดี

4.2 การทดลองที่ 1 การแยกเบื้องต้น

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อแยกส่วนที่ไม่ต้องการคือ นอนแอคทีฟเบนโทไนต์ (Non Active Bentonite) ออกไปก่อน โดยใช้ขนาดตะแกรงที่มีรูเปิดขนาด 325, 400 และ 500 เมช เป็นตัวคัดขนาด (Steele และ Huff, 2003) และใช้เวลาในการร่อนแยกที่ 5, 15 และ 30 นาที ทั้งนี้เดทเบนโทไนต์ (Dead Bentonite) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของนอนแอคทีฟเบนโทไนต์จะร่วงผ่านตะแกรงลงมา แต่แอคทีฟเบนโทไนต์ (Active Bentonite) จะสามารถเกาะกับฝุ่นทรายแบบหล่อค้างอยู่บนตะแกรงได้ โดยสามารถถูกนำไปแยกต่อไปได้ ทั้งนี้หากแอคทีฟเบนโทไนต์ร่วงลงมามากจะไม่ทำการทดลองนี้ ต่อ สมมติฐานข้างต้นนี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 แนวคิดสมมติฐานของการแยกเบื้องต้น

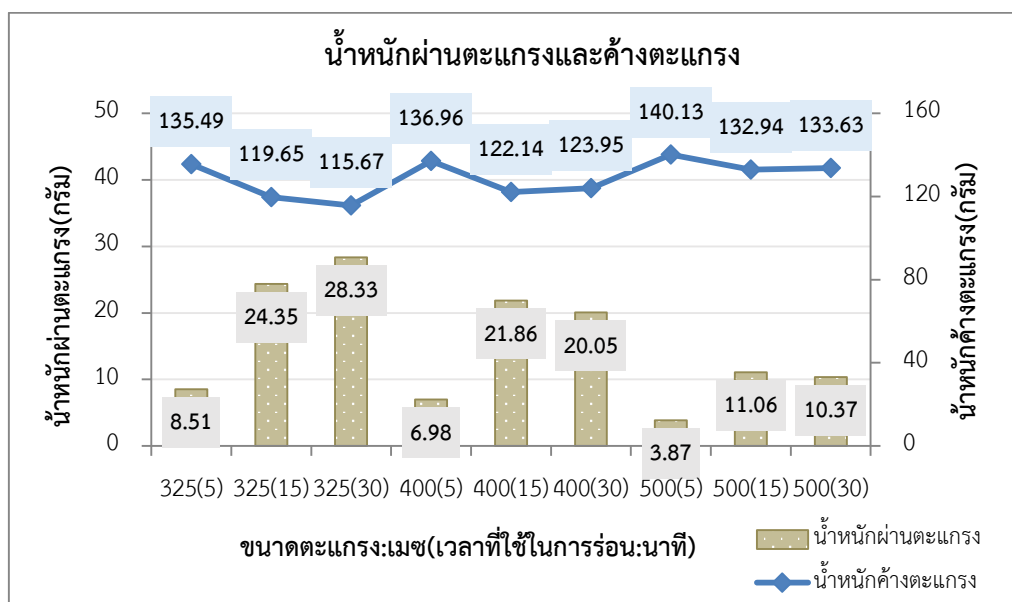
ทั้งนี้ลำดับการนำเสนอและวิเคราะห์ผลการทดลองนี้จะเป็นดังนี้

1. น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงและน้ำหนักที่ค้างตะแกรง
2. อัตราเร็วในการไหลของฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง
3. ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของนอนแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรง
4. ศึกษาว่ามีการปนเปื้อนของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงลงมาหรือไม่ จากร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรง



4.2.1 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรง

ตัวอย่าง A



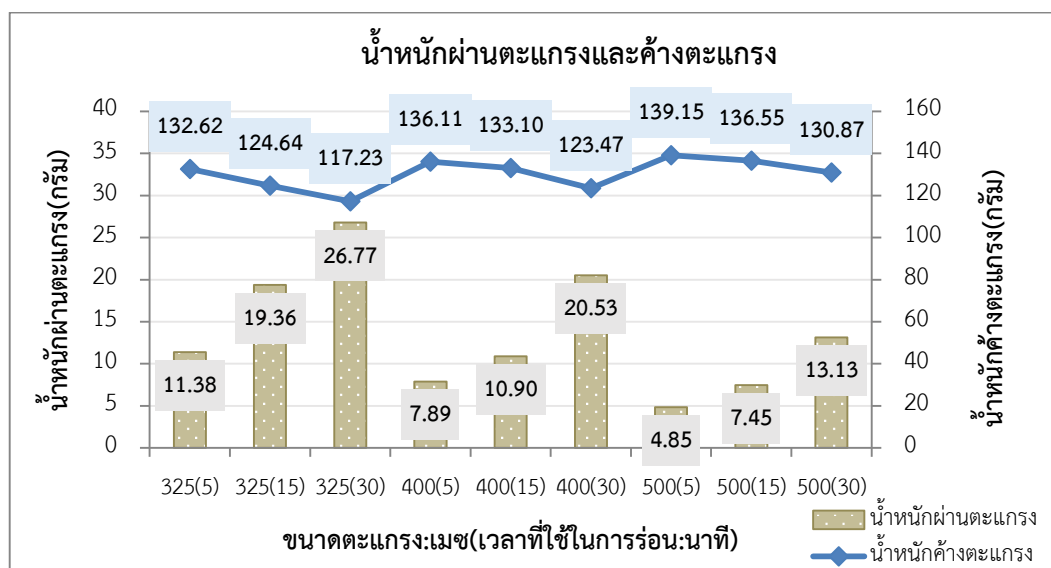
ภาพที่ 4.4 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรงของตัวอย่าง A การทดลองที่ 1

จากภาคผนวกที่ ง และภาพที่ 4.4 น้ำหนักเริ่มต้นใช้ฝุ่นทรายแบบหล่อที่ 144 กรัม พบว่า น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อค้ำตะแกรงในการทดลองนี้อยู่ในช่วง 115.67 – 140.13 กรัม และน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงอยู่ในช่วง 3.87 – 28.33 กรัม เมื่อพิจารณาร้อยละการนำกลับคืนของฝุ่นทรายแบบหล่อค้ำตะแกรงและผ่านตะแกรง พบว่าที่ทุกสภาวะการทดลองร้อยละการนำกลับคืนของน้ำหนักร้อยละค้ำตะแกรงในการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วงร้อยละ 80 - 97 และที่ผ่านตะแกรงอยู่ในช่วงร้อยละ 2 - 20

โดยที่ขนาดตะแกรง 325 เมช น้ำหนักฝุ่นทรายผ่านตะแกรงมากที่สุดอยู่ที่เวลา 30 นาที เท่ากับ 28.33 กรัม ที่ขนาดตะแกรง 400 เมช ปริมาณน้ำหนักร้อยละผ่านตะแกรงมากที่สุดที่เวลาในการร่อน 15 นาทีเท่ากับ 21.86 กรัม และที่ขนาดตะแกรง 500 เมช ปริมาณน้ำหนักร้อยละผ่านตะแกรงมากที่สุดที่เวลาในการร่อน 15 นาทีเท่ากับ 11.06 กรัม ทั้งนี้จากการทดลองทุกสภาวะพบว่าปริมาณตัวอย่าง A ที่ขนาดตะแกรง 325 เมช ตกลงมาปริมาณมากที่สุดที่เวลาในการร่อน 30 นาที แต่ที่ขนาดตะแกรง 400 และ 500 เมช พบว่าที่เวลาในการร่อน 15 นาที แสดงให้เห็น

ว่า ขนาดตะแกรง 325 เมชเกิดการอุดตันน้อยมาก แต่ที่ขนาดตะแกรงรูเปิดขนาด 400 เมช และ 500 เมช เกิดการอุดตันของตะแกรงตั้งแต่วันที่เวลา 15 นาที เป็นต้นไป

ตัวอย่าง B



ภาพที่ 4.5 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรงของตัวอย่าง B การทดลองที่ 1

จากภาคผนวกที่ ง และภาพที่ 4.5 เริ่มการทดลองที่น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อ 144 กรัม พบว่าน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อค้ำตะแกรงในการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วง 117.23 – 139.15 กรัม และน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงอยู่ในช่วง 4.85 – 26.77 กรัม เมื่อพิจารณาถึงร้อยละการนำกลับคืนมาของฝุ่นทรายแบบหล่อ พบว่าที่ทุกสภาวะการทดลองร้อยละการนำกลับคืนของน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อค้ำตะแกรงในการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วงร้อยละ 81 - 96 และที่ผ่านตะแกรงอยู่ในช่วงร้อยละ 2 - 18

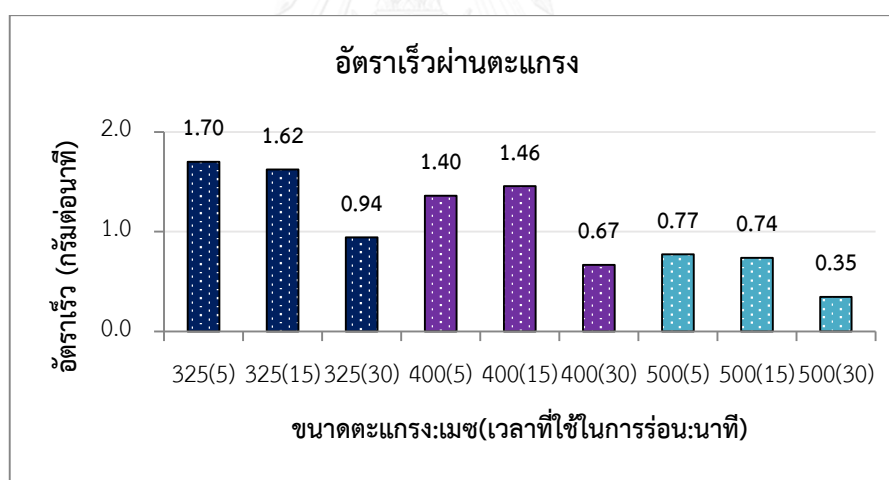
โดยที่ขนาดตะแกรง 325 เมช ปริมาณน้ำหนักรับผ่านตะแกรงมากที่สุดอยู่ที่เวลาในการร่อน 30 นาทีเท่ากับ 26.77 กรัม ที่ขนาดตะแกรง 400 เมช ปริมาณน้ำหนักรับผ่านตะแกรงมากที่สุดอยู่ที่เวลาในการร่อน 30 นาทีเท่ากับ 20.53 กรัม และที่ขนาดตะแกรง 500 เมช ปริมาณน้ำหนักรับผ่านตะแกรงมากที่สุดอยู่ที่เวลาในการร่อน 30 นาทีเท่ากับ 13.13 กรัม

ดังนั้นที่เวลาในการร่อน 30 นาที ตัวอย่าง B ตกผ่านตะแกรงลงมาปริมาณมากที่สุด โดยเฉพาะที่ขนาดตะแกรง 325 เมช ตัวอย่าง B จะตกผ่านตะแกรงลงมาปริมาณมากที่สุด แสดงให้เห็นว่า ตะแกรงรูเปิดขนาดใหญ่ ตัวอย่าง B สามารถตกลงมาได้มากกว่าตะแกรงรูเปิดขนาดเล็ก ซึ่งหมายความว่าตะแกรงรูเปิดขนาดใหญ่มีผลต่อการคัดขนาดอนุภาคฝุ่นทรายแบบหล่อ เมื่อพิจารณาถึง น้ำหนักผ่านตะแกรง พบว่าตัวอย่าง A มีแนวโน้มว่าตะแกรงเริ่มเกิดการอุดตัน ส่วนตัวอย่าง B มีแนวโน้มว่าตะแกรงไม่เกิดการอุดตัน จึงต้องพิจารณาร่วมกับอัตราเร็วผ่านตะแกรงเพื่อดูการอุดตันของ ตะแกรงที่แท้จริง

4.2.2 อัตราเร็วฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง

บอกอัตราการอุดตันและความสามารถในการเชื่อมประสานของตัวอย่าง A และตัวอย่าง B ซึ่งเป็นไปตามภาพ 4.6 – 4.7 ดังนี้

ตัวอย่าง A



ภาพที่ 4.6 อัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 1

จากการทดลองแยกส่วนที่ไม่ต้องการออกไปก่อนของตัวอย่าง A แสดงในภาคผนวกที่ ๓ และ ภาพที่ 4.6 แสดงอัตราเร็วผ่านตะแกรงแต่ละขนาดตะแกรง พบว่าอัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A ในการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วง 0.35 - 1.70 กรัมต่อนาที โดยที่ขนาดตะแกรง 325 เมช อัตราเร็วผ่านตะแกรงที่สูงที่สุดคือที่เวลา 5 นาทีเท่ากับ 1.70 กรัมต่อนาที เมื่อเวลาในการร่อนแยกเพิ่มขึ้น แสดง

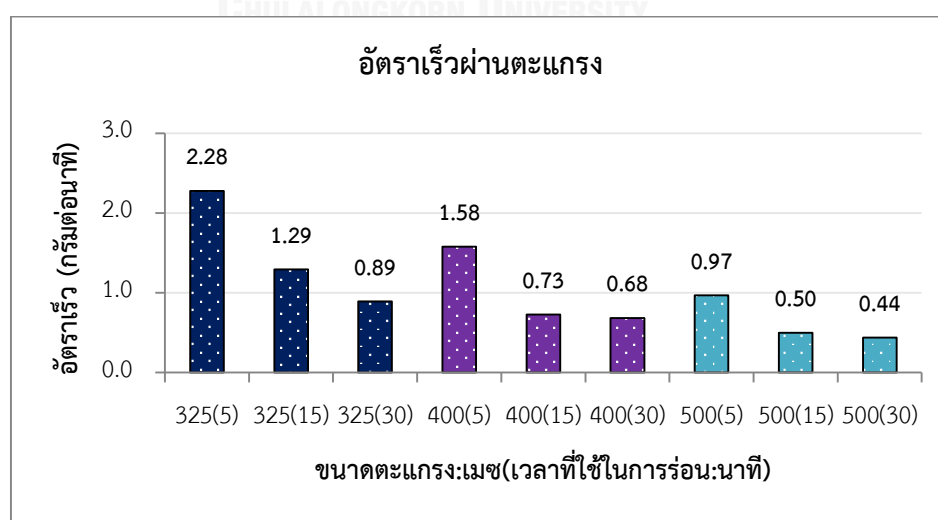
ให้เห็นว่าเกิดการผ่านของตัวอย่าง A ที่ช้าลงที่เวลา 15 และ 30 นาที เพราะว่าอัตราเร็วที่ผ่านตะแกรงลดลงเท่ากับ 1.62 และ 0.94 กรัมต่อนาที ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการอุดตันของตะแกรง

ส่วนที่ขนาดตะแกรง 400 เมช อัตราเร็วผ่านตะแกรงที่สูงที่สุดคือ ที่เวลา 15 นาทีเท่ากับ 1.46 กรัมต่อนาที เมื่อเวลาในการร่อนแยกเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเกิดการผ่านของตัวอย่าง A ที่ช้าลงที่เวลา 30 นาที อัตราเร็วที่ผ่านตะแกรงลดลงเท่ากับ 0.94 กรัมต่อนาที แสดงให้เห็นถึงการอุดตันของตะแกรง

และที่ขนาดตะแกรง 500 เมช อัตราเร็วผ่านตะแกรงที่สูงที่สุดคือ ที่เวลา 5 นาทีเท่ากับ 0.77 กรัมต่อนาที เมื่อเวลาในการร่อนแยกเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเกิดการผ่านของตัวอย่าง A ที่ช้าลงที่เวลา 15 และ 30 นาที เพราะว่าอัตราเร็วผ่านตะแกรงลดลงเท่ากับ 0.74 และ 0.35 กรัมต่อนาที ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการอุดตันของตะแกรง

จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าทุกขนาดตะแกรงที่เวลา 5 และ 15 นาที มีอัตราเร็วผ่านตะแกรงใกล้เคียงกันแสดงว่าตะแกรงมีการอุดตันน้อยมากหรือไม่มี แต่ที่เวลา 30 นาที ลดลงจากอัตราเร็วที่ผ่านตะแกรง 15 นาทีเท่ากับร้อยละ 42 – 52 แสดงให้เห็นว่าทุกขนาดตะแกรงมีการอุดตันอย่างชัดเจนหลังจากเวลาในการร่อน 15 นาที

ตัวอย่าง B



ภาพที่ 4.7 อัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 1

จากการทดลองแยกส่วนที่ไม่ต้องการออกไปก่อนของตัวอย่าง B ดังภาคผนวกที่ ง และภาพที่ 4.7 พบว่าอัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง B ในการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วง 0.44 - 2.28 กรัมต่อนาที โดยที่ขนาดตะแกรง 325 เมช อัตราเร็วที่ผ่านตะแกรงที่สูงที่สุดคือที่เวลา 5 นาทีเท่ากับ 2.28 กรัมต่อนาที เมื่อเวลาในการร่อนแยกเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเกิดการผ่านของตัวอย่าง B ที่ช้าลงที่เวลา 15 และ 30 นาที เพราะว่าอัตราเร็วที่ผ่านตะแกรงลดลงเท่ากับ 1.29 และ 0.89 กรัมต่อนาที ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการอุดตันของตะแกรง

ส่วนที่ขนาดตะแกรง 400 เมช อัตราเร็วผ่านตะแกรงที่สูงที่สุดคือ ที่เวลา 5 นาทีเท่ากับ 1.58 กรัมต่อนาที เมื่อเวลาในการร่อนแยกเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเกิดการผ่านของตัวอย่าง B ที่ช้าลงที่เวลา 15 และ 30 นาที เพราะว่าอัตราเร็วผ่านตะแกรงลดลงเท่ากับ 0.73 และ 0.68 กรัมต่อนาที ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการอุดตันของตะแกรง

และที่ขนาดตะแกรง 500 เมช อัตราเร็วผ่านตะแกรงที่สูงที่สุดคือ ที่เวลา 5 นาทีเท่ากับ 0.97 กรัมต่อนาที เมื่อเวลาในการร่อนแยกเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเกิดการผ่านของตัวอย่าง B ที่ช้าลงที่เวลา 15 และ 30 นาที เพราะว่าอัตราเร็วที่ผ่านตะแกรงลดลงเท่ากับ 0.50 และ 0.44 กรัมต่อนาที ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการอุดตันของตะแกรง

จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าทุกขนาดตะแกรง มีอัตราเร็วผ่านตะแกรงที่เวลา 15 นาทีลดลงจากอัตราเร็วที่ผ่านตะแกรง 5 นาทีเท่ากับร้อยละ 43 - 54 แสดงให้เห็นว่าทุกขนาดตะแกรงมีการอุดตันหลังจากเวลาในการร่อน 5 นาที และที่ขนาดตะแกรง 400 และ 500 เมช มีอัตราเร็วผ่านตะแกรงที่เวลา 15 และ 30 นาที ลดลงคงที่เท่ากับ 0.05 และ 0.06 กรัมต่อนาที ตามลำดับ

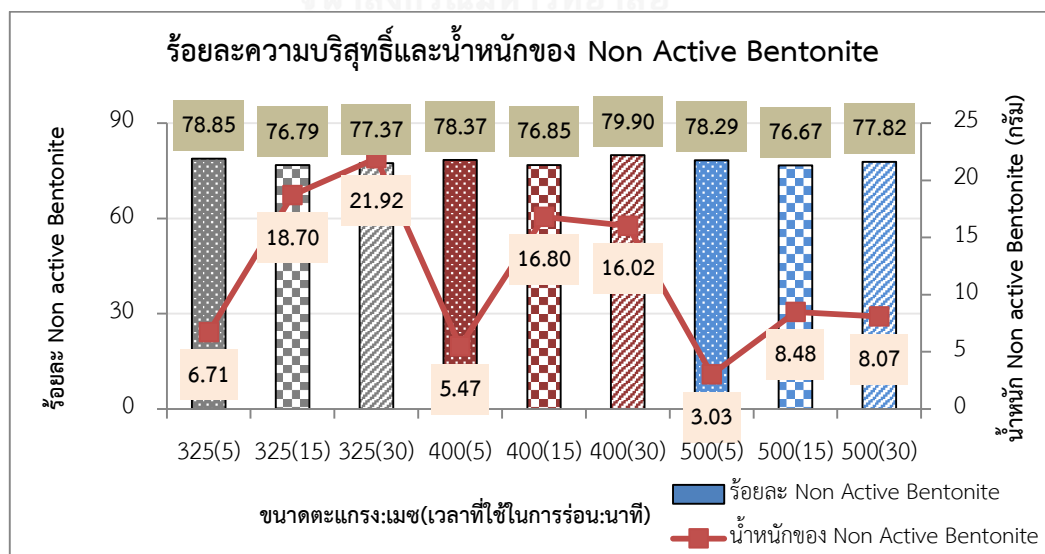
จากการทดลองทั้งตัวอย่าง A และตัวอย่าง B พบว่าอัตราเร็วผ่านตะแกรงขึ้นอยู่กับเวลาในการร่อนคือ ที่ทุกขนาดตะแกรงใช้เวลาในการร่อนที่เวลา 5 นาที แสดงให้เห็นว่าตะแกรงทั้งตัวอย่าง A และตัวอย่าง B ไม่เกิดการอุดตันของตะแกรง แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการร่อนมากกว่า 15 นาที แสดงให้เห็นว่าตะแกรงเกิดการอุดตันที่ทุกขนาดตะแกรง โดยที่เวลาในการร่อนแยก 30 นาที แสดงให้เห็นว่าตะแกรงเกิดการอุดตันหนักมาก

และอัตราเร็วที่ผ่านตะแกรงสูงสุดของตัวอย่าง B เท่ากับ 2.28 กรัมต่อนาที ซึ่งมีค่ามากกว่าอัตราเร็วที่ผ่านตะแกรงสูงสุดของตัวอย่าง A โดยมีค่าเท่ากับ 1.70 กรัมต่อนาที เนื่องมาจากขนาดอนุภาคที่ (d_{50}) ของตัวอย่าง B เท่ากับ 25 ไมครอนซึ่งมีขนาดเล็กกว่าตัวอย่าง A ในขณะที่ตัวอย่าง A มีขนาดอนุภาคที่ (d_{50}) เท่ากับ 39 ไมครอน จึงทำให้ตัวอย่าง B มีอัตราเร็วที่ผ่านตะแกรงสูงสุดมากกว่าอัตราเร็วที่ผ่านตะแกรงสูงสุดของตัวอย่าง A แต่ตัวอย่าง B เกิดการอุดตันที่เร็วกว่าตัวอย่าง A ที่เวลาในการร่อน 15 นาทีของทุกขนาดตะแกรง เพราะอัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง B ลดลงร้อยละ 43 - 53 ในขณะที่ตัวอย่าง A ลดลงร้อยละ 3.9 - 4.7 และอัตราเร็วที่ผ่านตะแกรงต่ำที่สุดพบที่ขนาดรูเปิดตะแกรงที่เล็กที่สุด (500 เมช) ที่ตัวอย่าง A เท่ากับ 0.35 กรัมต่อนาที ส่วนตัวอย่าง B เท่ากับ 0.44 กรัมต่อนาที

4.2.3 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของนอนแอคทีฟเบนโทไนด์

การทดลองนี้ต้องการแยกนอนแอคทีฟเบนโทไนด์ออกไปด้วยการร่อน ซึ่งเป็นส่วนที่ผ่านตะแกรงลงมา โดยในการทำงานจริงจะต้องพิจารณาร้อยละความบริสุทธิ์ของนอนแอคทีฟเบนโทไนด์ร่วมกับน้ำหนักนอนแอคทีฟเบนโทไนด์ แต่จะเลือกใช้งานที่น้ำหนักนอนแอคทีฟเบนโทไนด์ ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามภาคผนวก ค

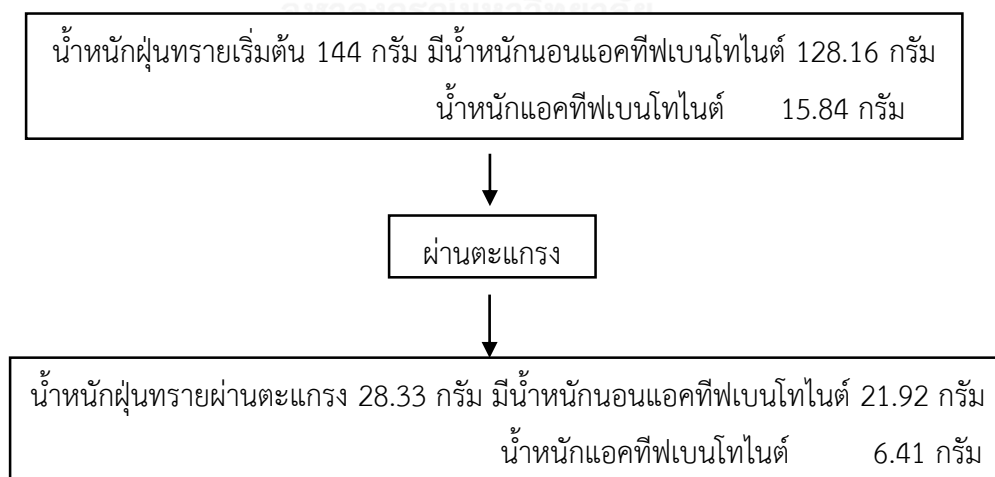
ตัวอย่าง A



ภาพที่ 4.8 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของนอนแอคทีฟเบนโทไนด์ ตัวอย่าง A การทดลองที่ 1

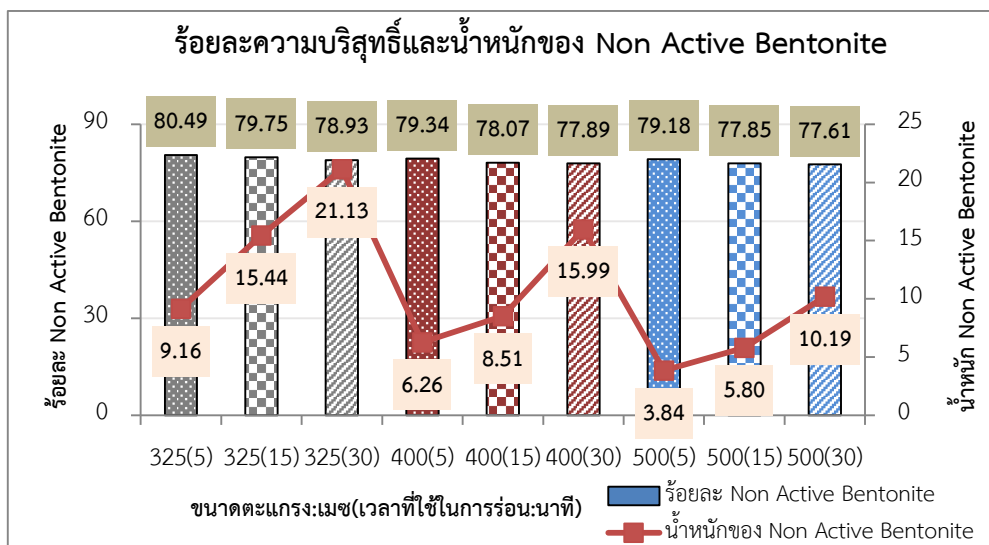
ผลจากการทดลองแสดงดังภาคผนวกที่ ๓ และภาพที่ 4.8 แสดงร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของนอนแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงลงมา พบว่าส่วนที่ผ่านตะแกรงลงมาของการทดลองร่อนแยกส่วนที่ไม่ต้องการซึ่งรวมถึงเดทเบนโทไนด์ที่ไม่สามารถเกาะกับฝุ่นทรายแบบหล่อจะหลุดร่วงออกมาก่อนด้วยการเขย่า พบว่าร้อยละของนอนแอกทีฟเบนโทไนด์ในการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วงร้อยละ 76.67 – 79.90 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ขนาดตะแกรง 325, 400 และ 500 เมช ที่เวลา 5, 15 และ 30 นาที พบว่าสภาวะการทดลองที่ดีที่สุดที่สามารถแยกส่วนที่ไม่ต้องการออกไปได้มากที่สุดคือ ที่ขนาดตะแกรง 400 เมช เวลา 30 นาที มีค่าเท่ากับร้อยละ 79.90

แต่เมื่อพิจารณาร้อยละความบริสุทธิ์ร่วมกับน้ำหนักของนอนแอกทีฟเบนโทไนด์ พบว่ามีปริมาณการแยกนอนแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงลงมาครั้งนี้อยู่ในช่วง 3.03 – 21.92 กรัม และที่เวลาในการร่อน 15 และ 30 นาที ทำให้น้ำหนักของนอนแอกทีฟเบนโทไนด์ร่วผ่านตะแกรงลงมาปริมาณมากในแต่ละขนาดตะแกรง เมื่อเทียบกับที่เวลา 5 นาที ดังนั้นสภาวะการทดลองที่ดีที่สุดโดยสามารถแยกนอนแอกทีฟเบนโทไนด์สูงสุดที่ใช้ขนาดตะแกรง 325 เมช เวลา 30 นาทีเท่ากับ 21.92 กรัมของน้ำหนักที่ผ่านตะแกรงลงมา 28.33 กรัม แสดงว่ามีแอกทีฟเบนโทไนด์หล่นมาพร้อมกันประมาณ 6.41 กรัม ซึ่งแอกทีฟเบนโทไนด์ควรจะค้างบนตะแกรงเพื่อไปแยกด้วยการทดลองลำดับต่อไป ดังแสดงในรูป 4.9



ภาพที่ 4.9 การแยกนอนแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ดีที่สุดของตัวอย่าง A การทดลองที่ 1

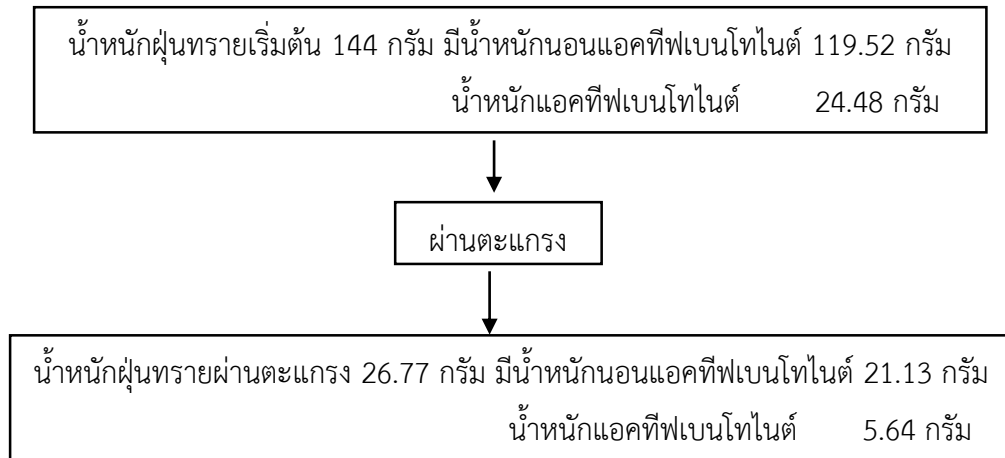
ตัวอย่าง B



ภาพที่ 4.10 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของนอนแอคทีฟเบนโทไนด์ ตัวอย่าง B การทดลองที่ 1

จากภาพที่ 4.10 แสดงตามภาคผนวกที่ ๓ พบว่าส่วนที่ผ่านตะแกรงลงมาของการทดลองร่อนแยกส่วนที่ไม่ต้องการซึ่งรวมถึงเดทเบนโทไนด์ที่ไม่สามารถเกาะกับฝุ่นทรายแบบหล่อจะหลุดร่วงออกมาก่อนด้วยการเขย่า พบว่าร้อยละความบริสุทธิ์ของนอนแอคทีฟเบนโทไนด์ในการทดลองครั้งนี้ อยู่ในช่วงร้อยละ 77.61 – 80.49 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ขนาดตะแกรง 325, 400 และ 500 เมช ที่เวลา 5, 15 และ 30 นาที พบว่าสภาวะการทดลองที่ดีที่สุดที่สามารถแยกส่วนที่ไม่ต้องการออกไปได้มากที่สุดคือ ที่ขนาดตะแกรง 325 เมช เวลา 5 นาที มีค่าเท่ากับร้อยละ 80.49

แต่เมื่อพิจารณาร้อยละความบริสุทธิ์ร่วมกับน้ำหนักของนอนแอคทีฟเบนโทไนด์ พบว่ามีปริมาณการแยกนอนแอคทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงลงมาครั้งนี้อยู่ในช่วง 3.84 – 21.13 กรัม จะเห็นได้ว่าที่เวลาในการร่อนแยก 15 และ 30 นาทีจะสามารถทำให้น้ำหนักของนอนแอคทีฟเบนโทไนด์ร่วงผ่านตะแกรงลงมาได้จำนวนมากในแต่ละขนาดตะแกรง ดังนั้นสภาวะการทดลองพบปริมาณนอนแอคทีฟเบนโทไนด์สูงสุดที่ใช้ขนาดตะแกรง 325 เมชเวลาในการร่อน 30 นาทีเท่ากับ 21.13 กรัม ของน้ำหนักที่ผ่านตะแกรงลงมา 26.77 กรัม แสดงว่ามีแอคทีฟเบนโทไนด์หล่นมาพร้อมกันประมาณ 5.64 กรัม ดังแสดงในรูป 4.11 ซึ่งแอคทีฟเบนโทไนด์ควรจะค้ำบนตะแกรงเพื่อไปแยกด้วยการทดลองอื่นต่อไป จึงต้องพิจารณาร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอคทีฟเบนโทไนด์ของทุกสภาวะการทดลองเพื่อตัดการทดลองที่ 1 แล้วเริ่มต้นการทดลองที่ 2 แทน

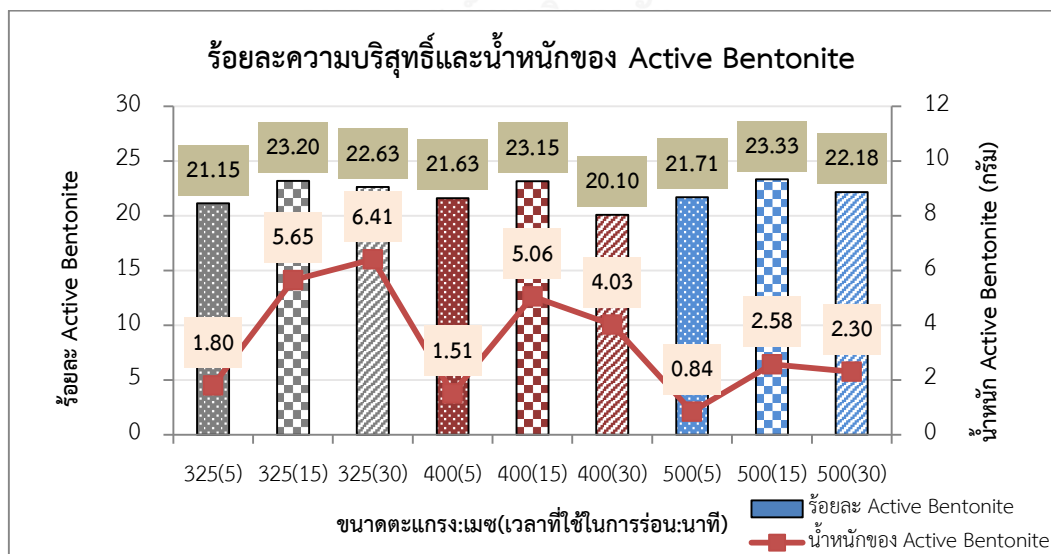


ภาพที่ 4.11 การแยกนอนแอคทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะที่ดีที่สุดของตัวอย่าง B การทดลองที่ 1

4.2.4 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอคทีฟเบนโทไนด์

เนื่องจากการหาร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอคทีฟเบนโทไนด์ข้างต้น ทำให้ทราบว่ามีการปนเปื้อนของแอคทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงลงมา ซึ่งวิธีคำนวณสามารถคำนวณได้ตามภาคผนวก ค

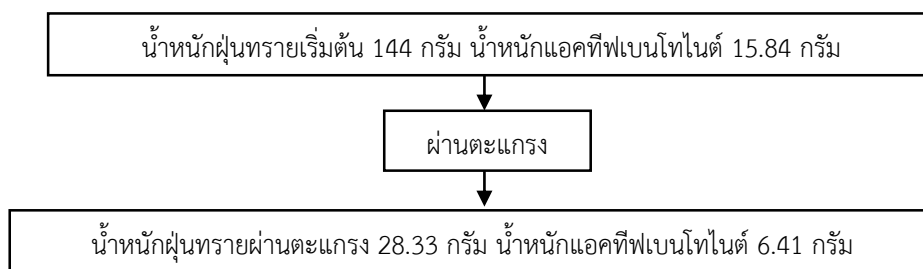
ตัวอย่าง A



ภาพที่ 4.12 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอคทีฟเบนโทไนด์ ตัวอย่าง A การทดลองที่ 1

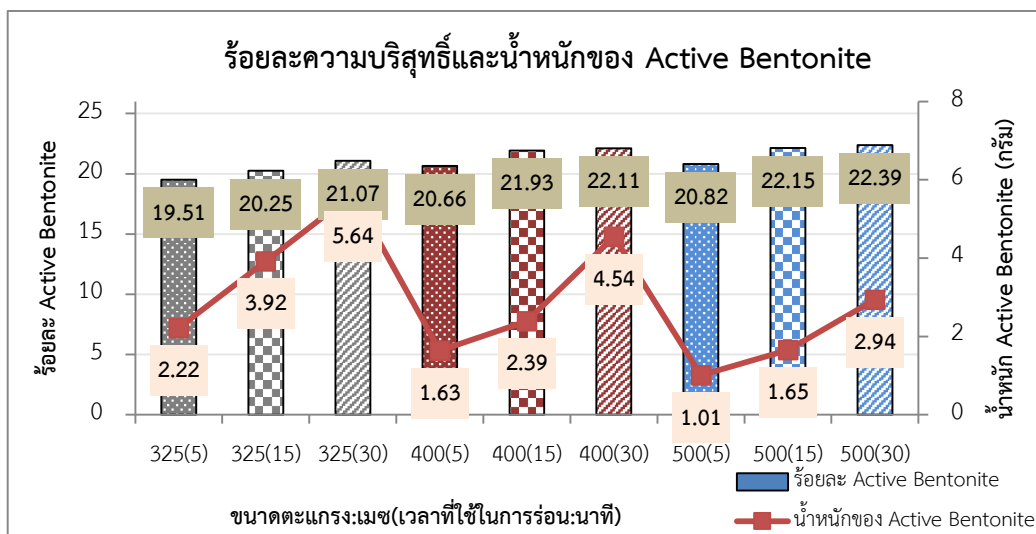
ผลจากการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ ง และภาพที่ 4.12 แสดงร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงลงมา พบว่าฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงลงมา มีร้อยละของแอกทีฟเบนโทไนด์ในการทดลองครั้งนี้ อยู่ในช่วงร้อยละ 20.10 – 23.33 โดยที่ขนาดตะแกรงเบอร์ 325 เมช ใช้เวลาร้อน 5, 15 และ 30 นาที ร้อยละของแอกทีฟเบนโทไนด์ได้เท่ากับ 21.15, 23.20 และ 22.63 ตามลำดับ ที่ขนาดตะแกรงเบอร์ 400 เมช ใช้เวลาร้อน 5, 15 และ 30 นาที ร้อยละของแอกทีฟเบนโทไนด์ได้เท่ากับ 21.63, 23.15 และ 20.10 ตามลำดับ และที่ขนาดตะแกรงเบอร์ 500 เมช ใช้เวลาร้อน 5, 15 และ 30 นาที ร้อยละของแอกทีฟเบนโทไนด์ได้เท่ากับ 21.71, 23.33 และ 22.18 ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงลงมา มีค่ามากกว่าค่าร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้นก่อนการทดลองซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 11.05 – 14.00 จะเห็นว่าการปนเปื้อนจำนวนมากของแอกทีฟเบนโทไนด์ในส่วนที่ผ่านตะแกรงลงมา ซึ่งในการทดลองที่ 1 ไม่ต้องการให้แอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงลงมาและสิ่งที่ต้องการคือ นอนแอกทีฟเบนโทไนด์เท่านั้น

แต่เมื่อพิจารณาร้อยละความบริสุทธิ์ร่วมกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์พบการปนเปื้อนแอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงลงมาในการทดลองครั้งนี้ อยู่ในช่วง 0.84 – 6.41 กรัม และที่เริ่มต้นมีน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์อยู่ที่ 15.84 กรัมของน้ำหนักเริ่มต้นการทดลอง 144 กรัม พบว่าสถานะที่มีปริมาณแอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงลงมามากที่สุดที่ใช้ขนาดตะแกรง 325 เมช เวลาในการร้อน 30 นาที ได้สูงสุดเท่ากับ 6.41 กรัมของน้ำหนักที่ผ่านตะแกรงลงมา 28.33 กรัม ดังภาพที่ 4.13 และเมื่อพิจารณาการนำกลับคืนมาใช้ได้ถึงร้อยละ 40.47 จะเห็นได้ว่าที่ทุกขนาดตะแกรงทุกเวลา พบว่าน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ร่วงผ่านตะแกรงลงมาได้ปริมาณจำนวนมากในส่วนที่ไม่ต้องการ ซึ่งส่งผลต่อการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ จึงตัดการทดลองที่ 1 แล้วเริ่มต้นการทดลองที่ 2 แทน



ภาพที่ 4.13 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สถานะดีที่สุดของตัวอย่าง A การทดลองที่ 1

ตัวอย่าง B

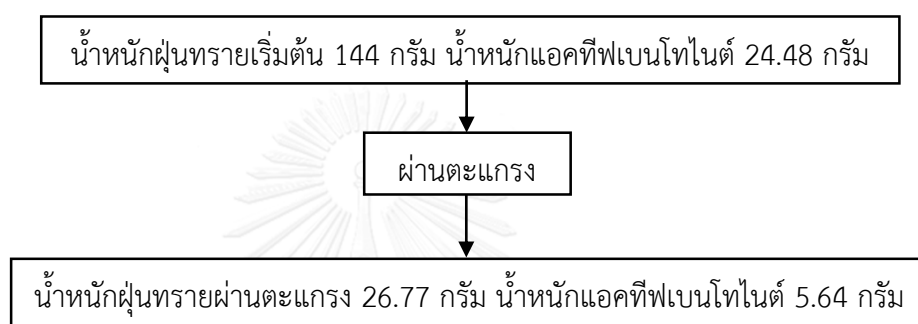


ภาพที่ 4.14 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 1

จากภาพที่ 4.14 แสดงตามภาคผนวกที่ ๓ พบว่าฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงลงมา มีร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ในการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วงร้อยละ 19.51 – 22.39 โดยที่ขนาดตะแกรงเบอร์ 325 เมช ใช้เวลาร่อน 5, 15 และ 30 นาที ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ได้เท่ากับ 19.51, 20.25 และ 21.07 ตามลำดับ ที่ขนาดตะแกรงเบอร์ 400 เมช ใช้เวลาร่อน 5, 15 และ 30 นาที ร้อยละของแอกทีฟเบนโทไนด์ได้เท่ากับ 20.66, 21.93 และ 22.11 ตามลำดับ และที่ขนาดตะแกรงเบอร์ 500 เมช ใช้เวลาร่อน 5, 15 และ 30 นาที ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ได้เท่ากับ 20.82, 22.15 และ 22.39 ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงลงมา มีค่ามากกว่าค่าร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้นก่อนการทดลองซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 16.05 – 19.00 จะเห็นว่ามี การปนเปื้อนจำนวนมากของแอกทีฟเบนโทไนด์ในส่วนที่ผ่านตะแกรงลงมา ซึ่งในการทดลองที่ 1 ไม่ต้องการให้แอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงลงมา และสิ่งที่ต้องการคือ นอนแอกทีฟเบนโทไนด์เท่านั้น

แต่เมื่อพิจารณาร้อยละความบริสุทธิ์ร่วมกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ปนเปื้อนผ่านลงมาในการทดลองครั้งนี้ อยู่ในช่วง 1.01 – 5.64 กรัม และที่เริ่มต้นมีน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์อยู่ที่ 24.48 กรัมของน้ำหนักเริ่มต้นการทดลอง 144 กรัม พบว่ามีปริมาณการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่าน

ตะแกรงลงมาได้สูงสุดที่สภาวะการทดลองการใช้ขนาดตะแกรง 325 เมชเวลาในการร่อน 30 นาที เท่ากับ 5.64 กรัมของน้ำหนักร้อยละที่ผ่านตะแกรงลงมา 26.77 กรัม ดังภาพที่ 4.15 และเมื่อพิจารณาการนำกลับคืนมาใช้ได้ถึงร้อยละ 23.04 จะเห็นได้ว่าที่เวลา 30 นาทีจะสามารถทำให้น้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ร่วนผ่านตะแกรงลงมาได้ปริมาณจำนวนมากที่สุดในแต่ละขนาดตะแกรงในส่วนที่ไม่ต้องการซึ่งส่งผลต่อการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบห่อ จึงตัดการทดลองที่ 1 แล้วเริ่มต้นการทดลองที่ 2 แทน



ภาพที่ 4.15 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะดีที่สุดของตัวอย่าง B การทดลองที่ 1

- ตารางสรุปน้ำหนักร้อยละที่ผ่านตะแกรง น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ และน้ำหนักร้อยละที่ผ่านตะแกรงของทุกสภาวะการทดลอง จากการทดลองพบการปนเปื้อนแอกทีฟเบนโทไนด์ส่วนที่ผ่านตะแกรงลงมาดังตารางที่ 4.2 - 4.3 ตัวอย่าง A เริ่มต้นน้ำหนักร้อยละที่ผ่านตะแกรง 144 กรัม น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ 128.16 กรัม (ร้อยละความบริสุทธิ์เท่ากับ 89.00) น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ 15.84 กรัม (ร้อยละความบริสุทธิ์เท่ากับ 11.00) และตัวอย่าง B เริ่มต้นน้ำหนักร้อยละที่ผ่านตะแกรง 144 กรัม น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ 119.52 กรัม (ร้อยละความบริสุทธิ์เท่ากับ 83.00) น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ 24.48 กรัม (ร้อยละความบริสุทธิ์เท่ากับ 17.00) จึงตัดการทดลองที่ 1 ทิ้งไป แล้วเริ่มการทดลองที่ 2 แทน

ตารางที่ 4.2 แสดงน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง น้ำหนักนออนแอกทีฟเบนโทไนด์ และ น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 1

สภาวะการทดลอง ขนาดตะแกรง(เวลาในการร่อน)	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง (กรัม) (a)	น้ำหนักนออนแอกทีฟ เบนโทไนด์ (กรัม) (b)	น้ำหนักแอกทีฟ เบนโทไนด์ (กรัม) (c)
325(5)	8.51 (5.91%)	6.71 (78.85%)	1.80 (21.15%)
325(15)	24.35 (16.91%)	18.70 (76.80%)	5.65 (23.20%)
325(30)	28.33 (19.67%)	21.92 (77.37%)	6.41 (22.63%)
400(5)	6.98 (4.85%)	5.47 (78.37%)	1.51 (21.63%)
400(15)	21.86 (15.18%)	16.80 (76.85%)	5.06 (23.15%)
400(30)	20.05 (13.92%)	16.02 (79.90%)	4.03 (20.10%)
500(5)	3.87 (2.68%)	3.03 (78.29%)	0.84 (21.71%)
500(15)	11.06 (7.68%)	8.48 (76.67%)	2.58 (23.33%)
500(30)	10.37 (7.20%)	8.07 (77.82%)	2.30 (22.18%)

ตารางที่ 4.3 แสดงน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ และน้ำหนักนออนแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 1

สภาวะการทดลอง ขนาดตะแกรง(เวลาในการร่อน)	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง กรัม (a)	น้ำหนักนออนแอกทีฟ เบนโทไนด์ กรัม (b)	น้ำหนักแอกทีฟ เบนโทไนด์ กรัม (c)
325(5)	11.38 (7.90%)	9.16 (80.49%)	2.22 (19.51%)
325(15)	19.36 (13.45%)	15.44 (79.75%)	3.92 (20.25%)
325(30)	26.77 (18.59%)	21.13 (78.93%)	5.64 (21.07%)
400(5)	7.89 (5.48%)	6.26 (79.34%)	1.63 (20.66%)
400(15)	10.90 (7.57%)	8.51 (78.07%)	2.39 (21.93%)
400(30)	20.53 (14.26%)	15.99 (77.89%)	4.54 (22.11%)
500(5)	4.85 (3.37%)	3.84 (79.18%)	1.01 (20.82%)
500(15)	7.45 (5.18%)	5.80 (77.85%)	1.65 (22.15%)
500(30)	13.13 (9.12%)	10.19 (77.61%)	2.94 (22.39%)

หมายเหตุ (a) = (คิดเป็นร้อยละของเริ่มต้น 144 กรัม) (b) = (คิดเป็นร้อยละความบริสุทธิ์ของนออนแอกทีฟเบนโทไนด์) (c) = (คิดเป็นร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์)

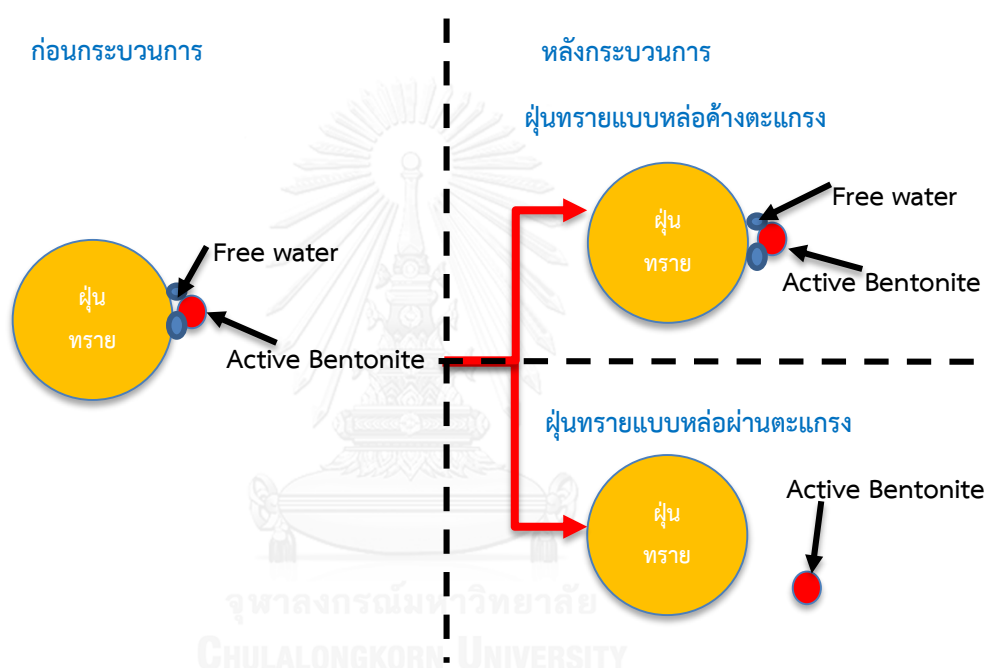
กระบวนการแยกเบื้องต้นไม่สามารถแยกนอนแอกทีฟเบนโทไนด์ออกไปก่อนได้ การแยกอยู่ในเกณฑ์ปานกลางไม่เหมาะแก่การนำไปใช้ เพราะว่ทั้งแอกทีฟเบนโทไนด์และนอนแอกทีฟเบนโทไนด์ได้หลุดติดผ่านตะแกรงลงมาไม่เป็นไปตามที่สมมติฐานที่วางไว้ว่าจะสามารถแยกอนุภาคขนาดเล็กไม่เกาะติด (นอนแอกทีฟเบนโทไนด์) ให้ร่วงหลุดผ่านตะแกรงลงมาด้วยการเขย่าในเวลาสั้นๆ ได้จำนวนมาก (Steele และ Huff, 2003) และแอกทีฟเบนโทไนด์จะยังคงเกาะกับฝุ่นทรายแบบหล่อค้างอยู่บนตะแกรงจำนวนมาก แต่ความเป็นจริงแล้วพบว่าอนุภาคแอกทีฟเบนโทไนด์ที่เกาะติดกับฝุ่นทรายแบบหล่อขนาดเล็กสามารถลงมามีกับนอนแอกทีฟเบนโทไนด์จึงไม่สามารถยอมรับการทดลองที่ 1 ที่อาจเป็น pretreatment ได้

เหตุผลในการไม่ยอมรับการทดลองที่ 1 ประกอบด้วย 2 เหตุผล โดยเหตุผลแรกพิจารณาจากร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A และตัวอย่าง B พบว่าร้อยละความบริสุทธิ์แอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงลงมาต่ำกว่าค่าเริ่มต้นคือ ค่าเริ่มต้นอยู่ในช่วงร้อยละ 11 – 14 และ 16 – 19 ตามลำดับ เมื่อผ่านการทดลองที่ 1 แยกส่วนที่ไม่ต้องการออกไป กลับพบว่าร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงลงมาต่ำกว่าเริ่มต้นทั้งตัวอย่าง A และตัวอย่าง B คืออยู่ในช่วงร้อยละ 20 – 23 และ 19 – 22 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 ซึ่งในการทดลองนี้ไม่ต้องการให้เกิดการปนเปื้อนของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงลงมา

และเหตุผลที่สองพิจารณาจากน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ค้างตะแกรงของการทดลองนี้ โดยที่เริ่มต้นมีน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A อยู่ในช่วง 15 – 17 กรัม และตัวอย่าง B อยู่ในช่วง 22 – 26 กรัม เมื่อผ่านการทดลองร่อนแยกส่วนที่ไม่ต้องการออกไป พบว่าส่วนที่ค้างตะแกรงเหลือน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A อยู่ในช่วง 10 – 15 กรัม และตัวอย่าง B อยู่ในช่วง 18 – 21 กรัม ซึ่งน้อยกว่าเริ่มต้นถึงร้อยละ 66 – 88 และ 80 – 81 ตามลำดับ ซึ่งไม่เหมาะสมในการนำส่วนที่ค้างตะแกรงของการทดลองที่ 1 มาทำการทดลองที่ 2 ต่อ ทำให้ไม่คุ้มค่าในการแยกต่อดังนั้นการนำไปใช้ประยุกต์จริงในโรงงานแบบหล่อทราย ต้องการกระบวนการที่น้อยและไม่ซับซ้อน และต้องได้ประสิทธิภาพดี ดังนั้นจึงไม่ทำการทดลองที่ 1 ต่อไปแต่จะเริ่มการทดลองที่ 2 แทน

4.3 การทดลองที่ 2 การให้ความร้อน

การทดลองนี้มีจุดประสงค์ที่ต้องการระเหยน้ำอิสระ (free water) ของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ทำหน้าที่เชื่อมประสานออกไป ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อลดการเกาะตัวของแอกทีฟเบนโทไนด์ (Holzer และคณะ, 2010) จนเกิดการร่วนและหลุดออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อ ทั้งนี้แอกทีฟเบนโทไนด์จะต้องสามารถร่วนหลุด แต่ต้องไม่เสียสภาพการเชื่อมประสานกลายเป็นเดดเบนโทไนด์ (Dead Bentonite) (Wang และคณะ, 2006) ตามกลไกที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 ทั้งนี้ สมมติฐานข้างต้นสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.16



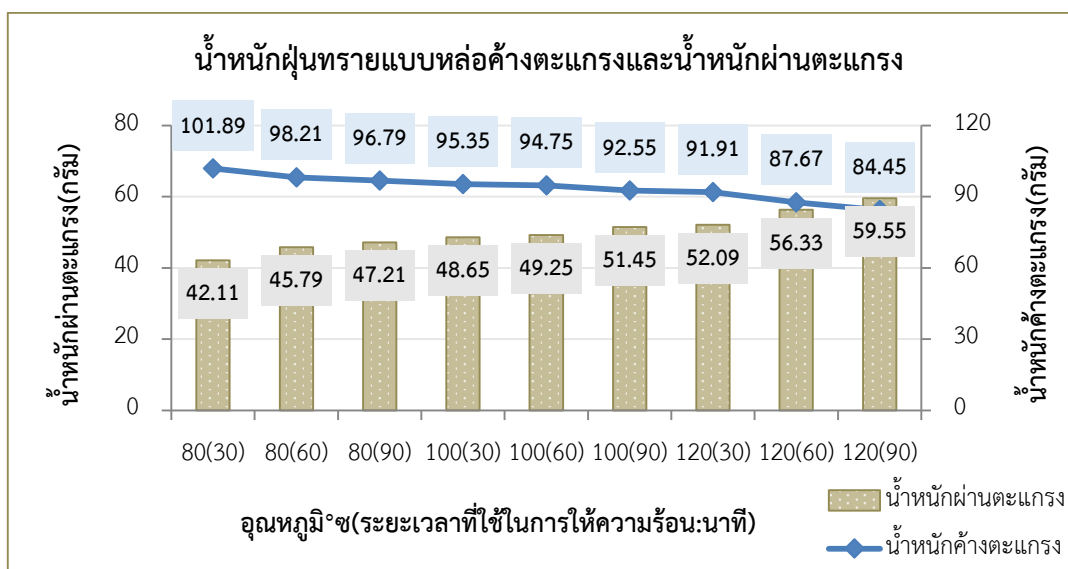
ภาพที่ 4.16 แนวคิดสมมติฐานของการระเหยน้ำโดยให้ความร้อน

ทั้งนี้ลำดับการนำเสนอและวิเคราะห์ผลการทดลองนี้จะเป็นดังนี้

1. น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงและน้ำหนักที่ค้างตะแกรง
2. อัตราเร็วในการไหลของฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง
3. ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรง
4. ความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยพิจารณาจากน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงที่นำไปใช้ได้จริง
5. การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์กับความร้อน

4.3.1 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรง

ตัวอย่าง A



ภาพที่ 4.17 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อค้ำตะแกรงและผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A การทดลองที่ 2

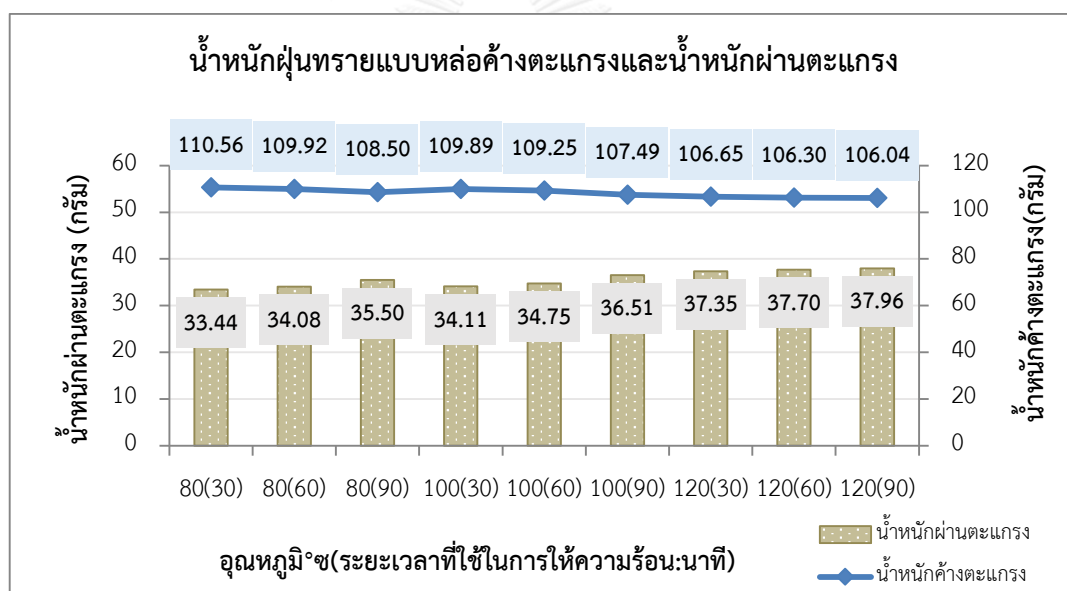
จากการทดลองการให้ความร้อนเพื่อระเหยน้ำที่ผิวสัมผัส เพื่อลดการเชื่อมประสานของตัวอย่าง A ดังแสดงในภาคผนวกที่ ๓ และภาพที่ 4.17 พบว่าน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อค้ำตะแกรงในการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วง 84.45 – 101.89 กรัม และน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงอยู่ในช่วง 42.11 – 59.55 กรัม เมื่อพิจารณาร้อยละการนำกลับคืนของฝุ่นทรายแบบหล่อค้ำตะแกรงและผ่านตะแกรง คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อค้ำตะแกรงอยู่ในช่วงร้อยละ 58.64 – 70.76 และร้อยละของน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงอยู่ในช่วงร้อยละ 29.24 – 41.35 ดังนั้น ร้อยละของน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงมากที่สุดที่สภาพการทดลองของอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลาในการให้ความร้อน 90 นาทีมีค่าเท่ากับ 41.35 อย่างไรก็ตามที่สภาพที่ดีที่สุดยังคงมีฝุ่นทรายแบบหล่อค้ำตะแกรงอยู่มากกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อเริ่มต้น

โดยเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และมีการแปรค่าเวลาที่ใช้ที่ 30, 60 และ 90 นาที น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงสูงสุดจะอยู่ที่เวลา 90 นาที โดยมีค่าเท่ากับ 47.21 กรัม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงมากที่สุดอยู่ที่เวลา 90 นาที มี

ค่าเท่ากับ 51.45 กรัม และที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงสูงสุดจะอยู่ที่เวลา 90 นาทีโดยมีค่าเท่ากับ 59.55 กรัม

ดังนั้นที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส พบว่า ณ เวลาที่ 90 นาที ปริมาณน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อของตัวอย่าง A จะผ่านตะแกรงลงมามากที่สุด แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มเวลาและเพิ่มอุณหภูมิให้มากขึ้น น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อจะร่วงผ่านลงมามากขึ้น แสดงว่าอุณหภูมิและเวลามีผลต่อน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง แต่อุณหภูมิมีผลชัดเจนกว่าในการลดการเชื่อมประสาน

ตัวอย่าง B



ภาพที่ 4.18 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อค้างตะแกรงและผ่านตะแกรงของตัวอย่าง B การทดลองที่ 2

ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.18 และภาคผนวกที่ 7 พบว่าทุกสภาวะการทดลองน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อค้างตะแกรงอยู่ในช่วง 106.04 – 110.56 กรัม และน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงอยู่ในช่วง 33.44 – 37.96 กรัม เมื่อพิจารณาร้อยละการนำกลับคืนของฝุ่นทรายแบบหล่อค้างตะแกรงและผ่านตะแกรง คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อค้างตะแกรงอยู่ในช่วงร้อยละ 73.64 – 76.78 และผ่านตะแกรงอยู่ในช่วงร้อยละ 23.22 – 26.36 พบว่าร้อยละของน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงมากที่สุดที่สภาวะการทดลองของอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลาในการให้ความร้อน 90 นาทีเท่ากับ 26.36 ที่สภาวะดีที่สุดของตัวอย่าง B

สามารถผ่านตะแกรงได้เพียงร้อยละ 26 ซึ่งไม่ถึงร้อยละ 50 ของน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อเริ่มต้น เมื่อเทียบกับตัวอย่าง A ที่ผ่านตะแกรงลงมามากที่สุดเท่ากับร้อยละ 41.36 ของน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อเริ่มต้น แสดงให้เห็นถึงผลของการเชื่อมประสาน ซึ่งสอดคล้องกับอัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง B เมื่อเทียบกับตัวอย่าง A

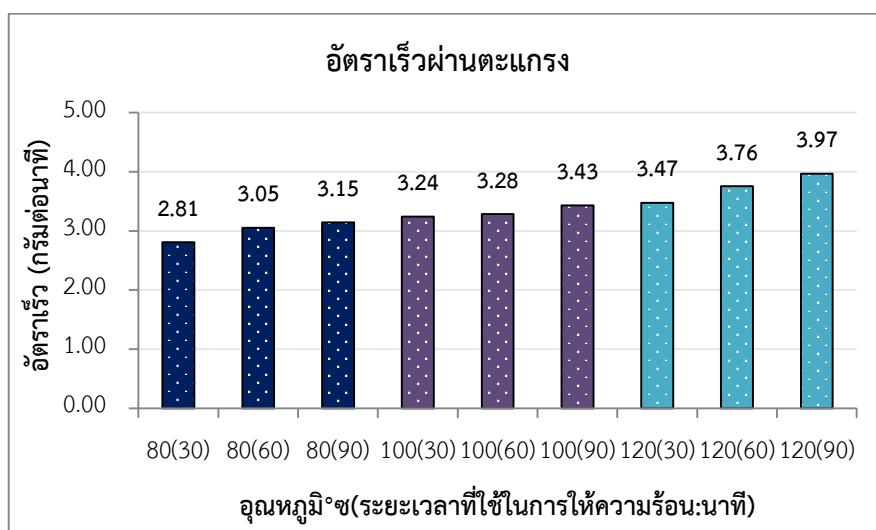
โดยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงลงมา มากที่สุดที่เวลา 90 นาที โดยมีค่า 35.50 กรัม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงลงมาสูงสุดที่เวลา 90 นาที โดยมีค่าเท่ากับ 36.51 กรัม และที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงลงมาสูงสุดที่เวลา 90 นาที มีค่าเท่ากับ 37.96 กรัม พบว่าไม่ว่าที่อุณหภูมิ 80, 100 หรือ 120 องศาเซลเซียส ตัวอย่าง B สามารถผ่านตะแกรงลงมาสูงสุดที่เวลาในการให้ความร้อน 90 นาที แสดงว่าเมื่อเวลาสูงสุดและอุณหภูมิที่ไม่เกิน 120 องศาเซลเซียส เวลาที่สูงที่สุดจะมีผลโดยตรงกับปริมาณของฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงของตัวอย่าง B

เมื่อเทียบปริมาณน้ำหนักและร้อยละการร่วงผ่านตะแกรง พบว่าตัวอย่าง B ร่วงลงมาใน ปริมาณที่น้อยกว่าตัวอย่าง A ทั้งนี้ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้นก่อนเข้ากระบวนการของตัวอย่าง B (ร้อยละ 16 – 19) มีค่ามากกว่าร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้นของตัวอย่าง A (ร้อยละ 11 – 14) จึงมีการเกาะตัว (Randelović และคณะ, 2014) ของแอกทีฟเบนโทไนด์กับฝุ่นทรายแบบหล่อ มากกว่าตัวอย่าง A ทำให้น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อของตัวอย่าง B ผ่านตะแกรงลงมาได้น้อยกว่า ตัวอย่าง A โดยช่วงการกระจายตัวของน้ำหนักผ่านตะแกรงแคบของตัวอย่าง B และมีปริมาณน้ำหนัก น้อยกว่าคือ ช่วง 33 – 37 กรัม ซึ่งตัวอย่าง A มีช่วงการกระจายตัวของน้ำหนักผ่านตะแกรงที่กว้าง กว่าและมีปริมาณน้ำหนักมากกว่าตัวอย่าง B คือ อยู่ในช่วง 42 - 59 กรัม

4.3.2 อัตราเร็วฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง

ใช้อธิบายความยากง่ายในการผ่านตะแกรงของฝุ่นทรายแบบหล่อและอาจหมายถึงการตอบสนองต่อปัจจัยในอุณหภูมิและเวลา ดังภาพ 4.19 – 4.20 ดังนี้

ตัวอย่าง A



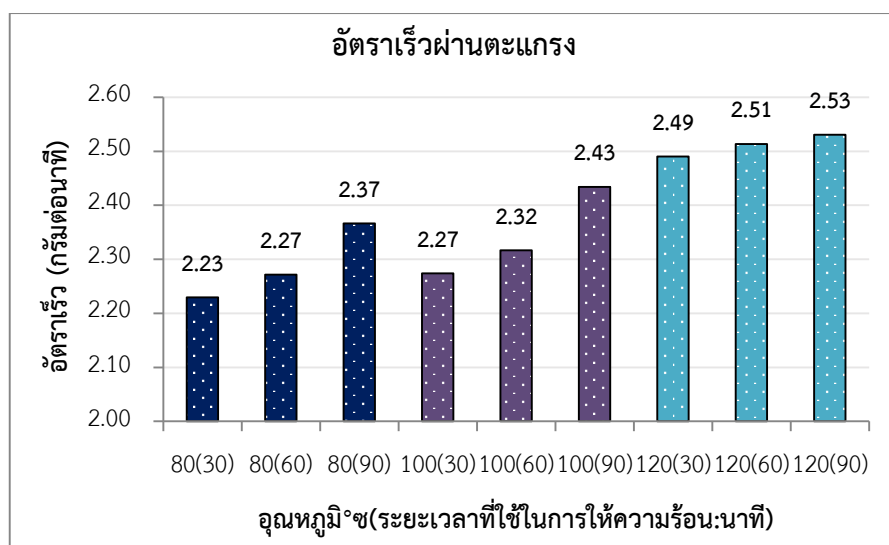
ภาพที่ 4.19 อัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 2

จากภาพที่ 4.19 แสดงอัตราเร็วผ่านตะแกรง พบว่าอัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A จะอยู่ในช่วง 2.81 – 3.97 กรัมต่อนาที โดยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อัตราเร็วผ่านตะแกรงที่สูงที่สุดคือที่เวลา 90 นาทีเท่ากับ 3.15 กรัมต่อนาที ส่วนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อัตราเร็วผ่านตะแกรงสูงสุดคือที่เวลา 90 นาทีเท่ากับ 3.43 กรัมต่อนาที และที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส อัตราเร็วผ่านตะแกรงที่สูงที่สุดคือที่เวลา 90 นาทีเท่ากับ 3.97 กรัมต่อนาที

ดังนั้นทุกอัตราเร็วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลา ซึ่งเมื่อพิจารณาเวลาในการให้ความร้อนที่ 90 นาที พบว่ามีอัตราเร็วผ่านตะแกรงที่สูงที่สุดในทุกอุณหภูมิ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าน้ำหนักตัวอย่าง A ที่ผ่านตะแกรงมีค่ามากขึ้นตามอุณหภูมิและเวลา โดยที่อุณหภูมิมีผลอย่างชัดเจนกับอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบอัตราเร็วฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงของการทดลองที่ 1 และ 2 พบว่าอัตราเร็วสูงสุดของการทดลองที่ 2 เท่ากับ 3.97 กรัมต่อนาที ซึ่งมากกว่าอัตราเร็วสูงสุดของการทดลองที่ 1 ซึ่งเท่ากับ 1.70 กรัมต่อนาที เพราะว่าการทดลองที่ 2 ช่วยให้เกิดการแยกตัวของอนุภาคแอกทีฟเบนโทไนต์ผ่านตะแกรงลงมาพร้อมกับอนุภาคขนาดเล็กมากกว่าการทดลองที่ 1

ตัวอย่าง B



ภาพที่ 4.20 อัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 2

จากภาพที่ 4.20 พบว่าอัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง B จะอยู่ในช่วง 2.23 – 2.53 กรัมต่อนาที โดยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อัตราเร็วผ่านตะแกรงที่สูงที่สุดคือที่เวลา 90 นาทีเท่ากับ 2.37 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อัตราเร็วผ่านตะแกรงที่สูงที่สุดคือที่เวลา 90 นาทีเท่ากับ 2.43 กรัมต่อนาที และที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส อัตราเร็วผ่านตะแกรงที่สูงที่สุดคือที่เวลา 90 นาทีเท่ากับ 2.53 กรัมต่อนาที

ซึ่งเมื่อศึกษาที่อุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิและเวลามีผลทั้งคู่ โดยที่อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ให้ความร้อนเพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นเมื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นด้วยเช่นกัน แต่ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนอัตราเร็วเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แสดงว่าอุณหภูมิมีผลมากกว่าเวลาอย่างเห็นได้ชัด และมีผลมากกว่าที่เวลาสูงสุด 90 นาทีของอุณหภูมิ 80

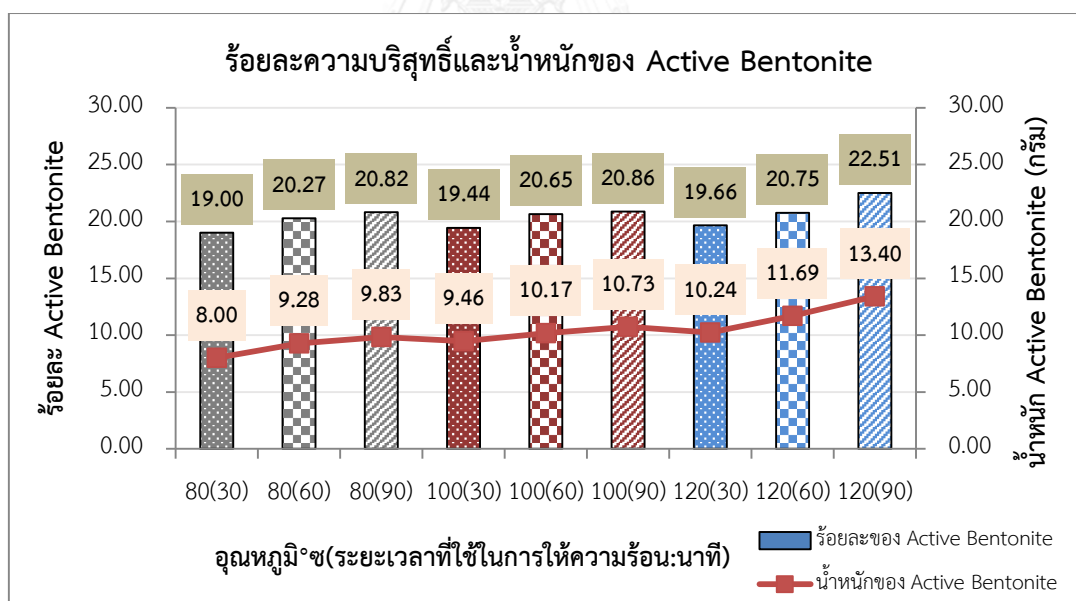
และ 100 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาเวลาในการให้ความร้อน 90 นาทีของทุกความร้อน พบว่ามีอัตราเร็วที่ผ่านตะแกรงที่สูงสุดที่อุณหภูมิสูงสุดพร้อมกับที่เวลาให้ความร้อนสูงสุดด้วย

เมื่อเปรียบเทียบอัตราเร็วฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงของการทดลองที่ 1 และ 2 พบว่าอัตราเร็วสูงสุดของการทดลองที่ 2 เท่ากับ 2.53 กรัมต่อนาที ซึ่งมากกว่าอัตราเร็วสูงสุดของการทดลองที่ 1 ซึ่งเท่ากับ 2.28 กรัมต่อนาที เพราะว่าการทดลองที่ 2 ช่วยให้เกิดการแยกตัวของอนุภาคขนาดเล็กมากกว่าการทดลองที่ 1

4.3.3 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนต์

ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนต์ผ่านตะแกรงสามารถใช้ในการระบุประสิทธิภาพของกรรมวิธีและสภาวะการทดลองที่เหมาะสมได้ ซึ่งวิธีคำนวณสามารถคำนวณได้ตามภาคผนวก ค

ตัวอย่าง A



ภาพที่ 4.21 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนต์ ตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 2

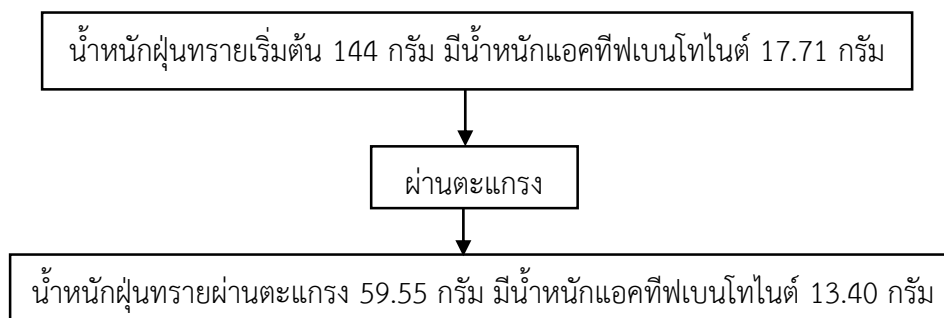
ผลของร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนต์ของตัวอย่าง A แสดงในภาคผนวกที่ ง และภาพที่ 4.21 พบว่าฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงลงมามีร้อยละความบริสุทธิ์

ของแอกทีฟเบนโทไนด์ในการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วง 19.00 – 22.51 โดยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการให้ความร้อน 90 นาที ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A มากที่สุดเท่ากับ 20.82 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส พบว่าที่เวลาในการให้ความร้อน 90 นาที ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A มากที่สุดเท่ากับ 20.86 และที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส พบว่าที่เวลาในการให้ความร้อน 90 นาที ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A มากที่สุดเท่ากับ 22.51 ดังนั้นสภาวะที่ดีที่สุดของการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อในตัวอย่าง A ด้วยความร้อนคือที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลาในการให้ความร้อนที่ 90 นาที

ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A มากที่สุดเท่ากับ 22.51 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยทางอุณหภูมิและเวลามีผลโดยเฉพาะกับเวลา โดยที่อุณหภูมิมีผลเพราะร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ แต่เวลามีผลมากกว่าเพราะร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์มีค่ามากตามเวลาที่มากที่สุดของแต่ละอุณหภูมิ จึงทำให้แยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อตัวอย่าง A ได้ ซึ่งสอดคล้องกับน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่ร่วนออกมา และเมื่อพิจารณาร่วมกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ร่วนผ่านตะแกรงในการทดลองครั้งนี้ พบว่าน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์อยู่ในช่วง 8 – 13 กรัม ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าที่เวลาในการให้ความร้อน 90 นาที ได้น้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์มากที่สุดเท่ากับ 9.83 กรัม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส พบว่าที่เวลาในการให้ความร้อน 90 นาที ได้น้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์มากที่สุดเท่ากับ 10.73 กรัม และที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส พบว่าที่เวลาในการให้ความร้อน 90 นาที ได้น้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์มากที่สุดเท่ากับ 13.40 กรัม

ดังนั้นสภาวะที่ดีที่สุดของการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อตัวอย่าง A ด้วยความร้อนคือ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที ได้น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตแบบหล่อทรายเท่ากับ 13.40 กรัมจากน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงลงมาทั้งหมดที่ 59.55 กรัม โดยน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้นก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 17.71 กรัมของน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อเริ่มต้นการทดลองที่ 144 กรัม ดังนั้นการทดลองที่ 2 มีการนำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมา คิดเป็นร้อยละการนำกลับจากน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงเทียบกับน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้นที่สูงถึงร้อยละ 75.66 และสามารถลดของเสีย

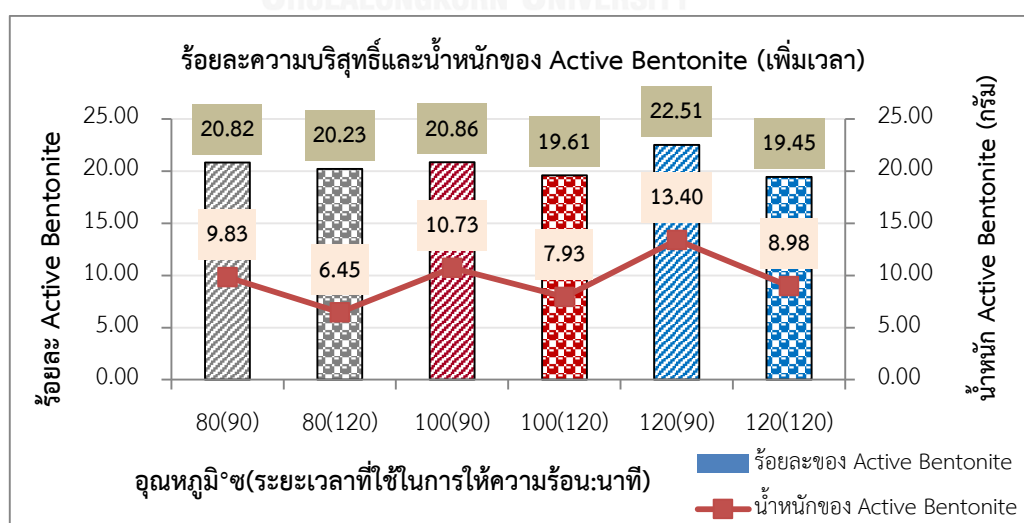
ฝุ่นทรายแบบหล่อที่นำไปกำจัดได้ 59.55 กรัม จากน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อเริ่มต้น 144 กรัม ทั้งนี้ คิดเป็นลดของเสียได้ร้อยละ 40.35 จากของเสียเริ่มต้นทั้งหมดดังแสดงในภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.22 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะดีที่สุดของตัวอย่าง A การทดลองที่ 2

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส มีร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์สูงสุดที่เวลา 90 นาที ซึ่งน่าจะมีแนวโน้มที่จะสามารถเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ได้อีก ดังนั้นจึงได้มีการทำการทดลองเพิ่มเติม โดยเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนจากเดิม 90 นาที เป็น 120 นาที ใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อนที่ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส และเพิ่มอุณหภูมิที่เวลาคงเดิม โดยเพิ่มจาก 120 องศาเซลเซียส เป็น 150, 180 และ 200 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการให้ความร้อนที่ 30 นาที

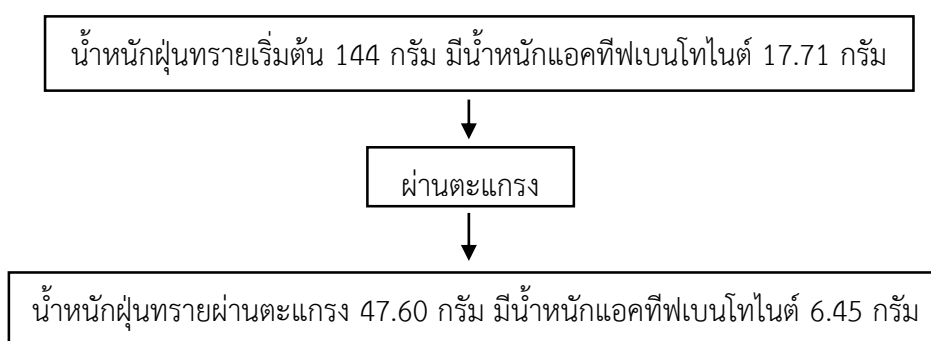
ผลการทดลองเพิ่มเติมได้แสดงตามภาพที่ 4.23 และภาพที่ 4.25



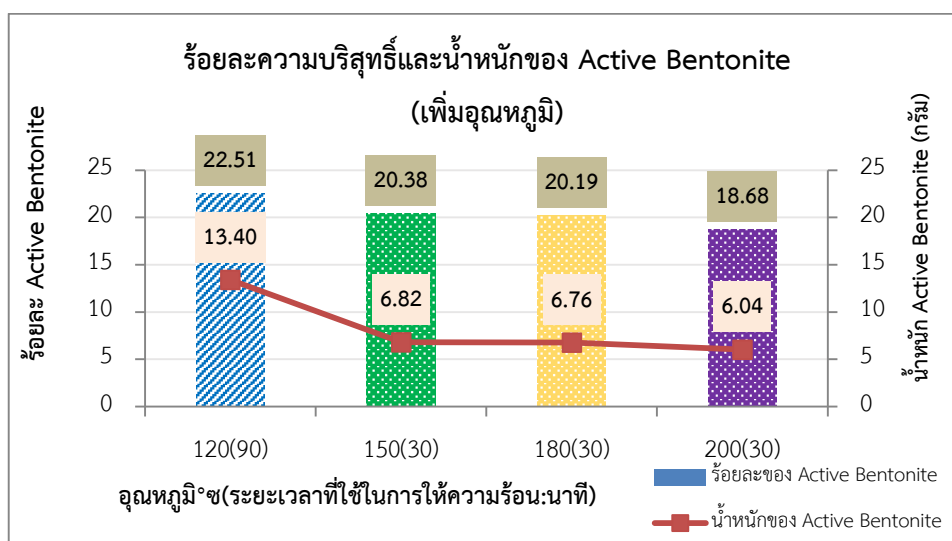
ภาพที่ 4.23 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ตัวอย่าง A การทดลองที่ 2 (เพิ่มเวลา)

ผลการทดลองการเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนจากภาพที่ 4.23 และแสดงในภาคผนวกที่ ๓ แสดงร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์พบว่าฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงลงมา มีร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ในการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วง 19 – 20 โดยที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส ที่เวลา 120 นาที ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ได้ เท่ากับ 20.23, 19.61 และ 19.45 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิเดียวกันคือ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส แต่ที่เวลา 90 นาที พบว่าได้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์มากกว่าการเพิ่มเวลาเป็น 120 นาที แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนส่งผลต่อการเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A

เมื่อพิจารณาถึงน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ร่วงผ่านตะแกรงในการทดลองครั้งนี้ พบว่าที่เวลา 120 นาที ได้น้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์อยู่ในช่วง 6 – 8 กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิเดียวกันที่เวลา 90 นาที ได้น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ถึง 13.40 กรัม ซึ่งมากกว่าที่เวลา 120 นาที เมื่อพิจารณาการนำไปใช้ของสภาวะการเพิ่มเวลาไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้จริง ดังตัวอย่างสภาวะการทดลองเช่น ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที ได้น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์เท่ากับ 6.45 กรัมของน้ำหนักรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงลงมา 47.60 กรัม เทียบกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้นก่อนการทดลองที่ 17.71 กรัมของน้ำหนักรายแบบหล่อก่อนเริ่มต้นการทดลองที่ 144 กรัม ดังนั้นการนำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมา โดยคิดร้อยละการนำกลับคืนมาจาก น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงกับน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้นทดลองคิดเป็นร้อยละ 36.42 และลดของเสียฝุ่นทรายแบบหล่อที่นำไปกำจัดได้ 47.60 กรัม จากเริ่มต้นน้ำหนักรายแบบหล่อ 144 กรัม โดยคิดเป็นร้อยละ 33.06 จากของเสียเริ่มต้นทั้งหมด ดังภาพที่ 4.24 ดังนั้นการทดลองการเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนส่งผลในการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A



ภาพที่ 4.24 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะเพิ่มเวลาของตัวอย่าง A การทดลองที่ 2

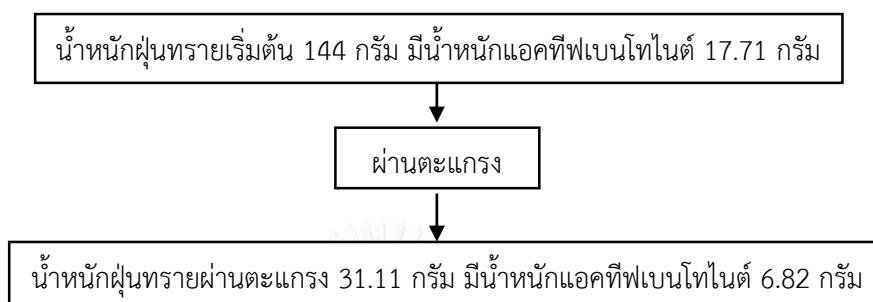


ภาพที่ 4.25 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ตัวอย่าง A การทดลองที่ 2 (เพิ่มอุณหภูมิ)

ผลการทดลองการเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนจากภาพที่ 4.25 และแสดงในภาคผนวกที่ 4 พบว่าฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงลงมาของอุณหภูมิ 150, 180 และ 200 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 นาที ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์เท่ากับ 20.38, 20.19 และ 18.68 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสที่เวลาในการให้ความร้อน 90 นาที ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์เท่ากับ 22.51 ซึ่งมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิ 150, 180 และ 200 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนส่งผลต่อการเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A และการเพิ่มอุณหภูมิจึงมีผลด้านลบมากกว่าการเพิ่มเวลาตามภาพที่ 4.23

น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงลงมาที่อุณหภูมิ 150, 180 และ 200 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 นาที มีค่าน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์เท่ากับ 6.82, 6.76 และ 6.04 กรัม ตามลำดับ พบว่าเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ที่เวลา 90 นาที น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์เท่ากับ 13.40 กรัม มีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิ 150, 180 และ 200 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาการนำไปใช้ของสถานะการเพิ่มอุณหภูมิไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้จริง ดังตัวอย่างสถานะการทดลองเช่น ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ได้น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์เท่ากับ 6.82 กรัมของน้ำหนักรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงลงมา 31.11 กรัม เมื่อเทียบกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้นก่อนการทดลองมี 17.71 กรัมของน้ำหนักรายแบบหล่อเริ่มต้นการทดลอง 144 กรัม ดังนั้นการ

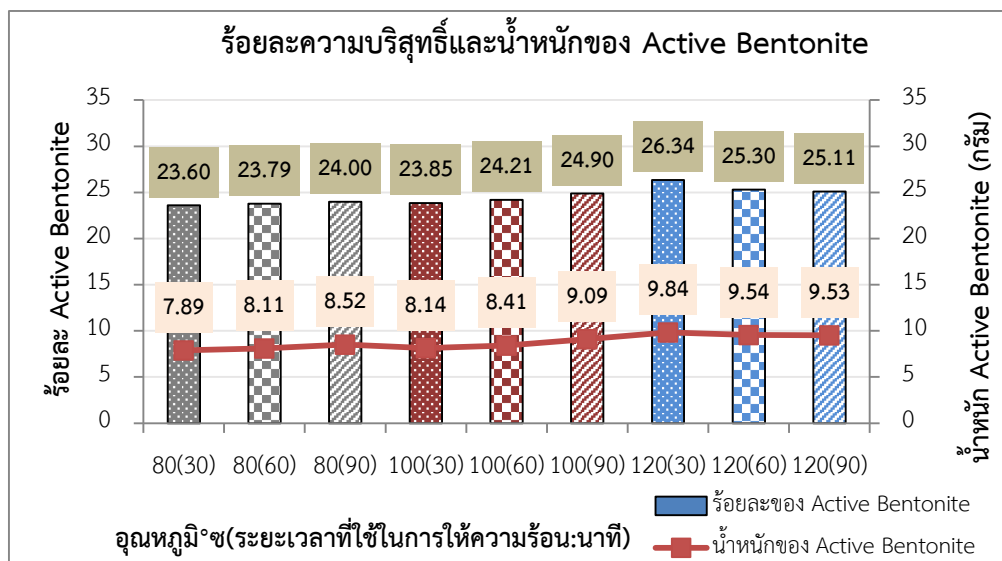
นำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมา โดยคิดร้อยละการนำกลับคืนมาจากน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงกับน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้นทดลองคิดเป็นร้อยละ 38.51 และลดของเสียฝุ่นทรายแบบหล่อที่นำไปกำจัดได้ 31.11 กรัม จากเริ่มต้นน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อ 144 กรัม คิดเป็นร้อยละ 21.60 จากของเสียเริ่มต้นทั้งหมด ดังภาพที่ 4.26 ดังนั้นการทดลองเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนส่งผลลบในการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A



ภาพที่ 4.26 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะเพิ่มอุณหภูมิของตัวอย่าง A การทดลองที่ 2

ดังนั้นเมื่อศึกษาการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนของตัวอย่าง A พบว่าทั้งร้อยละและน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ได้มีค่าน้อยกว่าผลของสภาวะการทดลองที่กำหนดไว้ข้างต้น จึงทำให้ทราบว่า การทดลองที่ศึกษาเพิ่มส่งผลลบต่อการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอกทีฟเบนโทไนด์เป็นเดทเบนโทไนด์ ด้วยกลไกการดึงโมเลกุลของน้ำออกจากโมเลกุลเบนโทไนด์ (Dehydration) (Zymankowska - kumon, 2011) และอุณหภูมิที่ดีที่สุดของการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อคือ 120 องศาเซลเซียส เพราะสามารถระเหยน้ำภายนอกที่ทำให้แอกทีฟเบนโทไนด์เกาะกับฝุ่นทรายแบบหล่อออกไปลดการเชื่อมประสาน ทั้งนี้อุณหภูมิภายในกองฝุ่นทรายแบบหล่อขณะทำการทดลองจะอยู่ที่ 71 – 74 องศาเซลเซียส จึงกล่าวได้ว่าการทดลองนี้ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสภาพจากแอกทีฟเบนโทไนด์เป็นเดทเบนโทไนด์

ตัวอย่าง B



ภาพที่ 4.27 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 2

จากผลการทดลองแสดงร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ ดังภาคผนวกที่ ง และภาพที่ 4.27 พบว่าฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงลงมามีร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ในการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วง 23 – 26 โดยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าที่เวลา 90 นาที ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์มากที่สุดเท่ากับ 24.00 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และที่เวลา 90 นาที ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์มากที่สุดเท่ากับ 24.90 และที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส พบว่าที่เวลา 30 นาที ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์มากที่สุดเท่ากับ 26.34

ดังนั้นสภาวะที่ดีที่สุดของการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อในตัวอย่าง B ด้วยความร้อนคือ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 นาที ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์เท่ากับ 26.34 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยทางอุณหภูมามีผลมากกว่าเวลาที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณา ร่วมกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ร่ว่งผ่านตะแกรง พบว่าทุกสภาวะการทดลองมีน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์อยู่ในช่วง 7 – 9 กรัม ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าที่เวลา 90 นาที ได้ น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์มากที่สุดเท่ากับ 8.52 กรัม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส พบว่าที่เวลา

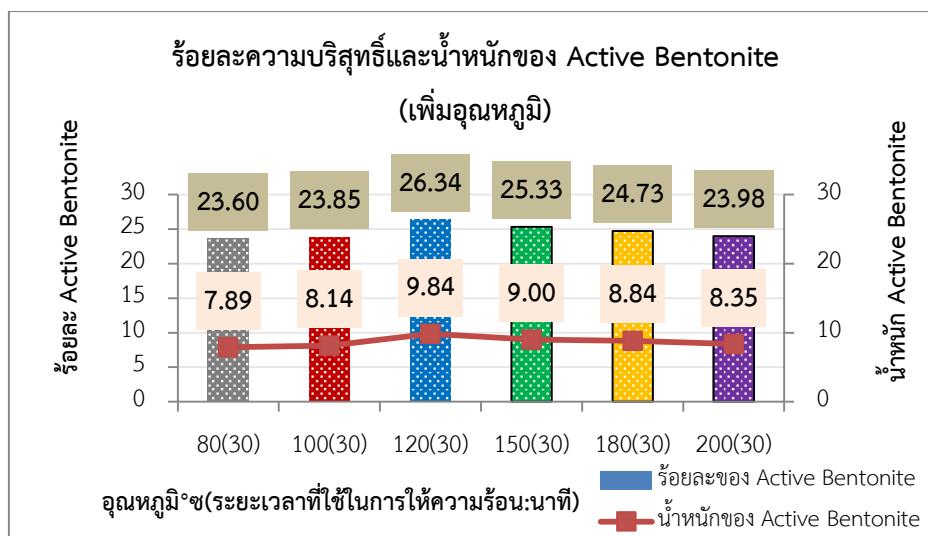
90 นาที ได้น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์มากที่สุดเท่ากับ 9.09 กรัม และที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส พบว่าที่เวลา 30 นาที ได้น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์มากที่สุดเท่ากับ 9.84 กรัม

ดังนั้นสภาวะที่ดีที่สุดของการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อของตัวอย่าง B ด้วยความร้อนคือ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที เมื่อพิจารณาการนำไปใช้จริงได้ น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตแบบหล่อทรายเท่ากับ 9.84 กรัมของ น้ำหนักที่ผ่านตะแกรงลงมา 37.35 กรัม เมื่อเทียบกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่เริ่มต้นก่อนการ ทดลองมีค่าเท่ากับ 23.7 กรัมในน้ำหนักเริ่มต้นการทดลองที่ 144 กรัม ดังนั้นการนำแอกทีฟเบนโท ไนด์กลับคืนมา โดยคิดร้อยละการนำกลับคืนมาจากน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงกับน้ำหนัก แอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้นทดลองเท่ากับร้อยละ 41.52 และลดของเสียฝุ่นทรายแบบหล่อที่นำไปกำจัด ได้ 37.35 กรัม จากเริ่มต้นน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อ 144 กรัม คิดเป็นร้อยละ 25.94 จากของเสีย เริ่มต้นทั้งหมด ดังภาพที่ 4.28



ภาพที่ 4.28 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะดีที่สุดของตัวอย่าง B การทดลองที่ 2

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส มีร้อยละความบริสุทธิ์ของ แอกทีฟเบนโทไนด์ดีที่สุดที่เวลาในการให้ความร้อน 30 นาที โดยที่อุณหภูมิมีผลมากกว่าเวลา ดังนั้น สภาวะการเพิ่มอุณหภูมิน่าจะมีแนวโน้มที่จะสามารถเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ ได้อีก จึงได้มีการทำการทดลองเพิ่มเติม โดยเพิ่มอุณหภูมิจากเดิม 120 องศาเซลเซียสเป็น 150, 180 และ 200 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการให้ความร้อนที่ต่ำที่สุดคือ 30 นาที เพื่อศึกษาว่า ณ อุณหภูมิที่ เพิ่มขึ้นแต่เวลาเท่าเดิมมีผลต่อการเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์หรือไม่อย่างไร



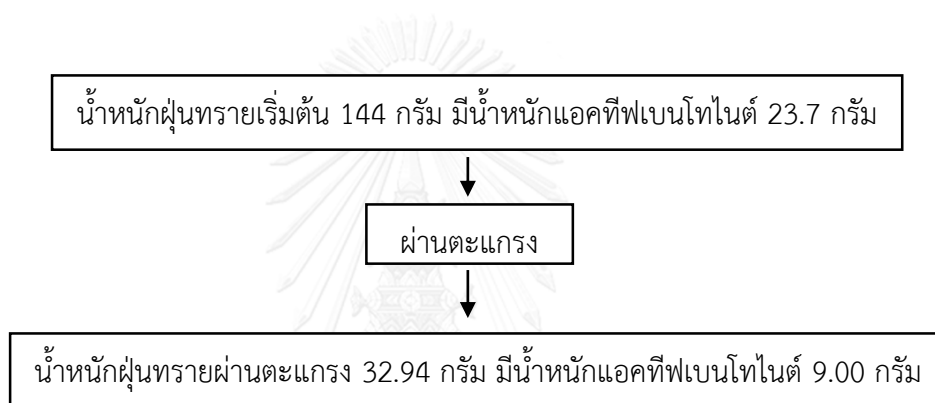
ภาพที่ 4.29 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ตัวอย่าง B การทดลองที่ 2 (เพิ่มอุณหภูมิ)

จากการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ ๓ และภาพที่ 4.29 พบว่าฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงลงมาของทุกสภาวะที่เวลา 30 นาที ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์อยู่ในช่วง 23 – 25 โดยที่อุณหภูมิ 150, 180 และ 200 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 นาที ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ได้เท่ากับ 25.20, 24.63 และ 23.92 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 นาที ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์เท่ากับ 26.34 ซึ่งมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิ 150, 180 และ 200 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนส่งผลต่อการเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง B

เมื่อพิจารณาถึงน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ร่วงผ่านตะแกรง พบว่าน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ของสภาวะการทดลองเพิ่มอุณหภูมิตั้งอยู่ในช่วง 8 – 9 กรัม โดยที่อุณหภูมิ 150, 180 และ 200 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 นาที น้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ได้เท่ากับ 9.00, 8.84 และ 8.35 กรัม ตามลำดับ พบว่าเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสที่เวลาในการให้ความร้อน 30 นาที น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์เท่ากับ 9.84 กรัม ซึ่งมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิ 150, 180 และ 200 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาการนำไปใช้ของสภาวะการเพิ่มอุณหภูมิไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้จริง ดังตัวอย่างสภาวะการทดลองเช่น ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ได้น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์เท่ากับ 9.00 กรัมของน้ำหนักรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงลงมา 32.94 กรัม เมื่อเทียบกับ

น้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้นก่อนการทดลองมี 23.7 กรัมของน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่เริ่มต้นการทดลอง 144 กรัม ดังนั้นการนำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมา โดยคิดร้อยละการนำกลับคืนมาจากน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงกับน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้นทดลองคิดเป็นร้อยละ 37.97 และลดของเสียฝุ่นทรายแบบหล่อที่นำไปกำจัดได้ 32.94 กรัม จากเริ่มต้นน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อ 144 กรัม คิดเป็นร้อยละ 22.88 จากของเสียเริ่มต้นทั้งหมด ดังภาพที่ 4.30 ดังนั้นการทดลองการเพิ่มอุณหภูมิไม่ส่งผลดีต่อประสิทธิภาพทั้งนี้อาจจะเกิดเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอกทีฟเบนโทไนด์เป็นเดทเบนโทไนด์ด้วยกลไกการดึงโมเลกุลของน้ำออกจากโมเลกุลเบนโทไนด์ (Dehydration) (Zymankowska - kumon, 2011)

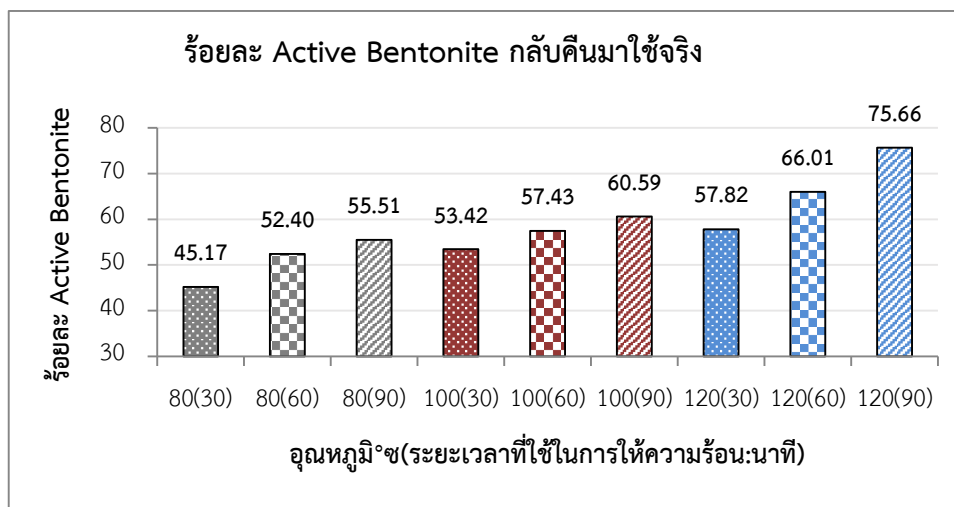


ภาพที่ 4.30 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะเพิ่มอุณหภูมิของตัวอย่าง B การทดลองที่ 2

4.3.4 การนำกลับคืนมา

การนำกลับคืนมา (Recovery) ของฝุ่นทรายแบบหล่อหลังจากผ่านกระบวนการให้ความร้อนแล้วแอกทีฟเบนโทไนด์ที่แยกได้ผ่านตะแกรงลงมาจะถูกนำไปใช้ในการเป็นวัตถุดิบในการผลิตแบบหล่อทรายใหม่ต่อไป และเพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นก่อนนำไปกำจัด ซึ่งวิธีคำนวณสามารถคำนวณได้ตามภาคผนวก ค

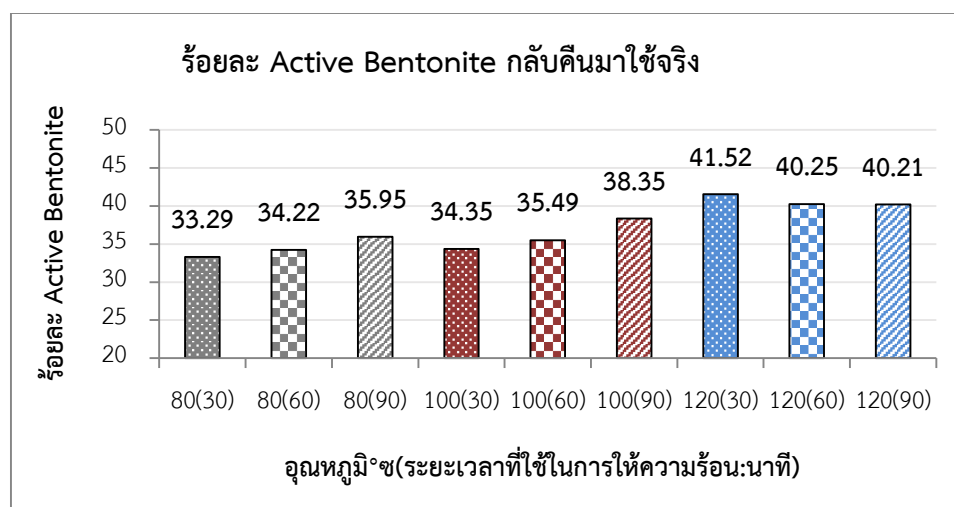
ตัวอย่าง A



ภาพที่ 4.31 ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมาใช้จริงของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 2

ผลจากการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ ง และภาพที่ 4.31 พบว่าฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงลงมาทุกสภาวะการทดลองมีร้อยละของแอกทีฟเบนโทไนด์ในการนำกลับคืนมาอยู่ในช่วง 45 – 75 ซึ่งได้สภาวะการทดลองที่ดีที่สุดคือ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลาในการให้ความร้อน 90 นาที ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์ของการนำกลับคืนมาเท่ากับ 75.66 โดยสอดคล้องกับความบริสุทธิ์ที่ดีที่สุดของตัวอย่าง A ซึ่งเท่ากับร้อยละ 22.51

ตัวอย่าง B



ภาพที่ 4.32 ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมาใช้จริงของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 2

ผลจากการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ ง และภาพที่ 4.32 พบว่าฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงลงมามีร้อยละของแอกทีฟเบนโทไนด์ในการนำกลับคืนมาใช้ใหม่อยู่ในช่วง 33 – 41 ซึ่งได้สภาพการทดลองที่ดีที่สุดคือ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลาในการให้ความร้อน 30 นาที ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์ของการนำกลับคืนมาใช้ใหม่เท่ากับ 41.52 โดยสอดคล้องกับความบริสุทธิ์ที่ดีที่สุดของตัวอย่าง B ซึ่งเท่ากับร้อยละ 26.34

4.3.5 การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ

ตัวอย่าง A

จากผลการทดลองเชื่อว่าถ้าเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้น้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์เพิ่มขึ้น จึงทดสอบสมมติฐานการวิจัยด้วยสถิติ t-test เพราะเป็นการทดสอบสมมติฐานชนิดหนึ่งที่นักวิจัยนิยมใช้การทดสอบ โดยวิธีการนี้ใช้ในกรณีข้อมูลมีจำนวนน้อย ($n < 30$) (อรุณี อ่อนสวัสดิ์, 2551) เป็นการทดสอบความเชื่อ่ว่าความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์อยู่ในทิศทางเดียวกันหรือ ($\beta_1 < 0$) และจากข้อมูลที่ได้ ค่า $b = 0.53$ จึงทำการทดสอบข้างเดียว (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2557) ดังตารางที่ จ.1 ในภาคผนวก จ

$$H_0: \beta_1 \leq 0 \quad \text{หรือ} \quad H_1: \beta_1 > 0$$

สถิติทดสอบ $t = 7.368$ เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t > t_{1-\alpha; n-2}$

คือ $H_0 = t > t_{0.95; 7}$ โดยที่ $t_{0.95; 7} = 1.89$

ซึ่งค่า $t = 7.368$ ซึ่งมากกว่า 1.89 จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ฉะนั้น ค่า $\beta_1 > 0$

จากผลการทดสอบสมมติฐานค่า β_1 แบบข้างเดียวได้ค่า $\beta_1 > 0$ จึงนำไปทดสอบสมมติฐานค่า β_1 แบบสองข้าง เป็นการทดสอบความเชื่อ่ว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ว่าค่า $\beta_1 = 0$ หรือค่า $\beta_1 \neq 0$ และจากข้อมูลที่ได้ ค่า $b = 0.53$ จึงทำการทดสอบแบบสองข้าง (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2557) ดังตารางที่ จ.1 ในภาคผนวก จ

$$H_0: \beta_1 = 0 \quad \text{หรือ} \quad H_1: \beta_1 \neq 0$$

สถิติทดสอบได้ ค่า $t = 7.368$ ซึ่งทำให้ $\text{Sig } t = 0$ น้อยกว่า 0.05

จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ฉะนั้น ค่า $\beta_1 \neq 0$

ตัวอย่าง B

จากผลการทดลองเชื่อว่า ถ้าเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้น้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์เพิ่มขึ้น จึงทดสอบสมมติฐานการวิจัยด้วยสถิติ t-test เพราะเป็นการทดสอบสมมติฐานชนิดหนึ่งที่นักวิจัยนิยมใช้ การทดสอบ โดยวิธีการนี้ใช้ในกรณีข้อมูลมีจำนวนน้อย ($n < 30$) (อรุณี อ่อนสวัสดิ์, 2551) เป็นการทดสอบความเชื่อ่ว่าความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์อยู่ในทิศทางเดียวกันหรือ ($\beta_1 < 0$) และจากข้อมูลที่ได้ ค่า $b = 0.259$ จึงทำการทดสอบข้างเดียว (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2557) ดังตารางที่ จ.2 ในภาคผนวก จ

$H_0: \beta_1 \leq 0$ หรือ $H_1: \beta_1 > 0$

สถิติทดสอบ $t = 12.363$ เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t > t_{1-\alpha; n-2}$

คือ $H_0 = t > t_{0.95; 7}$ โดยที่ $t_{0.95; 7} = 1.89$

ซึ่งค่า $t = 12.363$ ซึ่งมากกว่า 1.89 จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ฉะนั้น ค่า $\beta_1 > 0$

จากผลการทดสอบสมมติฐานค่า β_1 แบบข้างเดียวได้ค่า $\beta_1 > 0$ จึงนำไปทดสอบสมมติฐานค่า β_1 แบบสองข้าง เป็นการทดสอบความเชื่อ่ว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ว่าค่า $\beta_1 = 0$ หรือค่า $\beta_1 \neq 0$ และจากข้อมูลที่ได้ ค่า $b = 0.259$ จึงทำการทดสอบแบบสองข้าง (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2557) ดังตารางที่ จ.2 ในภาคผนวก จ

$H_0: \beta_1 = 0$ หรือ $H_1: \beta_1 \neq 0$

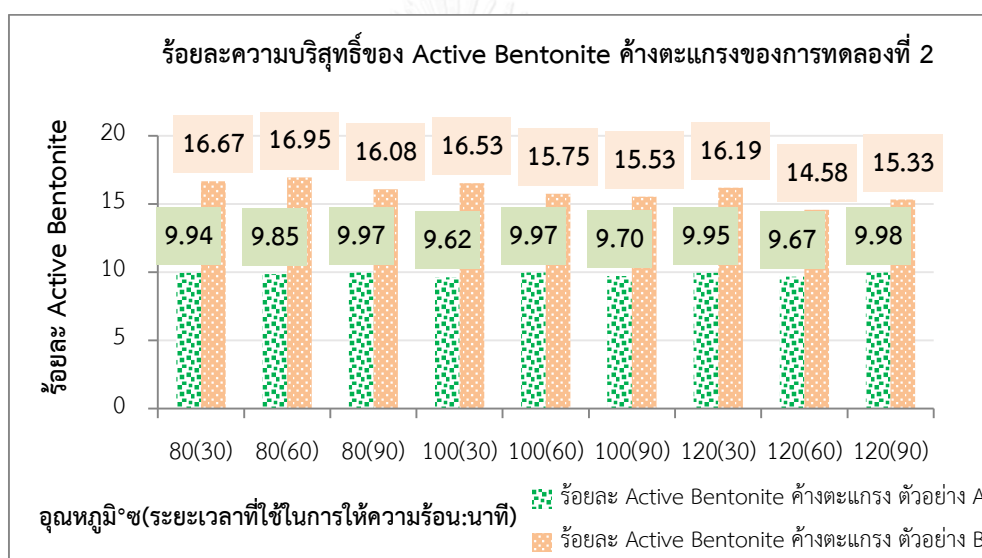
สถิติทดสอบได้ ค่า $t = 12.363$ ซึ่งทำให้ $\text{Sig } t = 0$ น้อยกว่า 0.05

จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ฉะนั้น ค่า $\beta_1 \neq 0$

จากการตรวจสอบสมมติฐานที่ว่าผลของการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้น้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์เพิ่มขึ้นในฝุ่นทรายที่ผ่านตะแกรง ได้ทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติโดยใช้ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของตัวอย่าง A และตัวอย่าง B พบว่ามีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ จ.1 - 2 ในภาคผนวก จ

4.3.6 ความสำคัญของฝุ่นทรายค้ำตะแกรง

จากผลการทดลองที่กล่าวไว้ข้างต้นว่าฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A สามารถแยกแอคทีฟเบนโทไนต์กลับคืนมาได้มากกว่าตัวอย่าง B เพราะว่ามีควมบริสุทธิ์เริ่มต้นของแอคทีฟเบนโทไนต์น้อยกว่า ส่งผลให้มีการเชื่อมประสานน้อยกว่าตัวอย่าง B ที่มีควมบริสุทธิ์แอคทีฟเบนโทไนต์ที่เริ่มต้นมากกว่า จึงสามารถแยกแอคทีฟออกมาได้มากกว่า จึงจำเป็นต้องทดสอบปริมาณแอคทีฟเบนโทไนต์ที่ค้ำตะแกรงของตัวอย่าง A และ B จากสภาวะการทดลองทั้งหมด เพื่อศึกษาว่าเมื่อผ่านการให้ความร้อนทำให้เกิดการแยกแอคทีฟเบนโทไนต์หรือไม่ ตามภาพที่ 4.33 เพื่อนำตัวอย่าง A และตัวอย่าง B ไปทำการทดลองในการทดลองที่ 3 ต่อไป



ภาพที่ 4.33 ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอคทีฟเบนโทไนต์ที่ค้ำตะแกรงของการทดลองที่ 2

จากภาพที่ 4.33 เมื่อทำการทดสอบร้อยละความบริสุทธิ์ของแอคทีฟเบนโทไนต์บริเวณที่ค้ำตะแกรงของตัวอย่าง A และตัวอย่าง B พบว่าตัวอย่าง A มีร้อยละความบริสุทธิ์ของแอคทีฟเบนโทไนต์เหลืออยู่ 9.62 – 9.98 จากเริ่มต้นร้อยละ 11.05 – 14.00 แสดงให้เห็นว่าเกิดการแยกแอคทีฟเบนโทไนต์อนุภาคเดี่ยวและหลุดผ่านตะแกรงลงมา ดังนั้นการใช้ความร้อนอย่างเดียวก็น่าจะทำให้ความบริสุทธิ์แอคทีฟเบนโทไนต์ค้ำตะแกรงลดลงจากเริ่มต้น และตัวอย่าง B มีร้อยละความบริสุทธิ์ของแอคทีฟเบนโทไนต์เหลืออยู่ 14.58 – 16.95 จากเริ่มต้นร้อยละ 16.05 – 19.00 ทั้งนี้จึงอาจ

จำเป็นต้องเพิ่มการחדสีเข้าไปช่วยเพื่อเพิ่มการหลุดของแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ จึงนำไปสู่การทดลองที่ 3 ต่อไป

4.3.7 ข้อสังเกตของผลการให้ความร้อน พร้อมทั้งเปรียบเทียบการแยกเบื้องต้นกับการให้ความร้อน

จากผลการทดลองที่ 1 พบว่าน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ทะลุลงมาของการทดลองที่ 1 มีค่าน้อยกว่าการทดลองที่ 2 ถึง 2 เท่า คือ น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ของทั้งตัวอย่าง A และตัวอย่าง B ของการทดลองที่ 1 อยู่ในช่วง 0 – 6 กรัม ดังตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 คิดเป็นร้อยละของการนำกลับคืนมาอยู่ในช่วงร้อยละ 4 – 40 แต่น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ของทั้งตัวอย่าง A และตัวอย่าง B การทดลองที่ 2 อยู่ในช่วง 7 – 13 กรัม ดังภาพที่ 4.21 และภาพที่ 4.27 คิดเป็นร้อยละของการนำกลับคืนมาอยู่ในช่วงร้อยละ 33 – 75 ดังภาพที่ 4.31 และภาพที่ 4.32 จึงทำให้ต้องตัดการทดลองที่ 1 ทิ้งไปแล้วเริ่มการทดลองทั้งหมดจากการทดลองที่ 2 แทน เนื่องจากน้ำหนักฝุ่นทรายผ่านตะแกรงและน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ได้ไม่คุ้มค่าในการปฏิบัติจริง

จุดเด่นของผลการทดลองที่ 2 คือ น้ำหนักการนำกลับคืนมาใช้ใหม่หรือน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A และตัวอย่าง B พบว่าตัวอย่าง A ร้อยละน้ำหนักผ่านตะแกรงที่แยกได้มีค่าในช่วงร้อยละ 29 – 41 ส่วนตัวอย่าง B ร้อยละน้ำหนักผ่านตะแกรงที่แยกได้อยู่ในช่วงร้อยละ 23 – 26 แสดงว่ากระบวนการให้ความร้อนและตะแกรงสามารถแยกขนาดอนุภาคเล็กที่มีแอกทีฟเบนโทไนด์ปะปนออกจากอนุภาคขนาดใหญ่ได้และได้ดีกว่าการทดลองที่ 1 ถึงแม้ว่าการทดลองที่ 2 ให้ความร้อนร่วมกับตะแกรงจะไม่สามารถเพิ่มความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ได้มากนักคือ จากตัวอย่าง A ร้อยละความบริสุทธิ์ 11 - 14 เป็นร้อยละ 19 – 22 เพิ่มขึ้นร้อยละ 8 - 11 และตัวอย่าง B ร้อยละความบริสุทธิ์ 16 – 19 เป็นร้อยละ 23 - 26 เพิ่มขึ้นร้อยละ 7 – 10

ดังนั้นการเปรียบเทียบการทดลองการแยกเบื้องต้นกับการให้ความร้อนนำเสนอตารางที่ 4.4 โดยพิจารณาจากร้อยละความบริสุทธิ์ร่วมกับร้อยละการนำกลับคืนมาของแอกทีฟเบนโทไนด์ เมื่อเปรียบเทียบการทดลองที่ 1 การแยกเบื้องต้น กับ การทดลองที่ 2 การให้ความร้อน พบว่าการทดลองที่ 2 ตัวอย่าง A มีความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ลดลงประมาณร้อยละ 1 ส่วนตัวอย่าง B พบว่าร้อยละความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 4 แต่การทดลองการให้ความร้อนได้ความบริสุทธิ์ตามที่

ต้องการของทั้ง 2 ตัวอย่าง (ความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 20) ซึ่งพบว่าร้อยละความบริสุทธิ์แอกทีฟเบนโทไนด์ไม่ต่างกัน ทั้งนี้ตัวอย่าง A จากภาพที่ 4.13 เริ่มต้นน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ที่น้อยแต่ผ่านตะแกรงลงมาจำนวนมาก ส่วนตัวอย่าง B จากภาพที่ 4.15 เริ่มต้นน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ที่มากแต่ผ่านตะแกรงลงมาจำนวนน้อยแสดงว่าตัวอย่าง B แอกทีฟเบนโทไนด์เกาะตัวกันค้างบนตะแกรง จึงมาพิจารณาน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ พบว่าแตกต่างกันดังที่ได้กล่าวข้างต้น และเมื่อพิจารณาการนำกลับคืนมาของแอกทีฟเบนโทไนด์ของการแยกเบื้องต้นเทียบกับการให้ความร้อน พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 18 – 35 ของทั้งตัวอย่าง A และ B แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนช่วยให้สามารถแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ได้ดีมากขึ้นกว่าการแยกเบื้องต้น

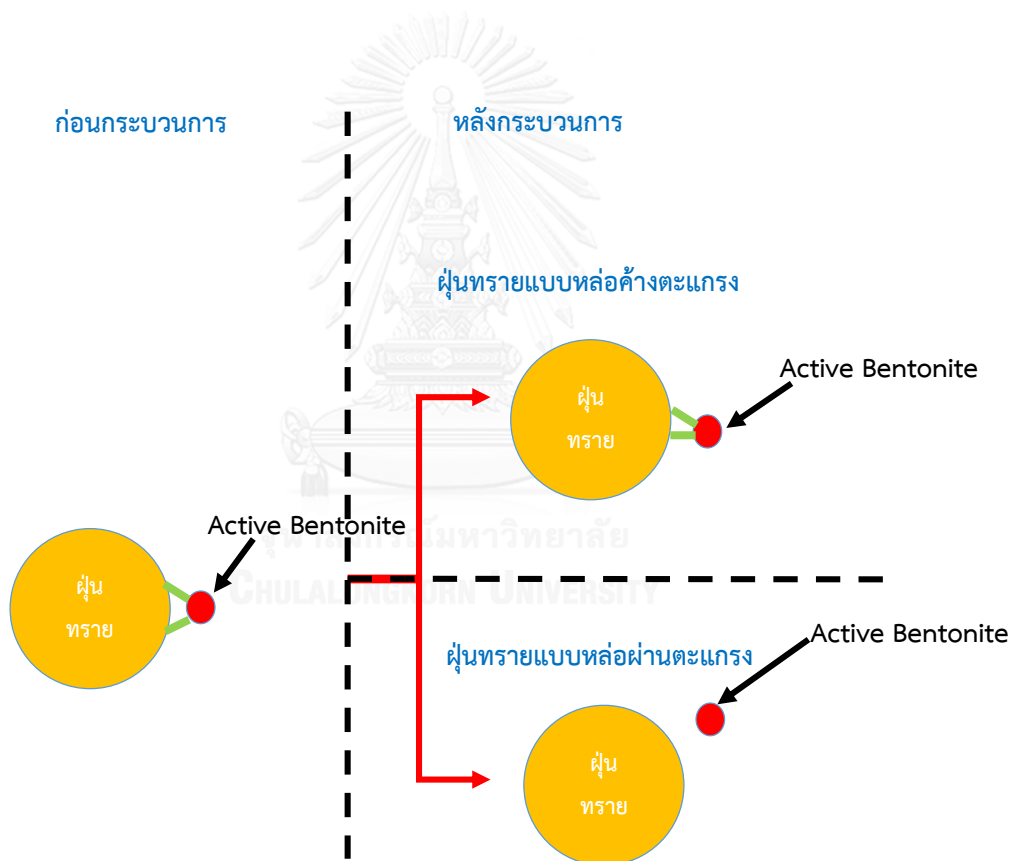
ตารางที่ 4.4 ร้อยละการนำกลับคืนมาและร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ของสถานะที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 และ 2

ตัวอย่าง	การทดลองที่ 1		การทดลองที่ 2	
	ร้อยละการนำกลับคืนมา	ร้อยละความบริสุทธิ์	ร้อยละการนำกลับคืนมา	ร้อยละความบริสุทธิ์
A	40.47	23.33	75.66	22.51
B	23.04	22.39	41.52	26.34

เมื่อเปรียบเทียบขั้นตอนของการทดลองที่ 1 และขั้นตอนของการทดลองที่ 2 ต่างกันที่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ แต่จะเห็นว่าในโรงงานมีความร้อนที่สูญเสียออกมาตรงกระบวนการหลอมโลหะให้เป็นน้ำโลหะอยู่ประมาณ 50 – 350 องศาเซลเซียส (John, 1886) จึงเป็นการง่ายที่จะใช้ขั้นตอนกระบวนการทดลองที่ 2 ในการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อด้วยความร้อนที่มีอยู่แล้วในโรงงาน ถือว่าเป็นกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนและง่ายต่อการประยุกต์ใช้ในโรงงาน ซึ่งตอบโจทย์ของโรงงานได้เป็นอย่างดี

4.4 การทดลองที่ 3 การขัดสีและความร้อน

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพิ่มการแยกแอคทีฟเบนโทไนด์มากขึ้น จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าต้องเพิ่มแรงขัดสีเพื่อให้แอคทีฟเบนโทไนด์หลุดแยกออกจากฝุ่นทรายแบบหลวมมากขึ้นกว่าการใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว (Lucarz, 2007) โดยทำให้การขัดสีเกิดขึ้นที่พื้นที่ผิวของแอคทีฟเบนโทไนด์เพื่อให้เกิดการร่วนมากหลุดออกจากฝุ่นทรายแบบหลวมผ่านตะแกรงลงไป การทดลองนี้จะใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนที่ดีที่สุดของการทดลองที่ 2 โดยจะมีการแปรค่าความเร็วรอบและเวลาในการขัดสี (Cannon และคณะ, 2005) เพื่อให้แอคทีฟเบนโทไนด์หลุดจากฝุ่นทรายแบบหลวมได้มากที่สุด ทั้งนี้สมมติฐานข้างต้นสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.34



ภาพที่ 4.34 แนวคิดสมมติฐานของการขัดสี

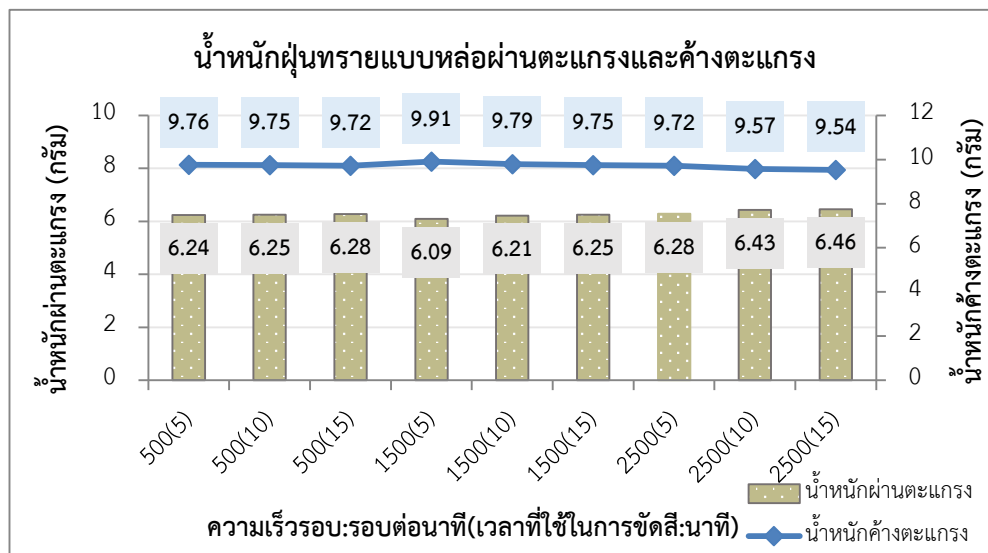
ทั้งนี้ลำดับการนำเสนอและวิเคราะห์ผลการทดลองนี้จะเป็นดังนี้

1. น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงและน้ำหนักที่ค้างตะแกรง
2. อัตราเร็วในการไหลของฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง
3. ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรง
4. ความสามารถในการนำกลับคืนมาใช้ใหม่ โดยพิจารณาจากน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงที่นำไปใช้ได้จริง
5. การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์กับการขัดสี



4.4.1 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรง

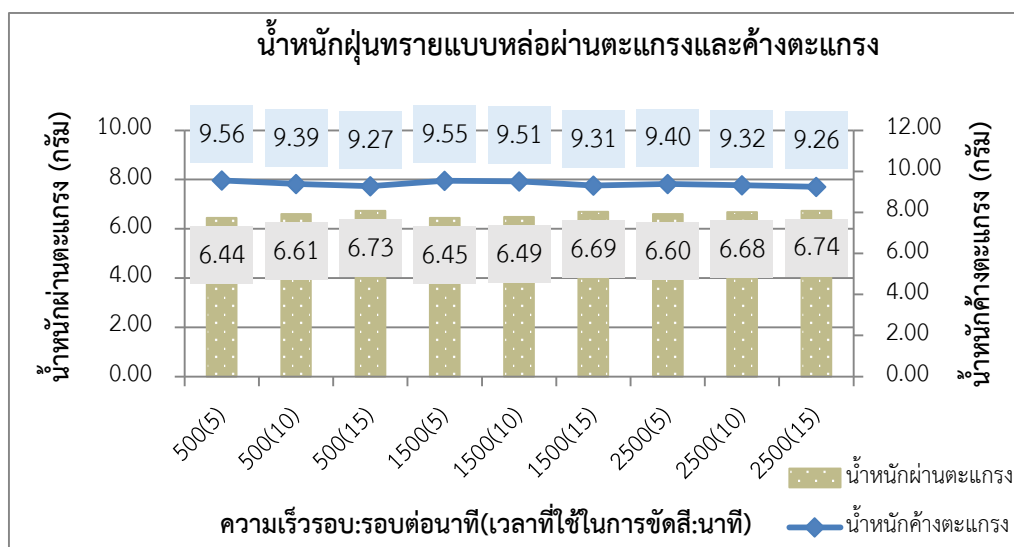
ตัวอย่าง A



ภาพที่ 4.35 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรงของตัวอย่าง A การทดลองที่ 3

จากการทดลองให้แรงขุดสีเกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสของแอกทีฟเบนโทไนด์เกิดการร่วนมากขึ้นและหลุดออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อของตัวอย่าง A แสดงดังภาคผนวกที่ 3 และภาพที่ 4.35 แสดงน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรง พบว่าน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่ค้ำตะแกรงอยู่ในช่วง 9.54 – 9.91 กรัม มีค่าร้อยละของน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่ค้ำตะแกรงอยู่ในช่วง 59 – 61 และน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงอยู่ในช่วง 6.09 – 6.46 กรัม คิดเป็นร้อยละน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงอยู่ในช่วง 38 - 40 โดยที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ปริมาณน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงลงมาปริมาณมากที่สุดที่เวลาในการขุดสี 15 นาทีเท่ากับ 6.28 กรัม ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที ปริมาณน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงลงมาปริมาณมากที่สุดที่เวลาในการขุดสี 15 นาทีเท่ากับ 6.25 กรัม และที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที ปริมาณน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงลงมาปริมาณมากที่สุด ที่เวลาในการขุดสี 15 นาทีเท่ากับ 6.46 กรัม ดังนั้นที่ทุกความเร็วรอบ พบว่าเวลาในการขุดสี 15 นาที ปริมาณตัวอย่าง A ตกลงมาผ่านตะแกรงมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มเวลาและเพิ่มความเร็วรอบมากขึ้นน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อจะร่วงผ่านลงมาเพิ่มขึ้น

ตัวอย่าง B



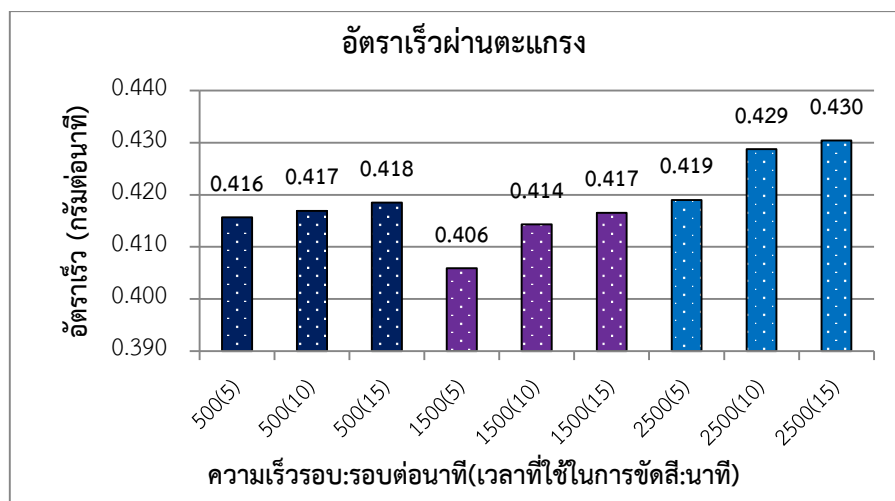
ภาพที่ 4.36 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อค้ำตะแกรงและผ่านตะแกรงของตัวอย่าง B การทดลองที่ 3

จากการทดลองแสดงตามภาคผนวกที่ ง และภาพที่ 4.36 แสดงน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อค้ำตะแกรงและน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง พบว่าน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่ค้ำตะแกรงอยู่ในช่วง 9.26 – 9.56 กรัม มีค่าร้อยละของน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่ค้ำตะแกรงอยู่ในช่วง 57 - 59 และน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงอยู่ในช่วง 6.44 – 6.74 กรัม คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงอยู่ในช่วง 40 - 42 โดยที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ปริมาณน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงลงมาปริมาณมากที่สุดที่เวลา 15 นาทีเท่ากับ 6.73 กรัม ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที ปริมาณน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงลงมาปริมาณมากที่สุดที่เวลา 15 นาทีเท่ากับ 6.69 กรัม และที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที ปริมาณน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงลงมาปริมาณมากที่สุดที่เวลา 15 นาทีเท่ากับ 6.74 กรัม ดังนั้นที่ทุกความเร็วรอบ พบว่าเวลา 15 นาที ปริมาณตัวอย่าง B ตกกลงมาผ่านตะแกรงมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มเวลาและเพิ่มความเร็วรอบให้มากขึ้นน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อจะร่วงผ่านลงมามากขึ้น

4.4.2 อัตราเร็วฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง

บอกอัตราการอุดตันและความสามารถในการเชื่อมประสานของตัวอย่าง A และตัวอย่าง B ซึ่งเป็นไปดังภาพ 4.37 – 4.38 ดังนี้

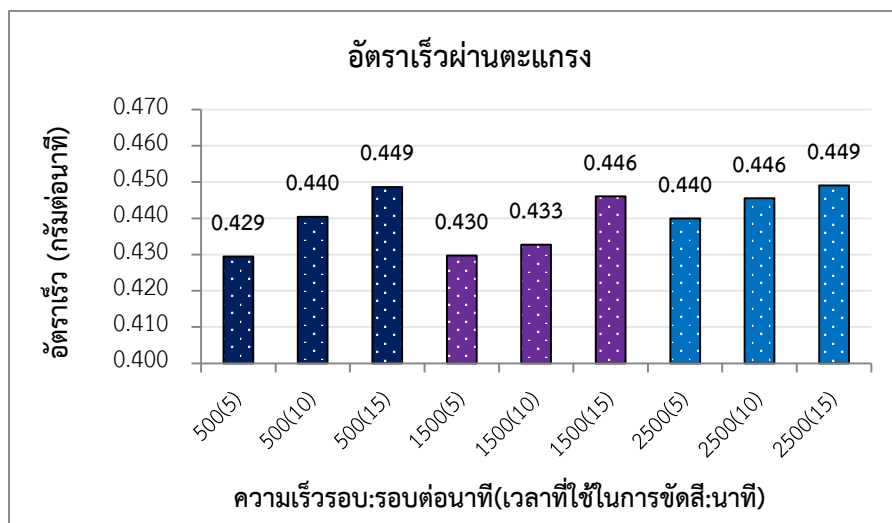
ตัวอย่าง A



ภาพที่ 4.37 อัตราเร็วร่วงผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 3

จากการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.37 แสดงอัตราเร็วผ่านตะแกรงของทุกสภาวะการทดลองพบว่าอัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A อยู่ในช่วง 0.406 – 0.430 กรัมต่อนาที โดยที่ความเร็วรอบ 500 และ 1,500 รอบต่อนาที เวลา 5, 10 และ 15 นาที อัตราเร็วผ่านตะแกรงสูงสุดคือที่เวลา 15 นาทีเท่ากับ 0.418, 0.417 กรัมต่อนาที ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที และใช้เวลาในการขัดสี 5, 10 และ 15 นาที อัตราเร็วผ่านตะแกรงที่สูงที่สุดคือที่เวลา 15 นาทีเท่ากับ 0.430 กรัมต่อนาที แสดงให้เห็นว่าอัตราเร็วที่ผ่านตะแกรงเพิ่มขึ้นตามเวลาในการขัดสี และอัตราเร็วผ่านตะแกรงสูงสุดของทุกความเร็วรอบมีค่าใกล้เคียงกันมากแต่มีค่าน้อยกว่าการทดลองที่ 2 อันเนื่องมาจากน้ำหนักที่ผ่านตะแกรงที่ผ่านการขัดสีให้อนุภาคเล็กกลางและถูกบังคับให้ผ่านตะแกรงลงมามีปริมาณใกล้เคียงกัน ซึ่งได้ศึกษาที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที เวลา 5 นาที เวลาในการขัดสีมีผลมากกว่าความเร็วรอบคือ เมื่อเพิ่มเวลาในการขัดสีอัตราเร็วจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อศึกษาที่ความเร็วรอบ 1,500 และ 2,500 รอบต่อนาที พบว่าอัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นและตามเวลาในการขัดสีที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีผลทั้งคู่

ตัวอย่าง B



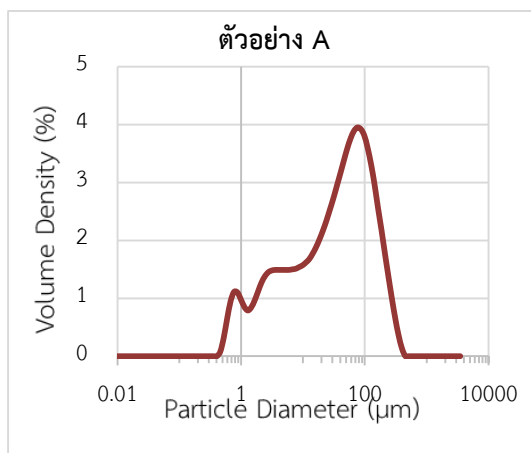
ภาพที่ 4.38 อัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 3

จากการทดลองจากดังภาพที่ 4.38 พบว่าอัตราเร็วผ่านตะแกรงของทุกสภาวะการทดลอง ตัวอย่าง B จะอยู่ในช่วง 0.429 – 0.449 กรัมต่อนาที โดยที่ความเร็วรอบ 500, 1,500 และ 2,500 รอบต่อนาที และเวลา 5, 10 และ 15 นาที อัตราเร็วผ่านตะแกรงสูงที่สุดคือที่เวลา 15 นาทีเท่ากับ 0.449 กรัมต่อนาที แสดงให้เห็นว่าอัตราเร็วผ่านตะแกรงเพิ่มขึ้นตามเวลาในการชั่ง และอัตราเร็วที่สูงสุดของทุกความเร็วรอบมีค่าใกล้เคียงกันแต่มีค่าน้อยกว่าการทดลองที่ 2 ซึ่งได้ศึกษาที่ความเร็วรอบ 500, 1,500 และ 2,500 รอบต่อนาที พบว่าอัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นและตามเวลาในการชั่งที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีผลทั้งคู่ แต่เวลามีผลมากกว่าความเร็วรอบเพราะที่เวลาในการชั่ง 15 นาทีพบอัตราเร็วสูงสุดของทุกความเร็วรอบ

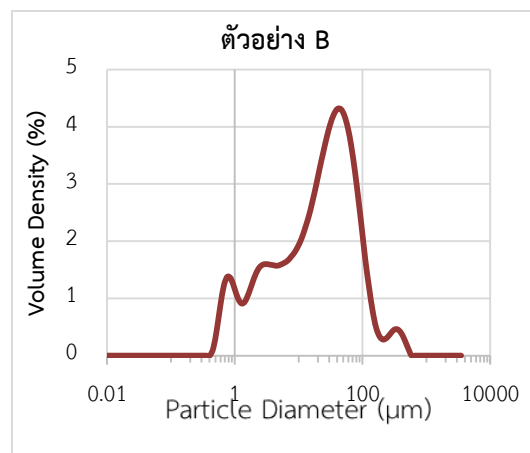
- ขนาดอนุภาคของฝุ่นทรายแบบหล่อที่ค้ำตะแกรงและผ่านตะแกรง

เมื่อพิจารณาอัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A และตัวอย่าง B มีค่าใกล้เคียงกันมากทั้งนี้ มาจากน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงมีปริมาณใกล้เคียงกันคือ น้ำหนักค้ำตะแกรงอยู่ในช่วง 9.2 – 9.6 กรัม น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงอยู่ในช่วง 6.0 – 6.7 กรัม การชั่งทำให้ขนาดอนุภาคของทั้งตัวอย่าง A และตัวอย่าง B มีขนาดใกล้เคียงกัน จึงส่งผลให้น้ำหนักที่ผ่านตะแกรงลงมา มีค่าใกล้เคียงกัน ทดสอบการวัดขนาดอนุภาคฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง ตามภาพที่ 4.39 – 4.42 ดังนี้

ก่อนการขัดสี

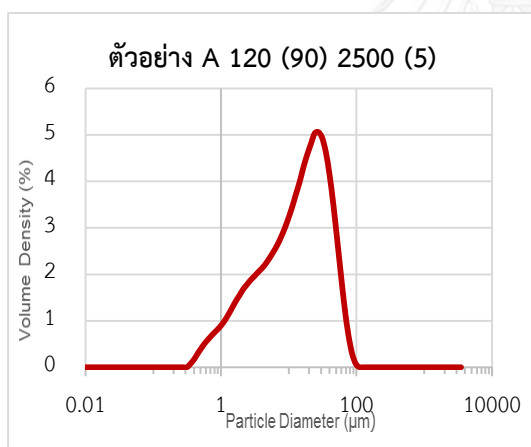


ภาพที่ 4.39 กราฟแสดงขนาดอนุภาคของตัวอย่าง A

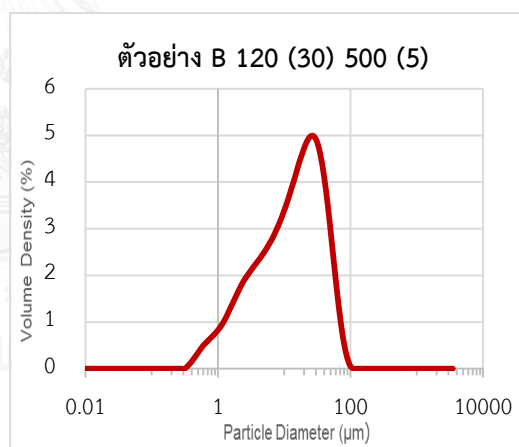


ภาพที่ 4.40 กราฟแสดงขนาดอนุภาคของตัวอย่าง B

หลังการขัดสี



ภาพที่ 4.41 ขนาดอนุภาคของตัวอย่าง A ที่ผ่านตะแกรง



ภาพที่ 4.42 ขนาดอนุภาคของตัวอย่าง B ที่ผ่านตะแกรง

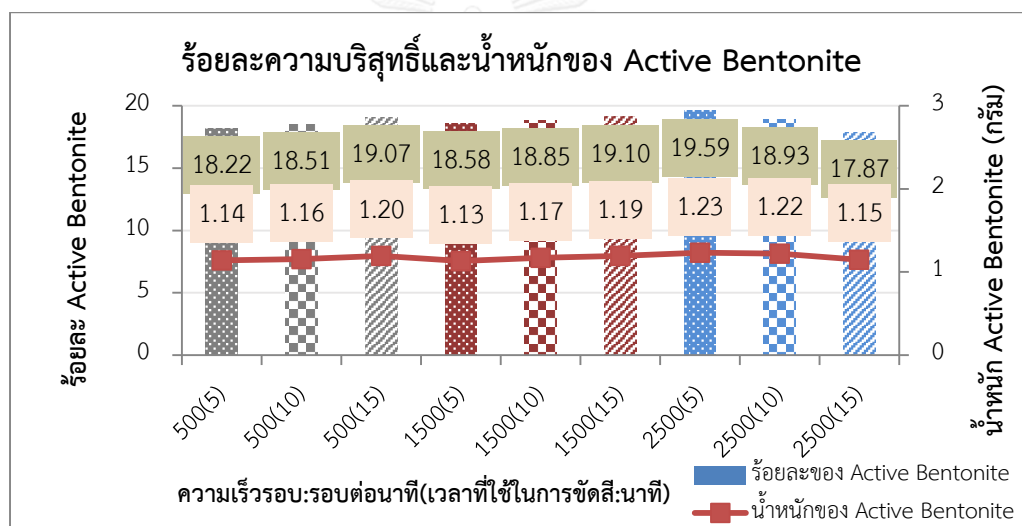
จากภาพ 4.39 – 4.42 ข้างต้น เริ่มต้นตัวอย่าง A มีขนาดอนุภาค (d_{50}) เท่ากับ 39 ไมครอน ตัวอย่าง B มีขนาดอนุภาค (d_{50}) เท่ากับ 25 ไมครอน เมื่อฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงลงมาของ ตัวอย่าง A ที่สภาวะการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที เวลา 5 นาที ขนาดอนุภาค (d_{50}) เท่ากับ 15.3 ไมครอน ขนาดอนุภาคฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงลงมาของตัวอย่าง B ที่สภาวะการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที เวลา 5 นาที

ขนาดอนุภาค (d_{50}) เท่ากับ 14.5 ไมครอน จากขนาดอนุภาคฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงลงมา ทำให้ทราบว่าจากขนาดอนุภาค (d_{50}) มีขนาดใกล้เคียงกันต่างไปจากตอนเริ่มต้น ส่งผลให้น้ำหนักที่ผ่านตะแกรงลงมามีน้ำหนักที่ได้ใกล้เคียงกัน

4.4.3 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์

ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงสามารถใช้ในการระบุประสิทธิภาพของกรรมวิธีและสภาวะการทดลองที่เหมาะสมได้ ซึ่งวิธีคำนวณสามารถคำนวณได้ตามภาคผนวก ค

ตัวอย่าง A



ภาพที่ 4.43 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 3

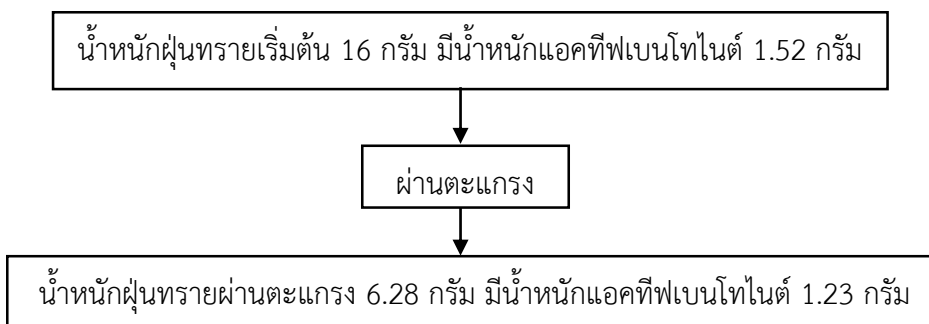
จากการทดลองการให้แรงขัดสีของตัวอย่าง A แสดงดังภาคผนวกที่ ง และภาพที่ 4.43 พบว่า ฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงของทุกสภาวะการทดลองมีร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์อยู่ในช่วง 17.87 – 19.59 โดยที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ใช้เวลา 5, 10 และ 15 นาที โดยที่เวลา 15 นาทีได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A มากที่สุดเท่ากับ 19.07 ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที ใช้เวลา 5, 10 และ 15 นาที โดยที่เวลา 15 นาที ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A มากที่สุดเท่ากับ 19.10 และที่ความเร็ว

รอบ 2,500 รอบต่อนาที ใช้เวลา 5, 10 และ 15 นาที โดยใช้เวลา 5 นาทีได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของ แอคทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A มากที่สุดเท่ากับ 19.59

ดังนั้นสภาพที่ดีที่สุดของการแยกแอคทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อด้วยการขัดสีคือ ที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที ใช้เวลา 5 นาที ได้แอคทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A เท่ากับ ร้อยละความบริสุทธิ์ 19.59 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่าง A ต้องการความเร็วรอบที่สูงเพื่อให้สามารถแยก แอคทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อได้ความเข้มข้นมากที่สุดในการทดลองที่ 3

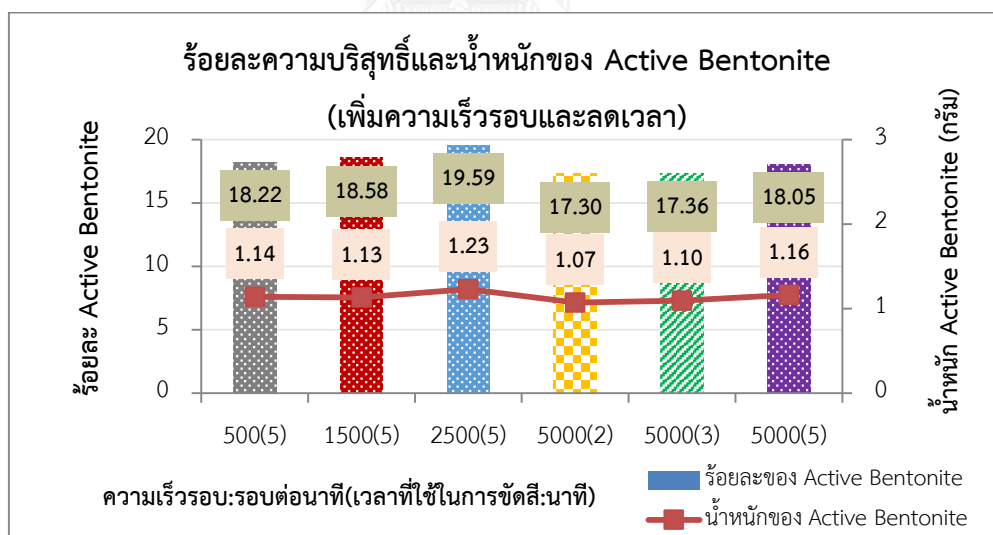
เมื่อพิจารณาถึงน้ำหนักของแอคทีฟเบนโทไนด์ที่ร่วงผ่านตะแกรง พบว่าน้ำหนักของแอคทีฟ เบนโทไนด์อยู่ในช่วง 1.13 – 1.23 กรัม โดยที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ที่เวลา 5, 10 และ 15 นาที พบว่าที่เวลา 15 นาที ได้น้ำหนักแอคทีฟเบนโทไนด์มากที่สุดเท่ากับ 1.20 กรัม ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที ที่เวลา 5, 10 และ 15 นาที พบว่าที่เวลา 15 นาที ได้น้ำหนักแอคทีฟเบนโทไนด์ มากที่สุดเท่ากับ 1.19 กรัม และที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที ใช้เวลา 5, 10 และ 15 นาที พบว่าที่เวลา 5 นาที ได้น้ำหนักแอคทีฟเบนโทไนด์มากที่สุดเท่ากับ 1.23 กรัม

ดังนั้นสภาวะที่ดีที่สุดของการแยกแอคทีฟเบนโทไนด์ออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อของตัวอย่าง A ด้วยการขัดสีคือ ที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที ที่เวลา 5 นาที น้ำหนักแอคทีฟเบนโทไนด์ของ ตัวอย่าง A เท่ากับ 1.23 กรัมของน้ำหนักรวมที่ผ่านตะแกรงลงมา 6.28 กรัม เมื่อเทียบกับน้ำหนักของแอค ทีฟเบนโทไนด์ที่เริ่มต้นก่อนการทดลองมี 1.52 กรัมของน้ำหนักรวมที่เริ่มต้นการทดลอง 16 กรัม ดังนั้นการ ทดลองที่ 3 มีการนำแอคทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมา โดยคิดร้อยละการนำกลับคืนมาจากน้ำหนักแอค ทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงกับน้ำหนักแอคทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้นทดลองที่สูงถึงร้อยละ 80.92 และ สามารถลดของเสียฝุ่นทรายแบบหล่อที่นำไปกำจัดได้ 6.28 กรัม จากเริ่มต้นน้ำหนักรวมของฝุ่นทรายแบบหล่อ 16 กรัม โดยคิดเป็นร้อยละ 39.25 จากของเสียเริ่มต้นทั้งหมดดังแสดงในภาพที่ 4.44



ภาพที่ 4.44 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะดีที่สุดของตัวอย่าง A การทดลองที่ 3

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที มีร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์สูงสุดที่เวลา 5 นาที ซึ่งน่าจะมีแนวโน้มที่จะเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ได้อีก ดังนั้นจึงได้มีการทำการทดลองเพิ่มเติม โดยเพิ่มความเร็วรอบและลดเวลาให้สั้นลง ใช้ความเร็วรอบเป็น 5,000 รอบต่อนาที และที่เวลา 2, 3 และ 5 นาที เพื่อศึกษา ว่าคุณสมบัติที่เพิ่มขึ้นและลดเวลาในการขัดสีมีผลต่อการเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์หรือไม่อย่างไร

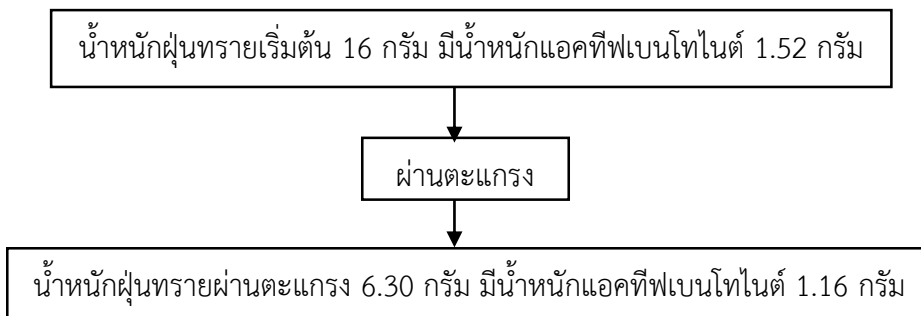


ภาพที่ 4.45 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ตัวอย่าง A การทดลองที่ 3 (เพิ่มความเร็วรอบและลดเวลา)

จากการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ ๓ และภาพที่ 4.45 พบว่าส่วนที่ผ่านตะแกรงลงมา มีร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์อยู่ในช่วง 17.30 – 18.05 โดยความเร็วรอบที่ 5,000 รอบต่อนาที และใช้เวลาในการขัดสี 2, 3 และ 5 นาที ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ได้เท่ากับ 17.30, 17.36 และ 18.05 ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบที่ 5,000 รอบต่อนาที เวลา 2, 3 และ 5 นาที มีร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์น้อยกว่าเมื่อเทียบกับที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที เวลา 5 นาที แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเร็วรอบและลดเวลาในการขัดสีส่งผลลบในการเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A

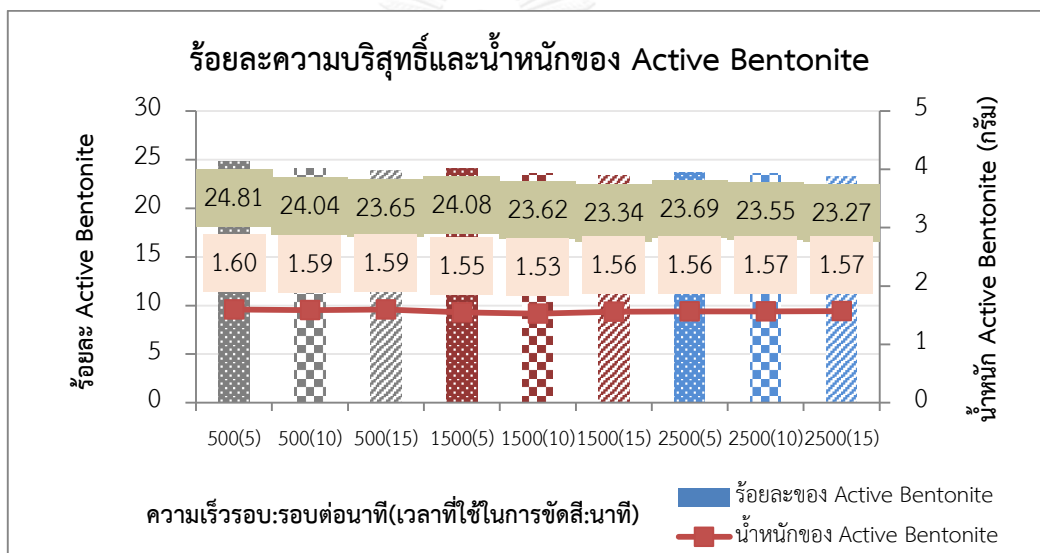
เมื่อพิจารณาถึงน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ร่วงผ่านตะแกรง พบว่าน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ของการทดลองเพิ่มอยู่ในช่วง 1.07 – 1.16 กรัม โดยที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที เวลา 2, 3 และ 5 นาที น้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ได้เท่ากับ 1.07, 1.10 และ 1.16 กรัมตามลำดับ พบว่าที่ความเร็วรอบที่ 5,000 รอบต่อนาที เวลา 2, 3 และ 5 นาที มีน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์น้อยกว่าเมื่อเทียบกับที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที เวลา 5 นาที

เมื่อพิจารณาการนำไปใช้ของสภาวะการเพิ่มเวลาไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้จริง ดังตัวอย่างสภาวะการทดลองเช่น ที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที เวลา 5 นาที ได้น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์เท่ากับ 1.16 กรัมของน้ำหนักรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงลงมา 6.30 กรัม เมื่อเทียบกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้นก่อนการทดลองมี 1.52 กรัมของน้ำหนักรายแบบหล่อเริ่มต้นการทดลอง 16 กรัม ดังนั้นการนำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมา โดยคิดร้อยละการนำกลับคืนมาจากน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงกับน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้นทดลองคิดเป็นร้อยละ 76.32 และลดของเสียรายแบบหล่อที่นำไปกำจัดได้ 6.30 กรัม จากเริ่มต้นน้ำหนักรายแบบหล่อ 16 กรัม โดยคิดเป็นร้อยละ 39.38 จากของเสียเริ่มต้นทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 4.46 ดังนั้นการทดลองเพิ่มความเร็วรอบและลดเวลาส่งผลลบในการเพิ่มน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A



ภาพที่ 4.46 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สถานะที่เพิ่มของตัวอย่าง A การทดลองที่ 3

ตัวอย่าง B

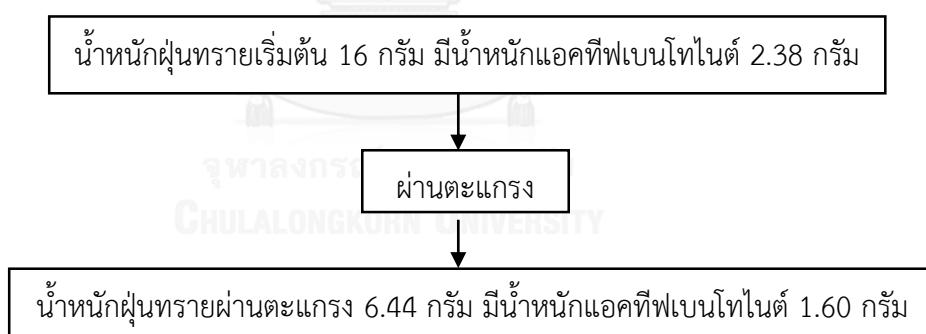


ภาพที่ 4.47 ร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 3

ผลจากการทดลองแสดงดังภาคผนวกที่ ๓ และภาพที่ 4.47 พบว่าส่วนที่ผ่านตะแกรงลงมามีร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์อยู่ในช่วง 23.27 – 24.81 โดยที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที เวลา 5, 10 และ 15 นาที โดยที่เวลา 5 นาที ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์มากที่สุดเท่ากับ 24.81 ส่วนที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที เวลา 5, 10 และ 15 นาที พบว่าที่เวลา 5 นาที ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์มากที่สุดเท่ากับ 24.08 และที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที ใช้เวลา 5, 10 และ 15 นาที พบว่าที่เวลา 5 นาที ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์มากที่สุดเท่ากับ 23.69

ดังนั้นสภาวะที่ดีที่สุดของการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อด้วยการขัดสีคือ ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ใช้เวลา 5 นาที พบแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง B เท่ากับร้อยละ ความบริสุทธิ์ 24.81 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่าง B ต้องการความเร็วรอบที่ต่ำเพื่อให้สามารถแยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อได้ความเข้มข้นมากที่สุดในการทดลองที่ 3

เมื่อพิจารณาถึงน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ร่วงผ่านตะแกรง พบว่าน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์อยู่ในช่วง 1.53 – 1.60 กรัม โดยที่ความเร็วรอบ 500, 1,500 และ 2,500 รอบต่อนาที เวลา 5, 10 และ 15 นาที พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดคือ ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที เวลาในการขัดสี 5 ได้น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง B มากที่สุดเท่ากับ 1.60 กรัมของน้ำหนักที่ผ่านตะแกรง ลงมา 6.44 กรัม ซึ่งเมื่อเทียบกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้นก่อนการทดลองมี 2.38 กรัม ของน้ำหนักเริ่มต้นการทดลอง 16 กรัม ดังนั้นการนำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมา โดยคิดร้อยละการนำกลับคืนมาจากน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงกับน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้นทดลอง คิดเป็นร้อยละ 67.22 และลดของเสียฝุ่นทรายแบบหล่อที่นำไปกำจัดได้ 6.44 กรัม จากเริ่มต้นน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อ 16 กรัม โดยคิดเป็นร้อยละ 40.25 จากของเสียเริ่มต้นทั้งหมด ดังภาพที่ 4.48



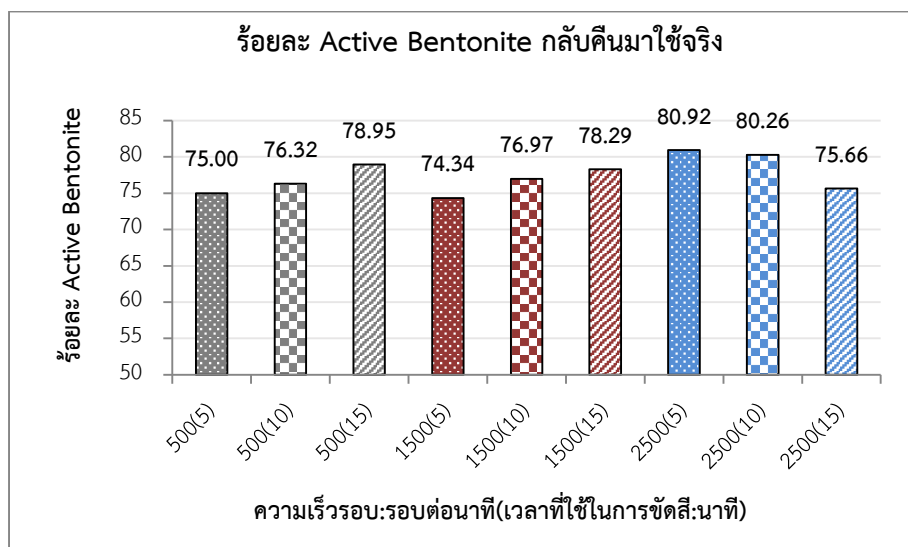
ภาพที่ 4.48 การแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สภาวะดีที่สุดของตัวอย่าง B การทดลองที่ 3

ดังนั้นจะเห็นว่าตัวอย่าง A ใช้ความเร็วรอบในการปั่นเหวี่ยงที่สูงกว่าตัวอย่าง B เพราะว่เริ่มต้นตัวอย่าง A มีขนาดอนุภาคที่ (d_{50}) ใหญ่กว่าตัวอย่าง B ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้เป็นการขัดสีร่วมกับความร้อน จึงทำให้แอกทีฟเบนโทไนด์ร่วนและหลุดออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อ ส่งผลให้ฝุ่นทรายแบบหล่อของตัวอย่าง B มีขนาดเล็กกว่าตัวอย่าง A เท่ากับ 0.8 ไมครอน ดังภาพที่ 4.41 และภาพที่ 4.42

4.4.4 การนำกลับมาใช้ใหม่

การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recovery) ของฝุ่นทรายแบบหล่อหลังจากผ่านกระบวนการขัดสีแล้ว แอคทีฟเบนโทไนด์ที่แยกได้ผ่านตะแกรงลงมาจะถูกนำไปใช้ในการเป็นวัตถุดิบในการผลิตแบบหล่อทรายใหม่ต่อไปซึ่งวิธีคำนวณสามารถคำนวณได้ตามภาคผนวก ค

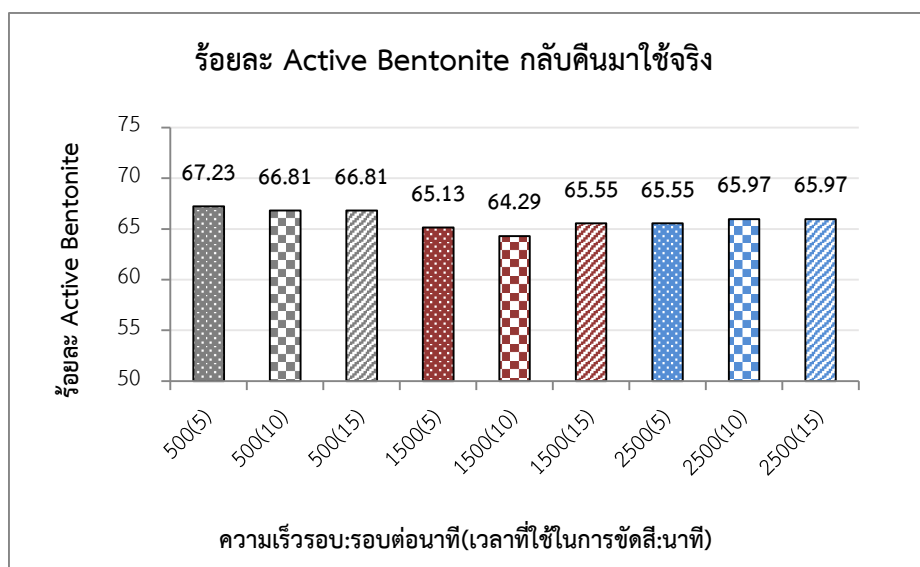
ตัวอย่าง A



ภาพที่ 4.49 ร้อยละแอคทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมาใช้จริงของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 3

ผลจากการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ ก และภาพที่ 4.49 พบว่าฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงลงมามีร้อยละของแอคทีฟเบนโทไนด์ในการนำกลับมาใช้ใหม่อยู่ในช่วง 74 – 80 ซึ่งได้ความเร็วรอบที่ดีที่สุดคือ ที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที เพราะขนาดอนุภาค (d_{50}) ตัวอย่าง A มีขนาดใหญ่กว่าตัวอย่าง B ร้อยละแอคทีฟเบนโทไนด์ของการนำกลับมาใช้ใหม่เท่ากับ 80.92 โดยสอดคล้องกับความบริสุทธิ์ที่ดีที่สุดของตัวอย่าง A ซึ่งเท่ากับร้อยละ 19.59 ซึ่งลดลงจากการทดลองที่ 2 เพราะการทดลองที่ 2 เกิดการแยกอนุภาคเดี่ยวของแอคทีฟเบนโทไนด์ได้จริง จะเห็นว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็กได้ถูกแยกไปแล้ว เมื่อทำการทดลองที่ 3 การขัดสีทำให้ฝุ่นทรายแบบหล่อมีขนาดเล็กกลังที่ไม่สามารถผ่านลงมาก็สามารถผ่านลงมาได้ และหลุดผ่านตะแกรงลงได้ง่ายขึ้นเกิดการไ้รุ้ชั้น (dilution) ความบริสุทธิ์จึงลดลง

ตัวอย่าง B



ภาพที่ 4.50 ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมาใช้จริงของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 3

ผลจากการทดลองแสดงดังภาคผนวกที่ ง และภาพที่ 4.50 พบว่าฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงลงมามีร้อยละของแอกทีฟเบนโทไนด์ในการนำกลับคืนมาใช้ใหม่อยู่ในช่วง 64 – 67 ซึ่งได้สภาวะการทดลองที่เหมาะสมที่สุดคือ ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที เวลา 5 นาที ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์ของการนำกลับคืนมาใช้ใหม่เท่ากับ 67.23 โดยสอดคล้องกับความบริสุทธิ์ที่ดีที่สุดของตัวอย่าง B ซึ่งเท่ากับร้อยละ 24.81

4.4.5 การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ

ตัวอย่าง A

จากผลการทดลองเชื่อว่าการขัดสีจะทำให้น้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์เพิ่มขึ้น จึงทดสอบสมมติฐานการวิจัยด้วยสถิติ t-test เพราะเป็นการทดสอบสมมติฐานชนิดหนึ่งที่นักวิจัยนิยมใช้การทดสอบ โดยวิธีการนี้ใช้ในกรณีข้อมูลมีจำนวนน้อย ($n < 30$) (อรุณี อ่อนสวัสดิ์, 2551) เป็นการทดสอบความเชื่อว่าการสัมพันธ์ระหว่าง การขัดสีกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์อยู่ในทิศทางเดียวกันหรือ ($\beta_1 < 0$) และจากข้อมูลที่ได้ ค่า $b = 0.013$ จึงทำการทดสอบข้างเดียว (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2557) ดังตารางที่ จ.3 ในภาคผนวก จ

$$H_0: \beta_1 \leq 0 \quad \text{หรือ} \quad H_1: \beta_1 > 0$$

สถิติทดสอบ $t = 24.177$ เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t > t_{1-\alpha, n-2}$

คือ $H_0 = t > t_{0.95;7}$ โดยที่ $t_{0.95;7} = 1.89$

ซึ่งค่า $t = 24.177$ ซึ่งมากกว่า 1.89 จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ฉะนั้น ค่า $\beta_1 > 0$

จากผลการทดสอบสมมติฐานค่า β_1 แบบข้างเดียวได้ค่า $\beta_1 > 0$ จึงนำไปทดสอบสมมติฐานค่า β_1 แบบสองข้าง เป็นการทดสอบความเชื่อ่ว่าความสัมพันธ์ระหว่าง การขัดสีกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ว่าค่า $\beta_1 = 0$ หรือค่า $\beta_1 \neq 0$ และจากข้อมูลที่ได้ ค่า $b = 0.013$ จึงทำการทดสอบแบบสองข้าง (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2557) ดังตารางที่ จ.3 ในภาคผนวก จ

$$H_0: \beta_1 = 0 \quad \text{หรือ} \quad H_1: \beta_1 \neq 0$$

สถิติทดสอบได้ค่า $t = 24.177$ ซึ่งทำให้ $\text{Sig } t = 0$ น้อยกว่า 0.05

จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ฉะนั้น ค่า $\beta_1 \neq 0$

ตัวอย่าง B

จากผลการทดลองเชื่อว่าการขัดสีจะทำให้ให้น้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์เพิ่มขึ้น จึงทดสอบสมมติฐานการวิจัยด้วยสถิติ t-test เพราะเป็นการทดสอบสมมติฐานชนิดหนึ่งทีนักวิจัยนิยมใช้การทดสอบ โดยวิธีการนี้ใช้ในกรณีข้อมูลมีจำนวนน้อย ($n < 30$) (อรุณี อ่อนสวัสดิ์, 2551) เป็นการทดสอบความเชื่อ่ว่าความสัมพันธ์ระหว่าง การขัดสีกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์อยู่ทิศทางเดียวกัน หรือ ($\beta_1 < 0$) และจากข้อมูลที่ได้ ค่า $b = 0.008$ จึงทำการทดสอบข้างเดียว (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2557) ดังตารางที่ จ.4 ในภาคผนวก จ

$$H_0: \beta_1 \leq 0 \quad \text{หรือ} \quad H_1: \beta_1 > 0$$

สถิติทดสอบ $t = 11.152$ เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t > t_{1-\alpha, n-2}$

คือ $H_0 = t > t_{0.95;7}$ โดยที่ $t_{0.95;7} = 1.89$

ซึ่งค่า $t = 11.152$ ซึ่งมากกว่า 1.89 จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ฉะนั้น ค่า $\beta_1 > 0$

จากผลการทดสอบสมมติฐานค่า β_1 แบบข้างเดียวได้ค่า $\beta_1 > 0$ จึงนำไปทดสอบสมมติฐานค่า β_1 แบบสองข้างเป็นการทดสอบความเชื่อ่ว่าความสัมพันธ์ระหว่างการขัดสีกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ว่าค่า $\beta_1 = 0$ หรือค่า $\beta_1 \neq 0$ และจากข้อมูลที่ได้ ค่า $b = 0.008$ จึงทำการทดสอบแบบสองข้าง (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2557) ดังตารางที่ จ.4 ในภาคผนวก จ

$$H_0: \beta_1 = 0 \quad \text{หรือ} \quad H_1: \beta_1 \neq 0$$

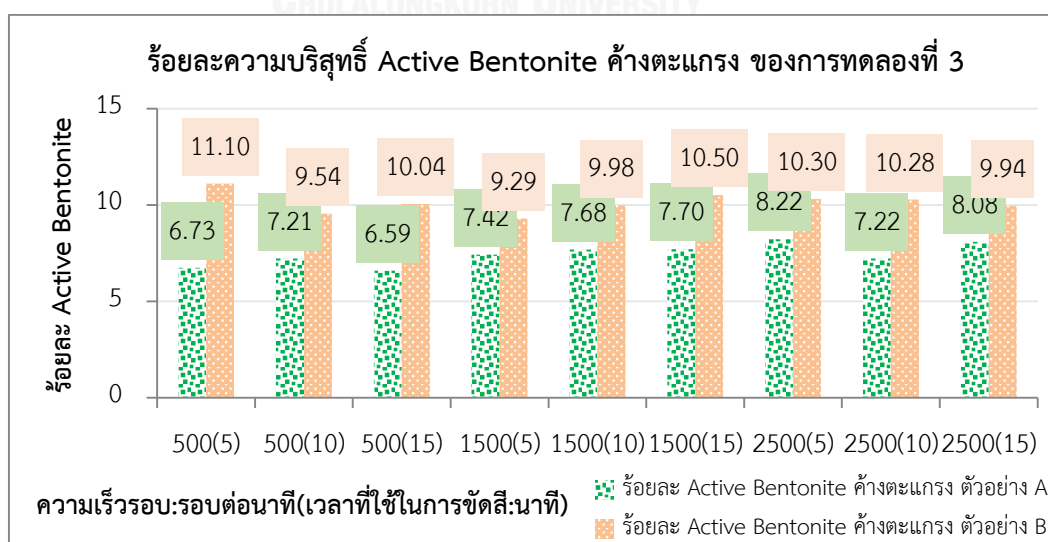
สถิติทดสอบได้ ค่า $t = 11.152$ ซึ่งทำให้ $\text{Sig } t = 0$ น้อยกว่า 0.05

จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ฉะนั้น ค่า $\beta_1 \neq 0$

จากการตรวจสอบสมมติฐานที่ว่าผลของการเพิ่มความเร็วรอบจะทำให้น้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์เพิ่มขึ้นในฝุ่นทรายที่ผ่านตะแกรง ได้ทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติโดยใช้ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของตัวอย่าง A และตัวอย่าง B พบว่ามีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ จ.3 - 4 ในภาคผนวก จ

4.4.6 ความสำคัญของฝุ่นทรายค้ำตะแกรง

ทั้งตัวอย่าง A และตัวอย่าง B เมื่อนำไปทดสอบปริมาณแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ค้ำตะแกรง พบว่ายังมี ร้อยละความบริสุทธิ์ค้ำของแอกทีฟเบนโทไนด์อยู่ ตามภาพที่ 4.51 จึงนำไปใช้พิจารณาในการทดลองที่ 4 ต่อไป ทั้งตัวอย่าง A และตัวอย่าง B



ภาพที่ 4.51 ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ค้ำตะแกรงของการทดลองที่ 3

จากภาพที่ 4.51 เมื่อทำการทดสอบร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์บริเวณที่ค้ำตะแกรงของตัวอย่าง A และตัวอย่าง B พบว่าตัวอย่าง A มีร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์เหลืออยู่ 6 – 8 จากเริ่มต้นร้อยละ 9 แสดงให้เห็นว่าเกิดการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อน้อยมาก ส่วนตัวอย่าง B มีร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์เหลืออยู่ 9 – 11 จากเริ่มต้นร้อยละ 14 – 16 แสดงให้เห็นว่าเกิดการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์และหลุดผ่านตะแกรงลงมา มากกว่าจากความบริสุทธิ์แอกทีฟเบนโทไนด์ค้ำตะแกรงที่ลดลงจากเริ่มต้นอย่างชัดเจน เพื่อเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อจึงนำไปสู่การทดลองที่ 4 ต่อไป

4.4.7 ข้อสังเกตของการทดลองที่ 3 การขัดสีและความร้อน

จุดเด่นของจากการทดลองที่ 3 พบว่าการขัดสีทำให้อนุภาคฝุ่นทรายมีขนาดเล็กลงแล้วร่วงผ่านตะแกรงลงมาทั้งตัวอย่าง A และตัวอย่าง B ซึ่งทำให้แอกทีฟเบนโทไนด์ร่วงผ่านตะแกรงลงมาด้วย จากตารางที่ 4.5 แสดงร้อยละของน้ำหนักฝุ่นทรายผ่านและค้ำตะแกรง โดยที่ร้อยละของน้ำหนักฝุ่นทรายผ่านตะแกรงเป็นน้ำหนักการนำกลับคืนมาใช้ใหม่ของตัวอย่าง A และตัวอย่าง B โดยคิดจากร้อยละของน้ำหนักผ่านตะแกรงที่แยกได้ (นำกลับไปใช้ใหม่ได้) พบว่าตัวอย่าง A มีร้อยละของน้ำหนักผ่านตะแกรงที่แยกได้อยู่ในช่วง 38 – 40 ส่วนตัวอย่าง B มีร้อยละของน้ำหนักผ่านตะแกรงที่แยกได้ (นำกลับไปใช้ใหม่ได้) อยู่ในช่วงร้อยละ 40 – 42 ซึ่งบอกได้ว่าร้อยละน้ำหนักผ่านตะแกรงของ 2 ตัวอย่าง มีค่าใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าอนุภาคฝุ่นทรายมีขนาดใกล้เคียงกันเมื่อผ่านการขัดสี

ตารางที่ 4.5 แสดงร้อยละน้ำหนักฝุ่นทรายผ่านและค้ำตะแกรงของตัวอย่าง A และ B

ตัวอย่าง	ร้อยละน้ำหนักผ่านตะแกรง	ร้อยละน้ำหนักค้ำตะแกรง
A	38 – 40	60 – 62
B	40 – 42	58 – 60

และเพื่อยืนยันว่าส่วนที่ผ่านลงมาก็คือ แอกทีฟเบนโทไนด์ โดยที่จากเริ่มต้นของตัวอย่าง A มีร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์อยู่ในช่วง 9.62 – 9.98 จากภาพที่ 4.33 หลังจากผ่านการขัดสี พบว่ามีร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์อยู่ในช่วง 17.8 – 19.0 เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นคิดเป็นร้อยละ 7 – 10 ดังตารางที่ 4.6 และจากเริ่มต้นของตัวอย่าง B มีร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์อยู่ในช่วง 14.58 – 16.95 จากภาพที่ 4.33 หลังจากผ่านการขัดสี พบว่ามีร้อยละความ

บริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์อยู่ในช่วง 23.2 – 24.8 เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นคิดเป็นร้อยละ 6 – 10 และเมื่อมาพิจารณาถึงน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงดังตารางที่ 4.6 ของตัวอย่าง A ที่ทุกสภาวะการทดลองอยู่ในช่วง 1.13 – 1.23 กรัม จากน้ำหนักเริ่มต้น 1.52 กรัม ซึ่งคิดเป็นร้อยละของการนำกลับคืนมาอยู่ในช่วง 74 – 80 และน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงของตัวอย่าง B ทุกสภาวะการทดลองอยู่ในช่วง 1.53 – 1.60 กรัม จากน้ำหนักเริ่มต้น 2.38 กรัม คิดเป็นร้อยละของการนำกลับคืนมาในช่วง 64 – 67

ตารางที่ 4.6 ความบริสุทธิ์ น้ำหนัก และการนำกลับคืนมาของแอกทีฟเบนโทไนด์ จากการทดลองที่ 2

ตัวอย่าง	ร้อยละความบริสุทธิ์ผ่านตะแกรง	ร้อยละความบริสุทธิ์ที่เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้น	น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรง	ร้อยละการนำกลับคืนมา
A	17.8 – 19.0	7 – 10	1.13 – 1.23	74 – 80
B	23.2 – 24.8	6 - 10	1.53 – 1.60	64 - 67

เมื่อเปรียบเทียบการทดลองการให้ความร้อนเพียงอย่างเดียวกับการให้ความร้อนร่วมกับการขัดสี โดยพิจารณาจากร้อยละความบริสุทธิ์ร่วมกับร้อยละการนำกลับคืนมาของแอกทีฟเบนโทไนด์ พบว่าความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ลดลงร้อยละ 2 – 3 ทั้งตัวอย่าง A และ B ซึ่งตัวอย่าง B ได้ตามความบริสุทธิ์ที่ต้องการ (มากกว่าร้อยละ 20) ตัวอย่าง A ไม่ได้ตามความบริสุทธิ์ที่ต้องการ แต่การนำกลับคืนมาของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A เพิ่มขึ้นอีกถึงร้อยละ 5.26 และตัวอย่าง B เพิ่มขึ้นอีกถึงร้อยละ 25.71 แสดงให้เห็นว่าการขัดสีร่วมกับความร้อนช่วยให้สามารถแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ได้ดีมากขึ้นกว่าการให้ความร้อนเพียงอย่างเดียว ดังตารางที่ 4.7

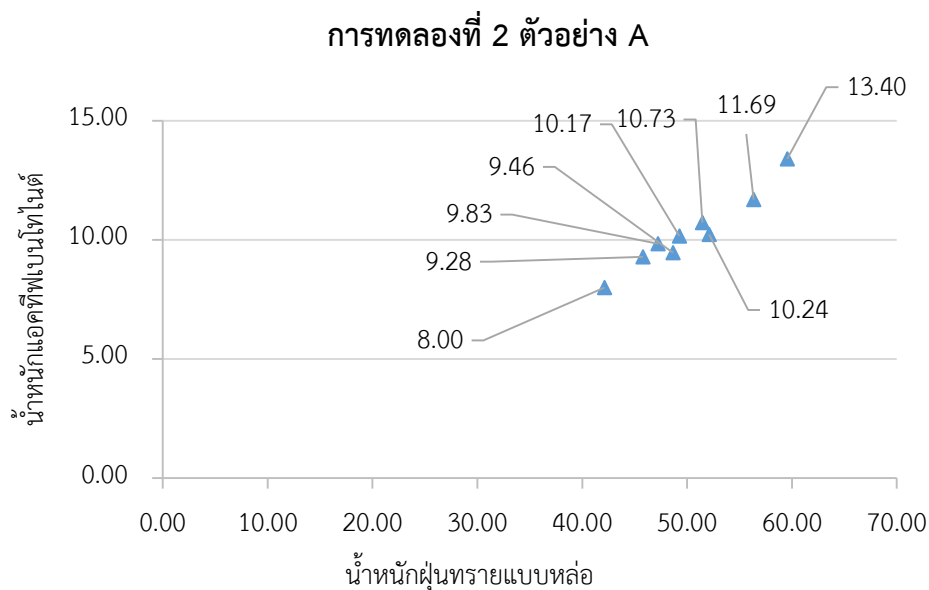
ตารางที่ 4.7 ร้อยละการนำกลับคืนมาและร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์จากสภาวะการทดลองที่ดีที่สุดของการทดลองที่ 2 และ 3

ตัวอย่าง	การทดลองที่ 2		การทดลองที่ 3	
	ร้อยละการนำกลับคืนมา	ร้อยละความบริสุทธิ์	ร้อยละการนำกลับคืนมา	ร้อยละความบริสุทธิ์
A	75.66	22.51	80.92	19.59
B	41.52	26.34	67.23	24.81

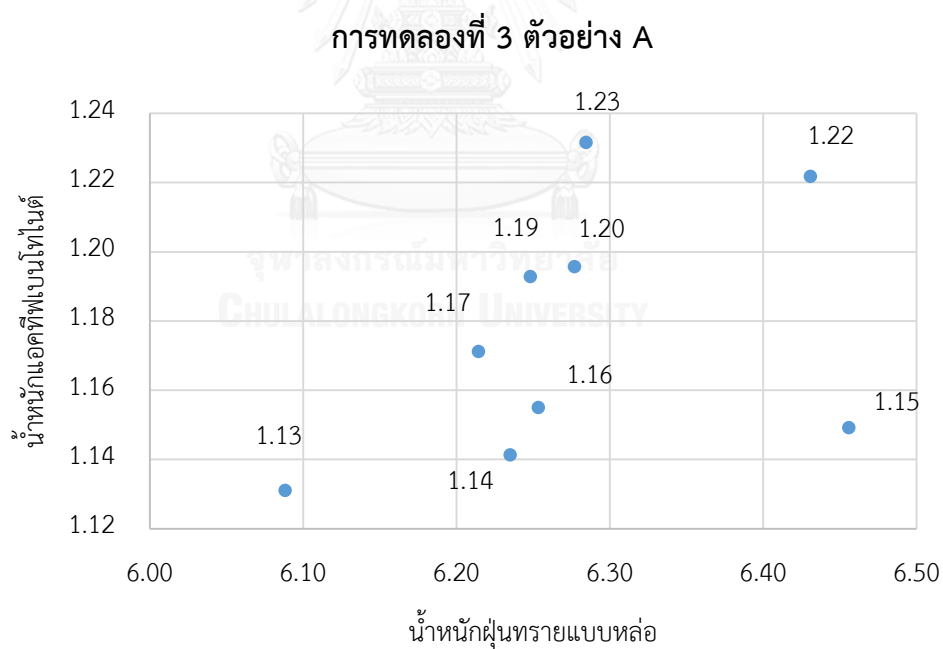
4.4.8 การวิเคราะห์การทดลองที่ดีที่สุดของการแยกแอคทีฟเบนโทไนด์จากตัวอย่าง A และ B ตัวอย่าง A

เมื่อพิจารณาร้อยละความบริสุทธิ์แอคทีฟเบนโทไนด์จากภาพที่ 4.21 ของการทดลองที่ 2 การให้ความร้อน ที่สภาวะต่างๆ มีค่าที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงร้อยละ 19 - 20 แต่ที่สภาวะการให้อุณหภูมิที่ 120 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที พบว่าได้รับร้อยละความบริสุทธิ์แอคทีฟเบนโทไนด์มากที่สุดเท่ากับ 22.51 และจากภาพที่ 4.52 ช่วงแรกกราฟมีแนวโน้มเกาะกลุ่มกัน แต่ช่วงหลังพบว่ามีความโตดของน้ำหนักแอคทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงมากที่สุดเท่ากับ 13.40 กรัมของน้ำหนักผ่านตะแกรง 59.55 กรัม จะเห็นว่าเมื่อให้เวลานานขึ้นจาก 60 นาทีเป็น 90 นาที ทำให้ได้รับร้อยละความบริสุทธิ์แอคทีฟเบนโทไนด์ที่มากที่สุด แสดงให้เห็นว่าน่าจะมีการแยกแอคทีฟเบนโทไนด์ที่เป็นอนุภาคเดี่ยวออกมาได้ในสภาวะสุดท้ายนี้

เมื่อพิจารณาร้อยละความบริสุทธิ์แอคทีฟเบนโทไนด์จากภาพที่ 4.43 ของการทดลองที่ 3 การให้ความร้อนร่วมกับการขัดสี มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 17 - 19 โดยสภาวะการทดลองที่มีค่ามากที่สุดของร้อยละความบริสุทธิ์แอคทีฟเบนโทไนด์ที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที เวลา 5 นาที เท่ากับ 19.59 ซึ่งให้ค่าความบริสุทธิ์แอคทีฟเบนโทไนด์น้อยกว่าที่ต้องการ (ต้องการมากกว่าร้อยละ 20) จากภาพที่ 4.53 กราฟไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน แต่เมื่อคือน้ำหนักแอคทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงมากที่สุดเท่ากับ 1.23 กรัมของฝุ่นทรายที่มีขนาดเล็กผ่านตะแกรงลงมาเท่ากับ 6.28 กรัม ดังนั้นเมื่อพิจารณาความบริสุทธิ์แอคทีฟเบนโทไนด์ที่แยกได้จากตัวอย่าง A พบว่าการให้ความร้อนได้ผลดีกว่าการให้ความร้อนร่วมกับการขัดสี และเมื่อพิจารณาในเชิงการทดลองและเชิงประยุกต์ใช้งานจริงก็พบว่าการให้ความร้อนดีที่สุดสำหรับตัวอย่าง A เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อนและประหยัดค่าใช้จ่ายภายในโรงงานเพราะภายในโรงงานมีพลังงานความร้อนที่สูญเสียอยู่ที่ 50 - 350 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ร้อยละการนำกลับคืนแอคทีฟเบนโทไนด์ของการทดลองที่ 3 เพิ่มแค่ร้อยละ 5.26 จากการทดลองที่ 2 ตามตารางที่ 4.7 แสดงร้อยละการนำกลับคืนมาของแอคทีฟเบนโทไนด์ของสภาวะที่ดีที่สุดของการทดลองที่ 2 และ 3



ภาพที่ 4.52 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักรายแบบหล่อและแอกทีฟเบนโทไนต์ของตัวอย่าง A การทดลองที่ 2



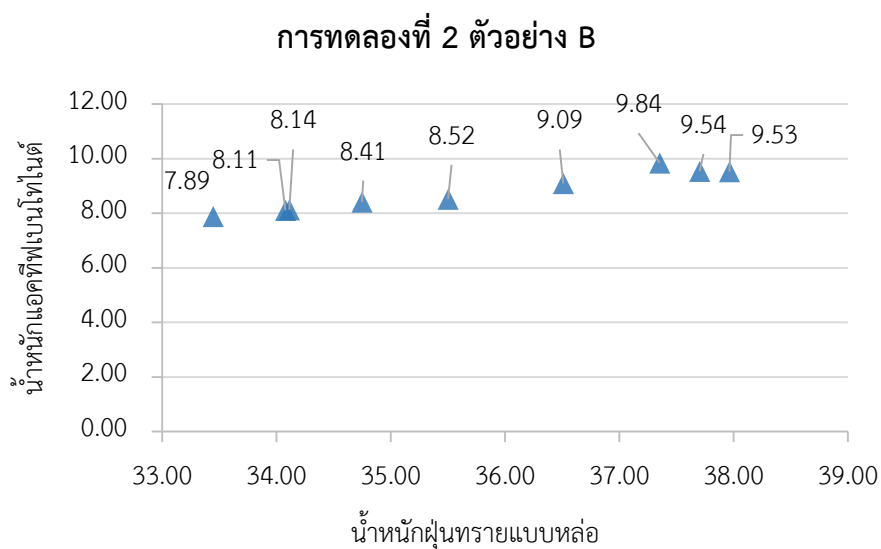
ภาพที่ 4.53 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักรายแบบหล่อและแอกทีฟเบนโทไนต์ของตัวอย่าง A การทดลองที่ 3

ตัวอย่าง B

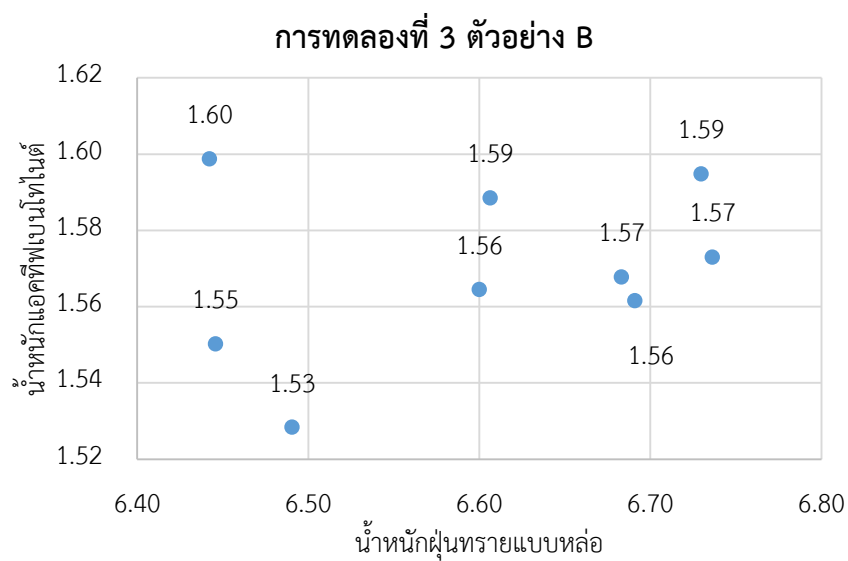
จากการวิเคราะห์ความชื้นของตัวอย่าง A และ B พบว่าในตัวอย่าง B มีความชื้นมากกว่าตัวอย่าง A เท่ากับร้อยละ 8.8 โดยที่ตัวอย่าง B มีความชื้นร้อยละ 9.9 และตัวอย่าง A มีความชื้นร้อยละ 1.1 การที่ตัวอย่าง B มีความชื้นมากสอดคล้องกับปริมาณร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์ที่มากกว่าตัวอย่าง A (Randelović และคณะ, 2014)

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์จากการทดลองที่ 2 เริ่มต้นของตัวอย่าง B มากกว่าตัวอย่าง A ถึง 6 กรัม โดยที่ A เท่ากับ 17.71 กรัม B เท่ากับ 23.7 กรัม เมื่อใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว พบว่าปริมาณน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงลงมามากที่สุดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาทีเท่ากับ 9.84 กรัม แต่ก็มีปริมาณน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ใกล้เคียงกันกับสถานะอื่นๆ ดังภาพที่ 4.54 กราฟมีแนวโน้มเกาะกลุ่มกันไม่มีค่าโดดของกราฟ แสดงว่าไม่มีการแยกอนุภาคเดี่ยวของแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหลอ และปริมาณน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง B น้อยกว่าน้ำหนักรวมของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A โดยที่ตัวอย่าง A มีค่าเท่ากับ 13.40 กรัม แสดงว่าความร้อนอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะทำให้อนุภาคเดี่ยวของแอกทีฟเบนโทไนด์แยกตัวและร่วงผ่านตะแกรงลงมาด้วย ถึงแม้ว่าการทดลองที่ 2 จะมีร้อยละความบริสุทธิ์แอกทีฟเบนโทไนด์มากกว่าการทดลองที่ 3 โดยที่การทดลองที่ 2 มีค่าที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงร้อยละ 23 – 26 และค่าร้อยละความบริสุทธิ์แอกทีฟเบนโทไนด์สูงสุดที่ร้อยละ 26.34 ส่วนการทดลองที่ 3 มีค่าที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงร้อยละ 23 - 24 และมีร้อยละความบริสุทธิ์แอกทีฟเบนโทไนด์สูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 24.81 ตามที่ต้องการ (มากกว่าร้อยละ 20) และเมื่อพิจารณาร่วมกับภาพที่ 4.55 ถึงแม้ว่ากราฟจะไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาค่าน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์สูงสุด 1.6 กรัมเมื่อเทียบกับน้ำหนักรวมที่ผ่านตะแกรงลงมาปริมาณน้อยเท่ากับ 6.28 กรัม ซึ่งถือว่าการให้ความร้อนร่วมกับความขัดสีมีผลต่อตัวอย่าง B ทำให้แยกแอกทีฟเบนโทไนด์ได้ปริมาณมากที่สุดพร้อมกับฝุ่นทรายที่ผ่านตะแกรงลงมาจำนวนน้อย จึงพบว่าตัวอย่าง B เหมาะสมกับการทดลองที่ 3 การให้ความร้อนร่วมกับการขัดสี

ดังนั้นเมื่อพิจารณาในเชิงการทดลองพบว่าตัวอย่าง B เหมาะสมที่สุดที่การให้ความร้อนร่วมกับการขัดสีต่อการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหลอ แต่ถ้าพิจารณาในเชิงการประยุกต์ใช้งานจริง การขัดสีปริมาณของเสียฝุ่นทรายแบบหลอจำนวน 33 ตันต่อวัน เป็นสิ่งที่ไม่น่าจะเป็นไปได้ จึงจำเป็นต้องใช้การให้ความร้อนเพียงอย่างเดียวในการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทราย จึงจะเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้จริงในโรงงาน หรืออาจจะนำน้ำหนักรวมที่ผ่านตะแกรงของการให้ความร้อนที่ดีที่สุดเป็น pretreatment เพื่อนำไปแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ด้วยกระบวนการอื่นต่อไป



ภาพที่ 4.54 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักรายแบบหล่อและแอกทีฟเบนโทไนต์ของตัวอย่าง B การทดลองที่ 2

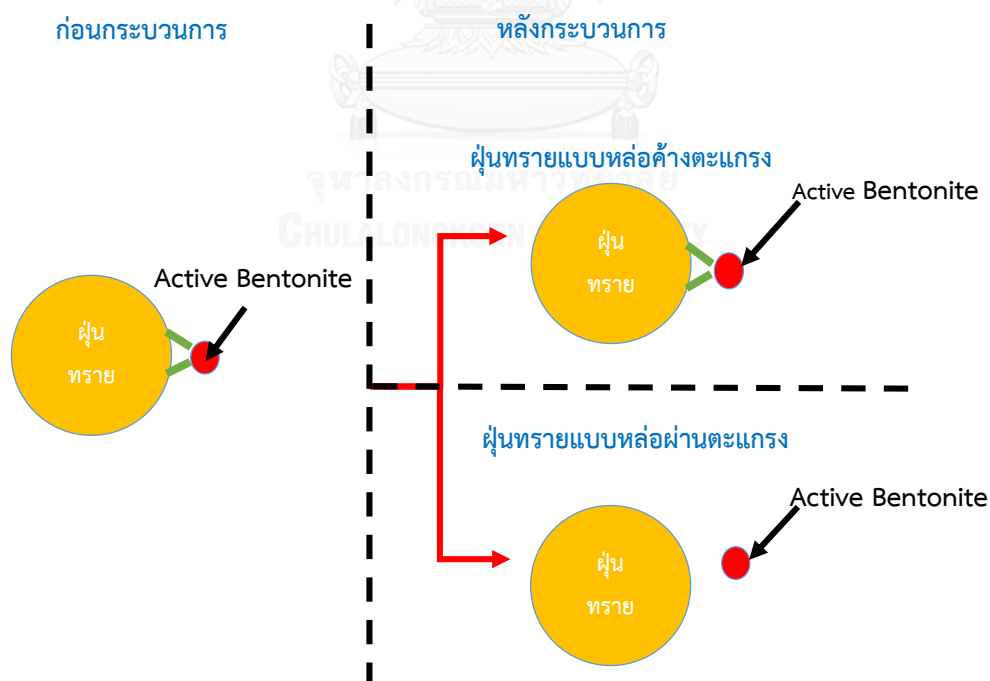


ภาพที่ 4.55 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักรายแบบหล่อและแอกทีฟเบนโทไนต์ของตัวอย่าง B การทดลองที่ 3

4.5 การทดลองที่ 4 การเปลี่ยนขนาดตะแกรง

การเปลี่ยนขนาดตะแกรงมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทิฟเบนโทไนต์จากฝุ่นทรายแบบหล่อได้ดีขึ้น โดยเริ่มการทดลองที่ 2 และใช้ความร้อนและเวลาที่เหมาะสมที่สุดของตัวอย่าง A คือที่ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลาในการอบ 90 นาที ส่วนตัวอย่าง B สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือที่ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลาการอบ 30 นาที จากนั้นจะนำฝุ่นทรายแบบหล่อที่ค้างบนตะแกรงจากการทดลองที่ 2 มาทำการทดลองที่ 3 โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของตัวอย่าง A ที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที และเวลาในการขัดสี 5 นาที ส่วนตัวอย่าง B สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที เวลาในการขัดสี 5 นาที

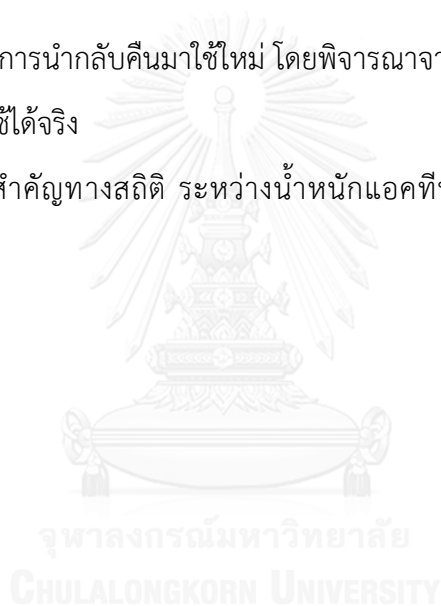
จากนั้นฝุ่นทรายแบบหล่อที่ค้างตะแกรงของการทดลองที่ 3 จะนำมาใช้ในการทดลองที่ 4 ที่มีการเปลี่ยนขนาดตะแกรงให้เล็กลง ทั้งนี้การเปลี่ยนขนาดตะแกรงที่มีขนาดรูเปิดเล็กลง จะทำให้สิ่งทีผ่านตะแกรงมีขนาดเล็กมาก ซึ่งคาดหวังว่าจะเป็นแอกทิฟเบนโทไนต์ขนาดเล็กเท่านั้น ทั้งนี้สมมติฐานข้างต้นสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.56



ภาพที่ 4.56 แนวคิดสมมติฐานของการทดลองเปลี่ยนขนาดตะแกรง

ทั้งนี้ลำดับการนำเสนอและวิเคราะห์ผลการทดลองนี้จะเป็นดังนี้

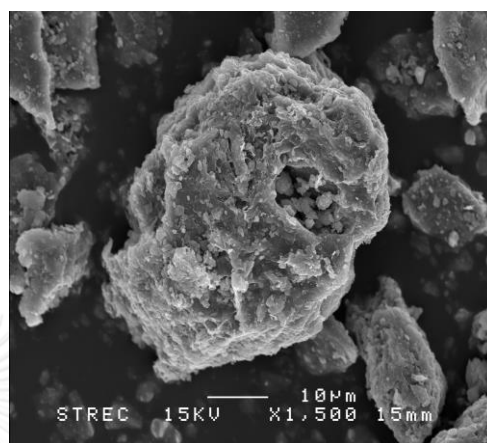
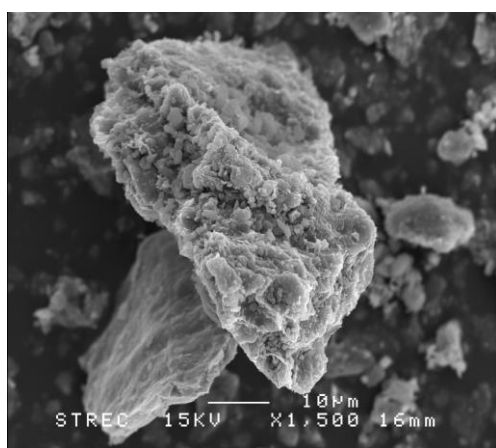
1. การเกาะของแอคทีฟเบนโทไนด์บนฝุ่นทรายแบบหล่อในแต่ละสภาวะการทดลอง จากภาพถ่ายจากกล้องส่องกราด
2. ร้อยละฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงและค้างตะแกรง เพื่อศึกษาสัดส่วนฝุ่นทรายแบบหล่อที่ค้างตะแกรงและผ่านตะแกรง
3. อัตราเร็วในการไหลของฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง
4. ค่าสภาวะการทดลองที่ดีที่สุด จากร้อยละความบริสุทธิ์และน้ำหนักของแอคทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรง
5. ความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยพิจารณาจากน้ำหนักแอคทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงที่นำไปใช้ได้จริง
6. การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างน้ำหนักแอคทีฟเบนโทไนด์กับการเปลี่ยนขนาดตะแกรง



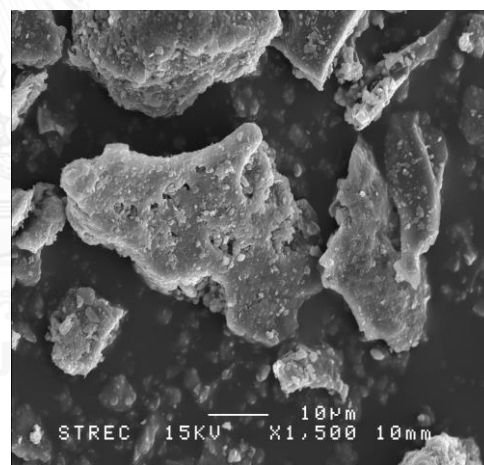
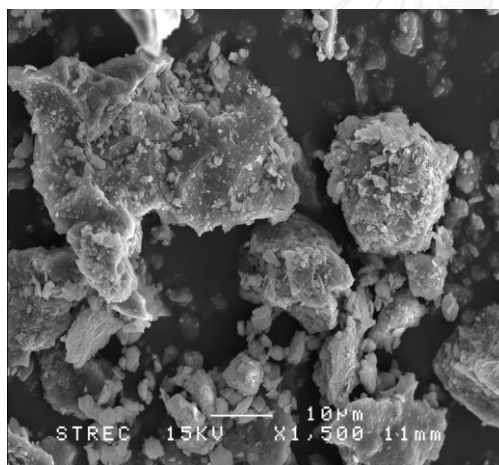
4.5.1 ตัวอย่าง A

4.5.1.1 ลักษณะทางกายภาพ

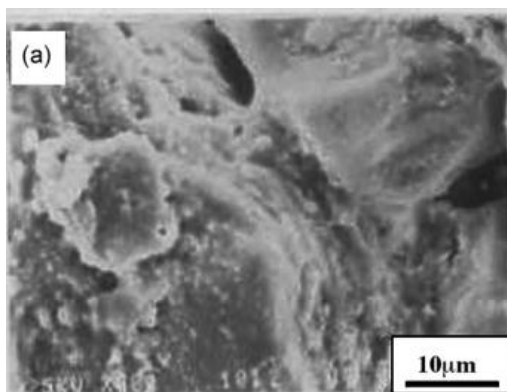
ภาพถ่ายกล้องส่องกราด Scanning Electron Microscope : SEM



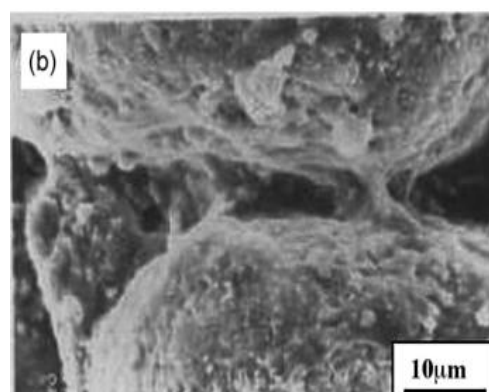
ภาพที่ 4.57 ตัวอย่าง A กำลังขยาย 1,500 เท่า (เริ่มต้น) ภาพที่ 4.58 ตัวอย่าง A กำลังขยาย 1,500 เท่า (หลังผ่านการทดลองที่ 2)



ภาพที่ 4.59 ตัวอย่าง A กำลังขยาย 1,500 เท่า (หลังผ่านการทดลองที่ 3) ภาพที่ 4.60 ตัวอย่าง A กำลังขยาย 1,500 เท่า (หลังผ่านการทดลองที่ 4)



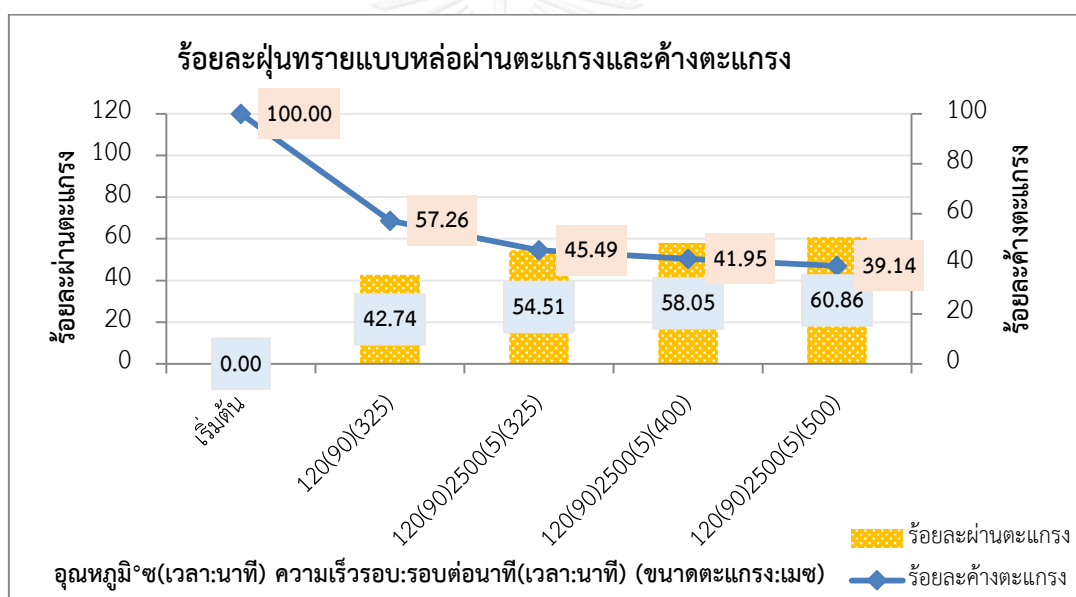
ภาพที่ 4.61 ทราบแบบหล่อหลังอุณหภูมิ 1,000°C เวลา 1 นาที
(Zhou และคณะ, 2009)



ภาพที่ 4.62 ทราบแบบหล่อผ่านอุณหภูมิ 1,000°C เวลา 2 นาที
(Zhou และคณะ, 2009)

จากภาพที่ 4.57 เริ่มต้นพบว่าที่กำลังขยาย 1,500 เท่า อนุภาคฝุ่นทรายแบบหล่อมีขนาดอนุภาคเท่ากับ 16 ไมครอน มีแอกทิฟเบนโทไนด์เกาะเคลือบผิวของฝุ่นทรายแบบหล่อ เมื่อผ่านการทดลองที่ 2 จากภาพที่ 4.58 พบว่าปริมาณแอกทิฟเบนโทไนด์ที่เกาะเคลือบผิวฝุ่นทรายแบบหล่อบางลงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Zhou และคณะ, 2009) มีขนาดของอนุภาคเท่ากับ 15 ไมครอน และจากภาพที่ 4.59 เมื่อผ่านการทดลองที่ 3 ขนาดอนุภาคมีขนาดเล็กลงเท่ากับ 11 ไมครอน ลักษณะฝุ่นทรายแบบหล่อมีการแตกหักเป็นอนุภาคเล็กๆเหมือนกับอนุภาคฝุ่นทรายแบบหล่อเมื่อผ่านการทดลองที่ 4 จากภาพที่ 4.60 มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 10 ไมครอน ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกัน ปริมาณแอกทิฟเบนโทไนด์เกาะที่ผิวของฝุ่นทรายแบบหล่อในรูปแบบเป็นหย่อมๆ

4.5.1.2 ร้อยละน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรง



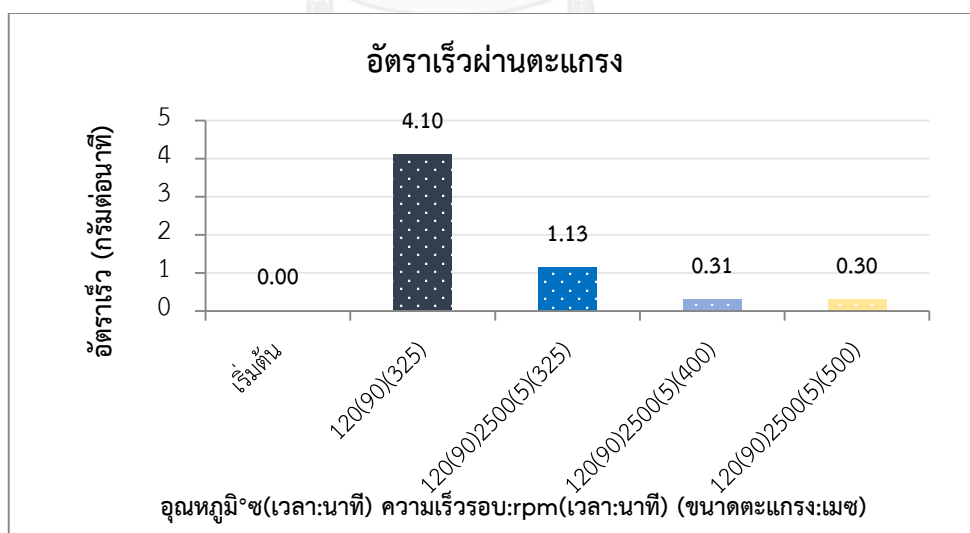
ภาพที่ 4.63 ร้อยละฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรงตัวอย่าง A การทดลองที่ 4

จากผลการทดลองการเปลี่ยนขนาดตะแกรงเพื่อเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทิฟเบนโทไนด์ที่ร่วงผ่านตะแกรงลงมาของตัวอย่าง A ดังภาคผนวกที่ ง และภาพที่ 4.61 โดยทำการทดลองอย่างต่อเนื่องเริ่มต้นตัวอย่างฝุ่นทรายแบบหล่อ 144 กรัม พบว่าสภาวะการทดลองที่ทำตามการทดลองที่ 2 (การทดลองที่ 4.1) ได้ร้อยละฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงเท่ากับ 42.74 เหลือค้ำตะแกรงร้อยละ 57.26 เมื่อนำไปขัดสีทำเหมือนการทดลองที่ 3 (การทดลองที่ 4.2) ได้ร้อยละฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงเท่ากับ 54.51 เหลือค้ำตะแกรงร้อยละ 45.49 จะเห็นได้ว่าการทำซ้ำการทดลองที่ 2 และ 3

ได้สัดส่วนน้ำหนักผ่านและค้ำตะแกรงที่ต่างกัน แสดงว่าการให้ความร้อนร่วมกับการขัดสีมีผลให้ขนาดอนุภาคเล็กลงและร่วงผ่านตะแกรงลงมาได้มากกว่าการให้ความร้อนเพียงอย่างเดียว การให้ความร้อนร่วมกับการขัดสีสามารถนำฝุ่นทรายแบบหล่อกลับคืนมาได้ร้อยละ 20.56 โดยการให้ความร้อนสามารถนำกลับคืนมาได้ร้อยละ 42.74 ดังนั้นการให้ความร้อนสามารถลดปริมาณของเสียที่นำไปกำจัดได้มากกว่าการใช้ความร้อนร่วมกับการขัดสี

จากนั้นทำเหมือนการทดลองที่ 3 แต่เปลี่ยนขนาดตะแกรงเป็น 400 เมช (การทดลองที่ 4.3) ได้ร้อยละฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงเท่ากับ 58.05 เหลือค้ำตะแกรงร้อยละ 41.95 สูดทำเหมือนการทดลองที่ 3 แต่เปลี่ยนขนาดตะแกรงเป็น 500 เมช (การทดลองที่ 4.4) ได้ร้อยละฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงเท่ากับ 60.86 เหลือค้ำตะแกรงร้อยละ 39.14 จะเห็นว่าการใช้ขนาดตะแกรง 400 เมช และ 500 เมช สัดส่วนน้ำหนักค้ำตะแกรงและผ่านตะแกรงต่างกันร้อยละ 2 สัดส่วนไม่ต่างกัน ปริมาณฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงของตะแกรงรูเปิดขนาดเล็กน้อยกว่าปริมาณฝุ่นทรายแบบหล่อของตะแกรงรูเปิดขนาดใหญ่ จึงไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนขนาดตะแกรงให้เล็กลง โดยเลือกใช้ตะแกรงรูเปิดขนาดใหญ่ในการแยก

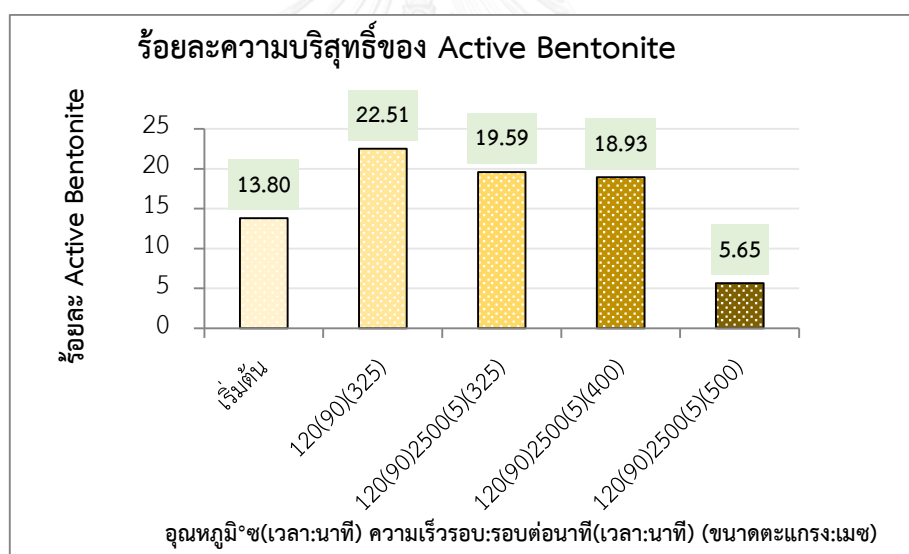
4.5.1.3 อัตราเร็วฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง



ภาพที่ 4.64 อัตราเร็วที่ผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 4

ผลจากการทดลองแสดงดังภาคผนวกที่ ๓ และภาพที่ 4.62 โดยพบว่าอัตราเร็วผ่านตะแกรงมีค่าลดลงตามน้ำหนักที่ร่ว่งผ่านตะแกรง โดยพบว่าที่การทดลองการให้ความร้อนมีอัตราเร็วสูงสุดที่ 4.10 กรัมต่อนาที และการขัดสีร่วมกับความร้อน (การทดลองที่ 4.2) มีอัตราเร็วผ่านตะแกรงลดลง 3 เท่ามีค่าเท่ากับ 1.13 กรัมต่อนาที แต่มีอัตราเร็วผ่านตะแกรงมากกว่าอัตราเร็วผ่านตะแกรงขนาดตะแกรง 400 และ 500 เมช โดยที่อัตราเร็วผ่านตะแกรงของขนาดตะแกรง 400 และ 500 เมชคงที่เท่ากับ 0.31 และ 0.30 กรัมต่อนาที ตามลำดับ เพราะว่ารูเปิดตะแกรงของ 325 เมชมีขนาดใหญ่ถึง 45 ไมครอน ในขณะที่ขนาดตะแกรง 400 และ 500 เมช มีขนาดรูเปิดตะแกรง 38 และ 25 ไมครอน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าที่ขนาดตะแกรงรูเปิดขนาดใหญ่อุดตันน้อยกว่ารูเปิดขนาดเล็ก ประกอบกับเมื่อผ่านการขัดสีอนุภาคฝุ่นทรายแบบหล่อ (d_{50}) จะมีขนาดเล็กลงทำให้อุดตันได้ง่าย

4.5.1.4 ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนต์



ภาพที่ 4.65 ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนต์ของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 4

จากการทดลองการเปลี่ยนขนาดตะแกรงเพื่อเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนต์ที่ร่ว่งผ่านตะแกรงลงไปของตัวอย่าง A ดังภาคผนวกที่ ๓ และภาพที่ 4.63 พบว่าส่วนที่ผ่านตะแกรงลงมาของขนาดตะแกรง 400 และ 500 เมช ร้อยละของแอกทีฟเบนโทไนต์ได้เท่ากับ 18.93, 5.65 ตามลำดับ พบว่าที่ขนาดตะแกรง 400 เมช ได้ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนต์ของตัวอย่าง A มากกว่าขนาดตะแกรง 500 เมช เพราะตะแกรงขนาด 400 เมชมีขนาดเล็กจึงได้คัดกรองแต่แอกทีฟเบนโท

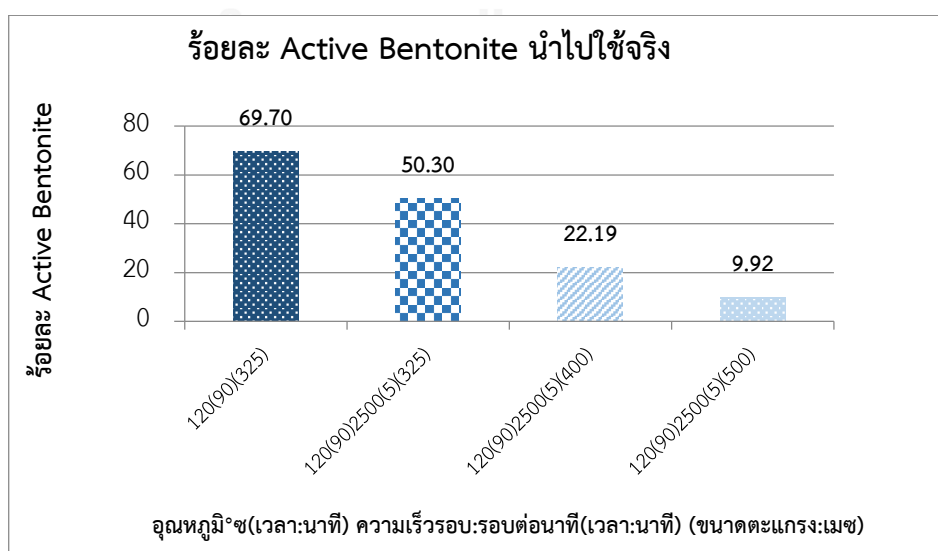
ไนต์จนใกล้จะหมดซึ่งส่งผลกระทบต่อให้ที่เบอร์ตะแกรง 500 เมช ไม่สามารถเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนต์ได้กลับยิ่งทำให้ลดลง

การให้ความร้อน (การทดลองที่ 4.1) สามารถแยกอนุภาคเดี่ยวของแอกทีฟเบนโทไนต์จากฝุ่นทรายแบบห่อได้แล้ว การให้ความร้อนร่วมกับการขัดสี (การทดลองที่ 4.2) ทำให้ฝุ่นทรายแบบห่อที่มีขนาดเล็กที่ไม่สามารถผ่านลงมาก็สามารถผ่านลงมาได้ และหลุดผ่านตะแกรงลงได้ง่ายขึ้นเกิดการไ้รูชั้น (dilution) ร้อยละความบริสุทธิ์แอกทีฟเบนโทไนต์ลดลง การแยกอนุภาคแอกทีฟเบนโทไนต์ที่มีขนาดเล็กออกจากอนุภาคที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกันจึงยากกว่าการแยกในการทดลองที่ 4.1

แต่เมื่อพิจารณาร้อยละความบริสุทธิ์ร่วมกับปริมาณฝุ่นทรายแบบห่อที่ผ่านตะแกรง พบว่าการทดลองที่ 4.1 ได้ร้อยละความบริสุทธิ์และปริมาณฝุ่นทรายแบบห่อที่ผ่านตะแกรงมากที่สุด จึงเลือกที่จะใช้สภาวะที่ดีที่สุดคือ การทดลองที่ 4.1 ในการแยกแอกทีฟเบนโทไนต์จากฝุ่นทรายแบบห่อ เนื่องจากทั้งร้อยละความบริสุทธิ์ตรงตามที่ต้องการและได้ปริมาณการนำกลับคืนมาด้วย

4.5.1.5 การนำกลับคืนมา

การนำกลับคืนมาใช้ใหม่ (Recovery) ของฝุ่นทรายแบบห่อหลังจากผ่านสภาวะที่ดีที่สุดของแต่ละกระบวนการแล้วแอกทีฟเบนโทไนต์ที่แยกได้ผ่านตะแกรงลงมาจะถูกนำไปใช้ในการเป็นวัตถุดิบในการผลิตแบบห่อทรายใหม่ต่อไป



ภาพที่ 4.66 ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนต์นำไปใช้จริงของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 4

ผลจากการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ ง และภาพที่ 4.64 ซึ่งได้สภาวะการทดลองที่ดีที่สุดคือ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที เท่ากับร้อยละ 69.70 ของการนำกลับคืนมาใช้ใหม่ ซึ่งค่าที่ได้รับสอดคล้องกับร้อยละความบริสุทธิ์ที่เหมาะสมต่อการนำแอกทีฟเบนโทไนด์ไปใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตแบบหล่อทรายใหม่ต่อไป

4.5.1.6 การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ

พิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์กับการเปลี่ยนขนาดตะแกรง ว่ามีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2557) สอดคล้องกับผลการทดลองที่ 4 ว่าขนาดตะแกรงที่มีเบอร์ขนาดตะแกรงเพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ได้ลดลง จึงทดสอบสมมติฐานการวิจัยด้วยสถิติ t-test เพราะเป็นการทดสอบสมมติฐานชนิดหนึ่งที่นักวิจัยนิยมใช้การทดสอบ โดยวิธีการนี้ใช้ในกรณีข้อมูลมีจำนวนน้อย ($n < 30$) (อรุณี อ่อนสวัสดิ์, 2551) ทดสอบแบบสองข้าง สมมติฐานค่า β_1 เป็นการทดสอบความเชื่อว่าการเปลี่ยนขนาดตะแกรงกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ว่าค่า $\beta_1 = 0$ หรือค่า $\beta_1 \neq 0$ และจากข้อมูลที่ได้ค่า $b = 0.141$

$$H_0: \beta_1 = 0 \quad \text{หรือ} \quad H_1: \beta_1 \neq 0$$

สถิติทดสอบได้ค่า $t = 4.566$ ซึ่งทำให้ $\text{Sig } t = 0.003$ น้อยกว่า 0.05

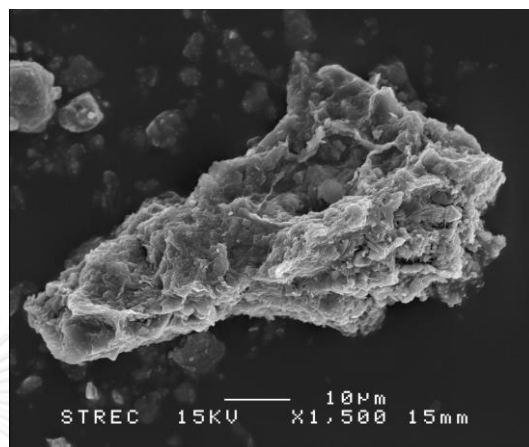
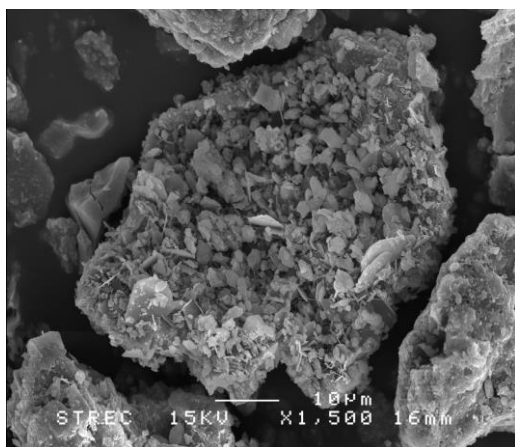
จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ฉะนั้น ค่า $\beta_1 \neq 0$

จากการตรวจสอบสมมติฐานของการเปลี่ยนขนาดตะแกรงกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ในผู้นทรายที่ผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A และตัวอย่าง B ได้ทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติโดยใช้ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่ามีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ จ.5 ในภาคผนวก จ

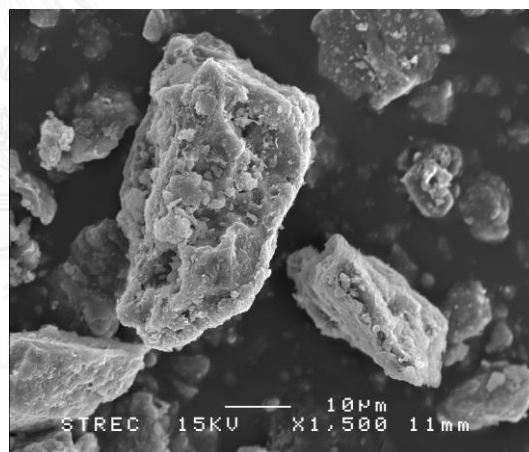
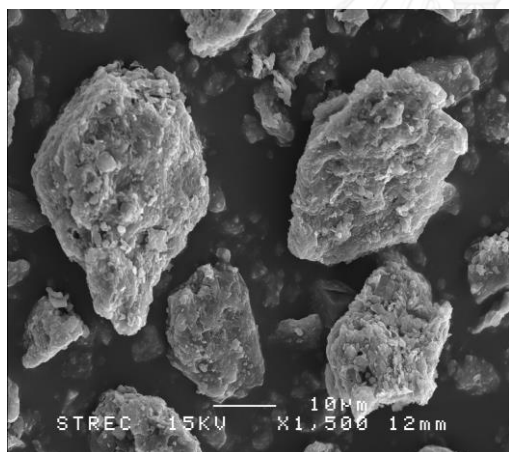
4.5.2 ตัวอย่าง B

4.5.2.1 ลักษณะทางกายภาพ

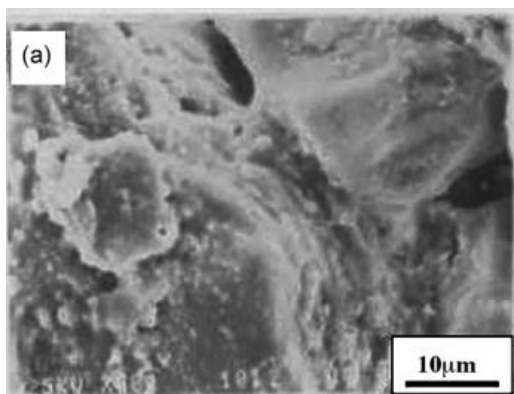
ภาพถ่ายกล้องส่องกราด Scanning Electron Microscope : SEM



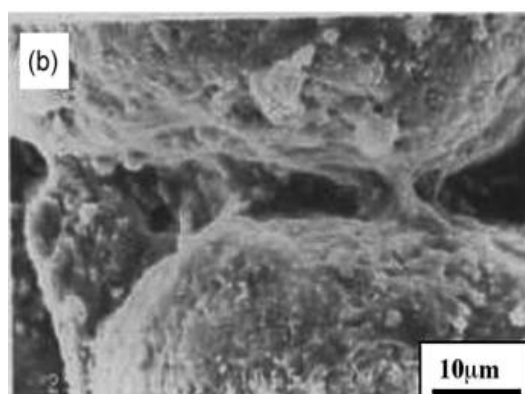
ภาพที่ 4.67 ตัวอย่าง B กำลังขยาย 1,500 เท่า (เริ่มต้น) ภาพที่ 4.68 ตัวอย่าง B กำลังขยาย 1,500 เท่า (หลังผ่านการทดลองที่ 2)



ภาพที่ 4.69 ตัวอย่าง B กำลังขยาย 1,500 เท่า (หลังผ่านการทดลองที่ 3) ภาพที่ 4.70 ตัวอย่าง B กำลังขยาย 1,500 เท่า (หลังผ่านการทดลองที่ 4)



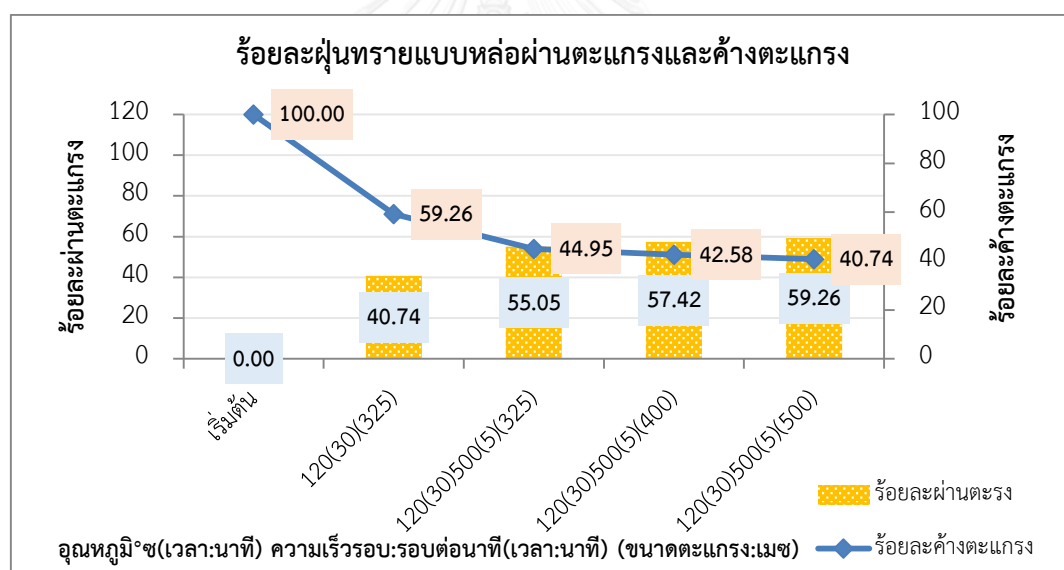
ภาพที่ 4.71 ทรายแบบหล่อหลังผ่านอุณหภูมิ 1,000°C เวลา 1 นาที
(Zhou และคณะ, 2009)



ภาพที่ 4.72 ทรายแบบหล่อหลังผ่านอุณหภูมิ 1,000°C เวลา 2 นาที
(Zhou และคณะ, 2009)

จากภาพที่ 4.65 เริ่มต้นพบว่าที่กำลังขยาย 1,500 เท่า อนุภาคฝุ่นทรายแบบหล่อมีขนาดอนุภาคเท่ากับ 16 ไมครอน มีแอกทิฟเบนโทไนด์เกาะเคลือบผิวของฝุ่นทรายแบบหล่ออย่างหนาแน่น เมื่อผ่านการทดลองที่ 2 จากภาพที่ 4.66 พบว่าปริมาณแอกทิฟเบนโทไนด์ที่เกาะเคลือบผิวฝุ่นทรายแบบหล่อบางลงจากเริ่มต้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Zhou และคณะ, 2009) มีขนาดของอนุภาคเท่ากับ 15 ไมครอน และจากภาพที่ 4.67 เมื่อผ่านการทดลองที่ 3 ขนาดอนุภาคมีขนาดเล็กลงเท่ากับ 12 ไมครอน ลักษณะฝุ่นทรายแบบหล่อมีการแตกหักเป็นอนุภาคเล็กๆ เหมือนกับอนุภาคฝุ่นทรายแบบหล่อเมื่อผ่านการทดลองที่ 4 จากภาพที่ 4.68 มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 11 ไมครอน ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกัน ปริมาณแอกทิฟเบนโทไนด์เกาะที่ผิวของฝุ่นทรายแบบหล่อในปริมาณน้อยลงตามลำดับ

4.5.2.2 ร้อยละฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรง



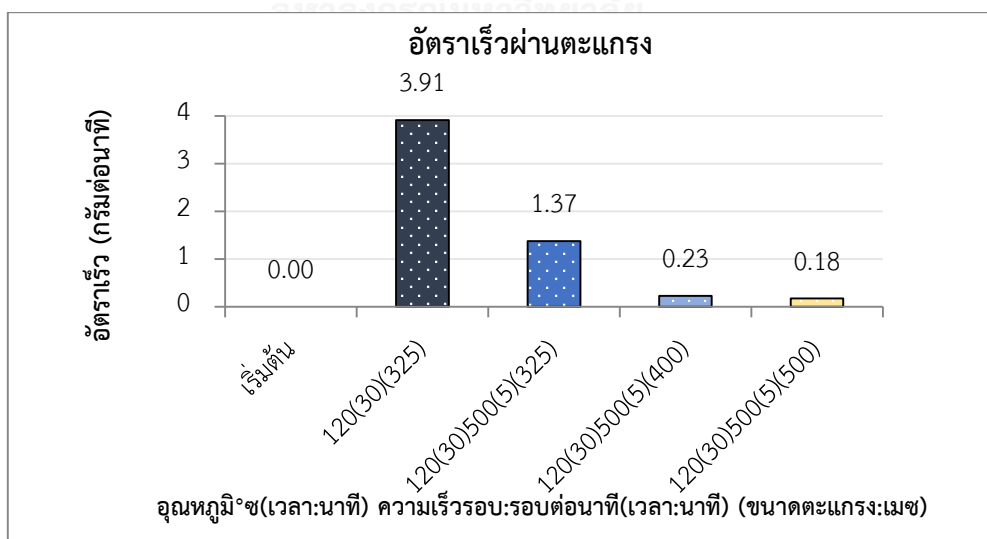
ภาพที่ 4.73 ร้อยละฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงและค้ำตะแกรงตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 4

จากผลการทดลองการเปลี่ยนขนาดตะแกรงเพื่อเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทิฟเบนโทไนด์ที่ร่วงผ่านตะแกรงลงมาของตัวอย่าง B ดังภาคผนวกที่ ง และภาพที่ 4.69 โดยทำการทดลองอย่างต่อเนื่องเริ่มต้นตัวอย่างฝุ่นทรายแบบหล่อ 144 กรัม พบว่าสภาวะการทดลองที่ทำตามการทดลองที่ 2 (การทดลองที่ 4.1) ได้ร้อยละฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงเท่ากับ 40.74 เหลือค้ำตะแกรงร้อยละ 59.26 เมื่อนำไปซัดสีทำเหมือนการทดลองที่ 3 (การทดลองที่ 4.2) ได้ร้อยละฝุ่นทรายแบบหล่อผ่าน

ตะแกรงเท่ากับ 55.05 เหลือค้ำตะแกรงร้อยละ 44.95 จะเห็นได้ว่าการทำซ้ำการทดลองที่ 2 และ 3 ได้สัดส่วนน้ำหนักผ่านและค้ำตะแกรงที่ต่างกัน แสดงว่าการให้ความร้อนร่วมกับการขัดสีมีผลให้ขนาดอนุภาคเล็กลงและร่วงผ่านตะแกรงลงมาได้มากกว่าการให้ความร้อนเพียงอย่างเดียว การให้ความร้อนร่วมกับการขัดสีสามารถนำฝุ่นทรายแบบหล่อกลับคืนมาได้ร้อยละ 24.15 โดยการให้ความร้อนสามารถนำกลับมาได้ร้อยละ 40.74 ดังนั้นการให้ความร้อนสามารถลดปริมาณของเสียที่นำไปกำจัดได้มากกว่าการใช้ความร้อนร่วมกับการขัดสี

จากนั้นทำเหมือนการทดลองที่ 3 แต่เปลี่ยนขนาดตะแกรงเป็น 400 เมช (การทดลองที่ 4.3) ได้ร้อยละฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงเท่ากับ 57.42 เหลือค้ำตะแกรงร้อยละ 42.58 สุดท้ายทำเหมือนการทดลองที่ 3 แต่เปลี่ยนขนาดตะแกรงเป็น 500 เมช (การทดลองที่ 4.4) ได้ร้อยละฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรงเท่ากับ 59.26 เหลือค้ำตะแกรงร้อยละ 40.74 จะเห็นว่าการใช้ขนาดตะแกรง 400 เมช และ 500 เมช สัดส่วนน้ำหนักค้ำตะแกรงและผ่านตะแกรงต่างกันร้อยละ 2 สัดส่วนไม่ต่างกัน ปริมาณฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงของตะแกรงรูเปิดขนาดเล็กน้อยกว่าปริมาณฝุ่นทรายแบบหล่อของตะแกรงรูเปิดขนาดใหญ่ จึงไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนขนาดตะแกรงให้เล็กลง โดยเลือกใช้ตะแกรงรูเปิดขนาดใหญ่ในการแยก

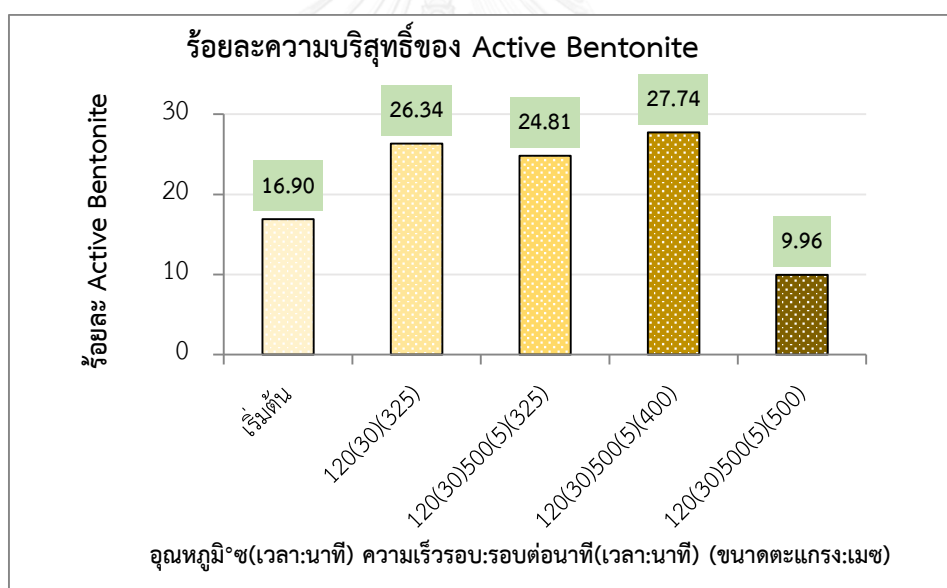
4.5.2.3 อัตราเร็วฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง



ภาพที่ 4.74 อัตราเร็วผ่านตะแกรงของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 4

ผลจากการทดลองแสดงตามภาคผนวกที่ ๓ และภาพที่ 4.70 โดยพบว่าอัตราเร็วผ่านตะแกรงมีค่าลดลงตามน้ำหนักที่ร่ว่งผ่านตะแกรง โดยพบว่าที่การทดลองการให้ความร้อนมีอัตราเร็วสูงสุดที่ 3.91 กรัมต่อนาที และการขัดสีร่วมกับความร้อน (การทดลองที่ 4.2) มีอัตราเร็วผ่านตะแกรงลดลง 3 เท่ามีค่าเท่ากับ 1.37 กรัมต่อนาที แต่ก็มีอัตราเร็วผ่านตะแกรงมากกว่าอัตราเร็วผ่านตะแกรงขนาดตะแกรง 400 และ 500 เมช โดยที่อัตราเร็วผ่านตะแกรงของขนาดตะแกรง 400 และ 500 เมชมีค่าใกล้เคียงกันเท่ากับ 0.23 และ 0.18 กรัมต่อนาที ตามลำดับ เพราะว่ารูเปิดตะแกรงของ 325 เมชมีขนาดใหญ่ถึง 45 ไมครอน ในขณะที่ขนาดตะแกรง 400 และ 500 เมช มีขนาดรูเปิดตะแกรง 38 และ 25 ไมครอน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าที่ขนาดตะแกรงรูเปิดขนาดใหญ่สุดตันน้อยกว่ารูเปิดขนาดเล็กประกอบกับเมื่อผ่านการขัดสีอนุภาคฝุ่นทรายแบบหล่อ (d_{50}) จะมีขนาดเล็กลงทำให้อุดตันได้ง่าย

4.5.2.4 ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนต์



ภาพที่ 4.75 ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนต์ของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 4

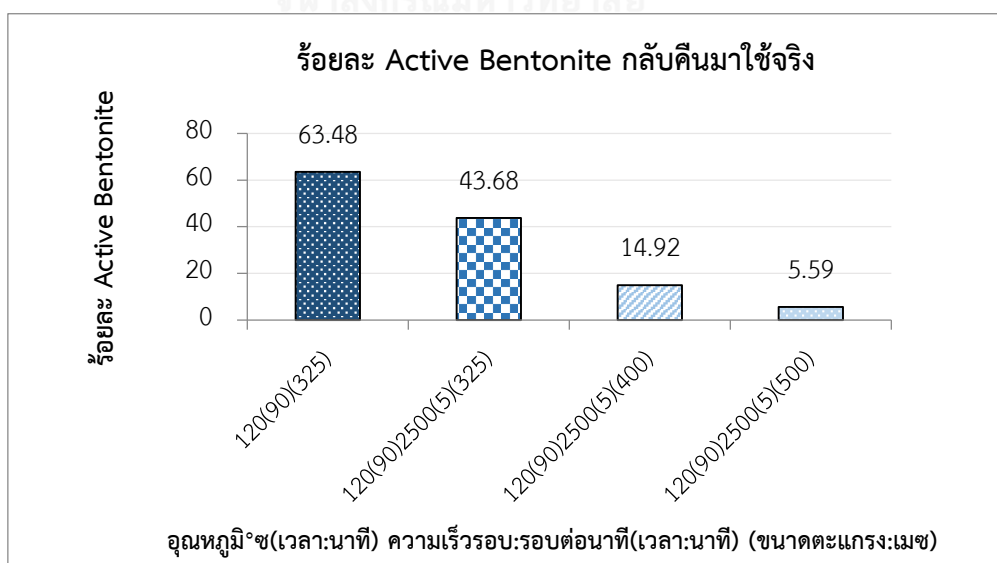
จากการทดลองการเปลี่ยนขนาดตะแกรงเพื่อเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์แอกทีฟเบนโทไนต์ที่ร่ว่งผ่านตะแกรงลงไปของตัวอย่าง B ดังภาคผนวกที่ ๓ และภาพที่ 4.71 พบว่าส่วนที่ผ่านตะแกรงลงมาของขนาดตะแกรง 400 และ 500 เมช ร้อยละของแอกทีฟเบนโทไนต์ได้เท่ากับ 27.74, 9.96 ตามลำดับ พบว่าที่ขนาดตะแกรง 400 เมช ได้ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนต์ของตัวอย่าง A มากที่สุด

ดังนั้นจากการทดลองเปลี่ยนขนาดตะแกรงทำให้ทราบว่ามีโอกาสเพิ่มการแยกร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์นำกลับมาไปใช้ใหม่ได้ที่เบอร์ตะแกรง 400 เมช เพราะตะแกรงมีขนาดเล็ก จึงได้คัดกรองแต่แอกทีฟเบนโทไนด์จนใกล้จะหมดซึ่งส่งผลกระทบต่อให้ที่เบอร์ตะแกรง 500 เมช ไม่สามารถเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของแอกทีฟเบนโทไนด์ได้ กลับยิ่งทำให้ลดลงเพราะร้อยละความบริสุทธิ์สูงสุดที่สามารถแยกได้อยู่ที่เบอร์ตะแกรง 400 เมช

แต่เมื่อพิจารณาร้อยละความบริสุทธิ์ร่วมกับปริมาณฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรง พบว่าการทดลองที่ 4.3 ได้ร้อยละความบริสุทธิ์มากกว่าการทดลองที่ 4.1 ร้อยละ 1 แต่เมื่อพิจารณาปริมาณฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรง พบว่าการทดลองที่ 4.1 ได้ปริมาณฝุ่นทรายแบบหล่อมากกว่าการทดลองที่ 4.3 ถึง 55 กรัม จึงเลือกที่จะใช้สภาวะที่ดีที่สุดคือ การทดลองที่ 4.1 ในการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ เนื่องจากทั้งร้อยละความบริสุทธิ์ตรงตามที่ต้องการและได้ปริมาณการนำกลับมาคืนมากด้วย

4.5.2.5 การนำกลับมาคืน

การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recovery) ของฝุ่นทรายแบบหล่อหลังจากผ่านสภาวะที่ดีที่สุดของแต่ละกระบวนการแล้วแอกทีฟเบนโทไนด์ที่แยกได้ผ่านตะแกรงลงมาจะถูกนำไปใช้ในการเป็นวัตถุดิบในการผลิตแบบหล่อทรายใหม่ต่อไป



ภาพที่ 4.76 ร้อยละแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมาใช้จริงของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 4

ผลจากการทดลองแสดงดังภาคผนวกที่ ง และภาพที่ 4.72 ซึ่งได้สภาวะการทดลองที่เหมาะสมคือ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาทีเท่ากับร้อยละ 63.48 ของการนำกลับคืนมาใช้ใหม่ ซึ่งค่าที่ได้รับสอดคล้องกับร้อยละความบริสุทธิ์ที่เหมาะสมต่อการนำแอกทีฟเบนโทไนด์ไปใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตแบบหล่อทรายใหม่ต่อไป

4.5.2.6 การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ

พิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์กับการเปลี่ยนแปลงขนาดตะแกรง ว่ามีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2557) สอดคล้องกับผลการทดลองที่ 4 ว่าขนาดตะแกรงที่มีเบอร์ขนาดตะแกรงเพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ลดลง จึงทดสอบสมมติฐานการวิจัยด้วยสถิติ t-test เพราะเป็นการทดสอบสมมติฐานชนิดหนึ่งที่นักวิจัยนิยมใช้การทดสอบ โดยวิธีการนี้ใช้ในกรณีข้อมูลมีจำนวนน้อย ($n < 30$) (อรุณี อ่อนสวัสดิ์, 2551) ทดสอบแบบสองข้าง สมมติฐานค่า β_1 เป็นการทดสอบความเชื่อว่าคุณสมบัติระหว่าง การเปลี่ยนแปลงตะแกรงกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ว่าค่า $\beta_1 = 0$ หรือค่า $\beta_1 \neq 0$ และจากข้อมูลที่ได้ ค่า $b = 0.219$

$$H_0: \beta_1 = 0 \quad \text{หรือ} \quad H_1: \beta_1 \neq 0$$

สถิติทดสอบได้ค่า $t = 3.730$ ซึ่งทำให้ $\text{Sig } t = 0.007$ น้อยกว่า 0.05

จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ฉะนั้น ค่า $\beta_1 \neq 0$

จากการตรวจสอบสมมติฐานผลของการเปลี่ยนแปลงตะแกรงกับน้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนด์ในผู้หนทรายที่ผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A และตัวอย่าง B ได้ทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติโดยใช้ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่ามีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ จ.6 ในภาคผนวก จ

4.5.3 ร้อยละการนำกลับคืนมาและร้อยละความบริสุทธิ์ของแอคทีฟเบนโทไนด์จากสถานะการทดลองที่ดีที่สุดของการทดลองที่ 4

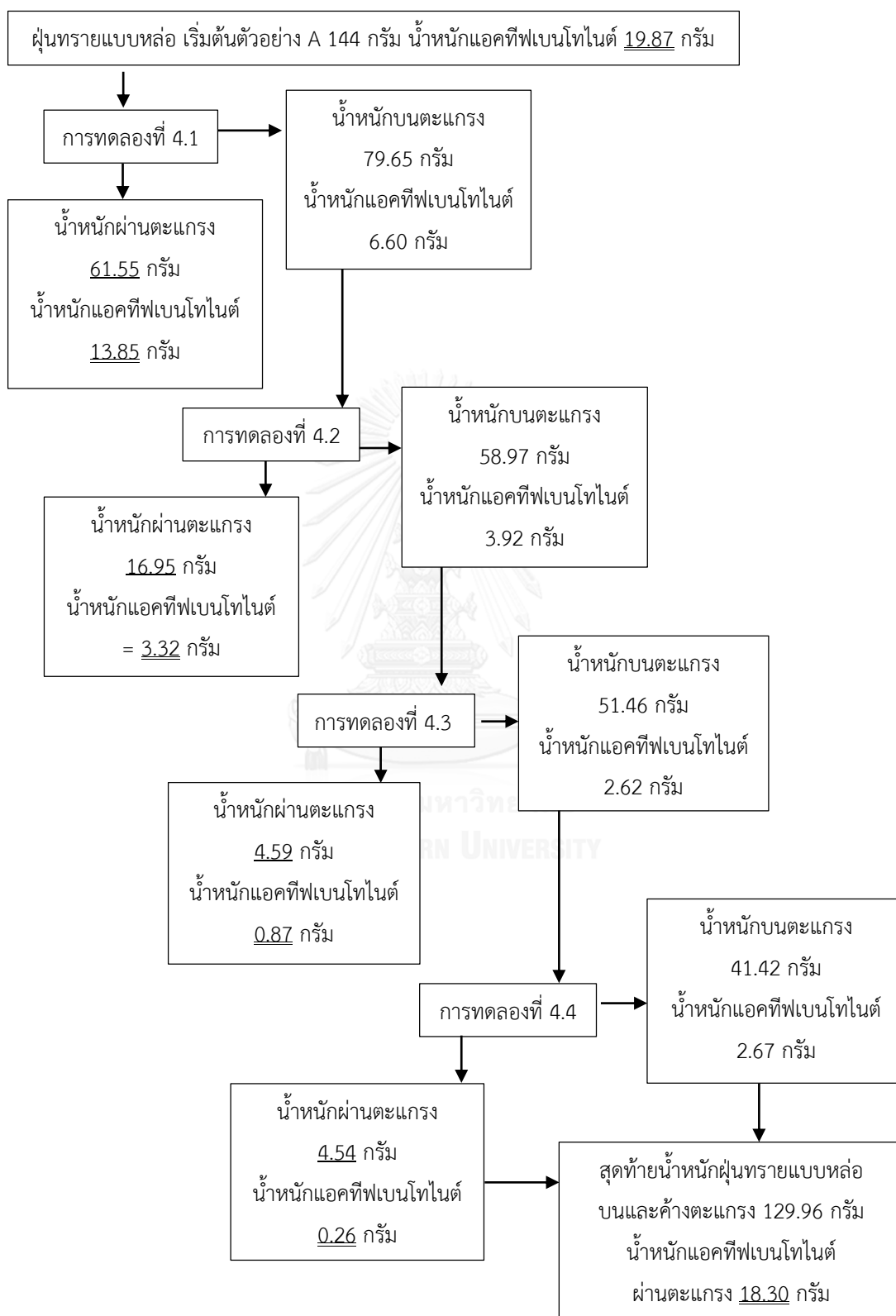
จากการทดลองการเปลี่ยนขนาดตะแกรงสามารถสรุปร้อยละการนำกลับคืนมาและร้อยละความบริสุทธิ์ของแอคทีฟเบนโทไนด์ ดังตารางที่ 4.8 เพื่อเปรียบเทียบในแต่ละสถานะของการทดลองที่ 4 นำไปสู่การเลือกประยุกต์ใช้จริง ซึ่งพบว่าสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้จริงคือ การให้ความร้อน เพราะค่าร้อยละการนำกลับคืนมาและร้อยละความบริสุทธิ์มากที่สุดเพื่อเทียบกับสถานะอื่นๆ

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบร้อยละการนำกลับคืนมาและร้อยละความบริสุทธิ์ของแอคทีฟเบนโทไนด์จากการทดลองที่ 4.1 – 4.4

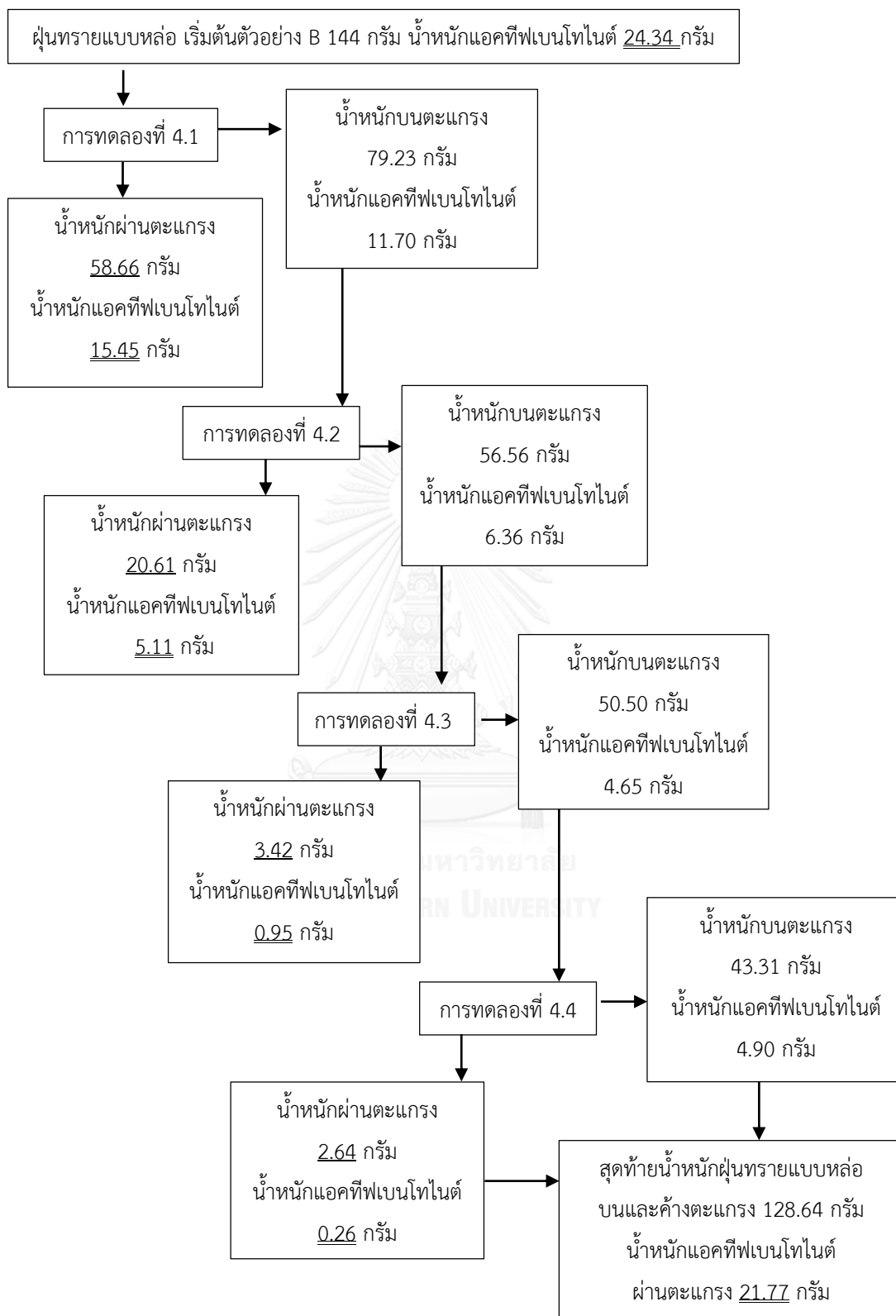
ตัวอย่าง	การทดลองที่ 4.1		การทดลองที่ 4.2		การทดลองที่ 4.3		การทดลองที่ 4.4	
	ร้อยละการนำกลับคืนมา	ร้อยละความบริสุทธิ์	ร้อยละการนำกลับคืนมา	ร้อยละความบริสุทธิ์	ร้อยละการนำกลับคืนมา	ร้อยละความบริสุทธิ์	ร้อยละการนำกลับคืนมา	ร้อยละความบริสุทธิ์
A	69.70	22.51	50.30	19.59	22.19	18.93	9.92	5.65
B	63.48	26.34	43.68	24.81	14.92	27.74	5.59	9.96

จากการทดลองที่ 4.4 การเปลี่ยนขนาดตะแกรงเป็น 500 เมช ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอคทีฟเบนโทไนด์ทั้งตัวอย่าง A และ B มีค่าลดลงมาก เนื่องจากการเปลี่ยนขนาดตะแกรงไม่สามารถแยกอนุภาคเดี่ยวของแอคทีฟเบนโทไนด์ออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากความเร็วรอบในการขัดสีของตัวอย่าง A ใช้ความเร็วรอบที่ 2,500 รอบต่อนาที ทำให้เกิดการไถรุข้นของฝุ่นทรายลงมาปนกับแอคทีฟเบนโทไนด์มากขึ้น ร้อยละความบริสุทธิ์ลดลงจากการทดลองที่ 4.3 เท่ากับ 70.15 ส่วนตัวอย่าง B ใช้ความเร็วรอบที่ 500 รอบต่อนาที ทำให้เกิดการไถรุข้นของฝุ่นทรายลงมาปนกับแอคทีฟเบนโทไนด์ได้บ้างเช่นกันแต่น้อยกว่าตัวอย่าง A ร้อยละความบริสุทธิ์จึงลดลงจากการทดลองที่ 4.3 เท่ากับ 64.09 จึงทำให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของแอคทีฟเบนโทไนด์สุดท้ายของการทดลองที่ 4.4 ตัวอย่าง B มีค่ามากกว่าตัวอย่าง A

4.5.4 สมดุลมวลของการทดลองที่ 4



ภาพที่ 4.77 สมดุลมวลของตัวอย่าง A ในการทดลองที่ 4



ภาพที่ 4.78 สมดุลมวลของตัวอย่าง B ในการทดลองที่ 4

จากภาพที่ 4.73 และ 4.74 ได้แสดงสมดุลของตัวอย่าง A และตัวอย่าง B ของการทดลองที่ 4 โดยพบว่าเริ่มต้นการทดลองใช้ฝุ่นทรายแบบหล่อ 144 กรัม เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 4.4 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่ค้างตะแกรงและผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A เท่ากับ 129.96 กรัม คิดเป็นร้อยละน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่หายไปเท่ากับ 9.75 และตัวอย่าง B เท่ากับ 128.64 กรัม คิดเป็นร้อยละน้ำหนักฝุ่นทรายที่หายไปเท่ากับ 10.66 ทั้งนี้ น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่หายไปเนื่องจากฝุ่นทรายแบบหล่อติดที่ขอบตะแกรง ส่วนน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A เริ่มต้นเท่ากับ 19.87 กรัม เมื่อผ่านการทดลองแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงลงมาเหลือเท่ากับ 18.30 กรัม ค้างตะแกรงเท่ากับ 2.67 กรัม คิดเป็น 20.97 กรัม ส่วนตัวอย่าง B เริ่มต้นเท่ากับ 24.34 กรัม ผ่านตะแกรงเท่ากับ 21.77 กรัม ค้างตะแกรงเท่ากับ 4.90 กรัม คิดเป็น 26.67 กรัม น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ที่เพิ่มขึ้นมากกว่า น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้นและคงค้างอยู่บนตะแกรง ทั้งนี้เกิดจากคุณสมบัติการขยายตัวของแอกทีฟเบนโทไนด์คือ แอกทีฟเบนโทไนด์สามารถดูดซับน้ำหรือความชื้นในบรรยากาศแล้วพองตัวได้มากถึง 5 - 20 เท่าจากปริมาตรเดิม ทำให้น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ได้ไม่เท่ากับน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้น (สรินทร์ ลีนปนาท, 2544)

➤ ร้อยละการนำกลับคืนสะสมของแอกทีฟเบนโทไนด์ในตัวอย่าง A, B

จากตารางที่ 4.9 – 4.10 แสดงน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงลงมาของการทดลองที่ 4 ในแต่ละสภาวะการทดลอง พร้อมทั้งน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงสะสม และร้อยละการนำกลับคืนของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ผ่านตะแกรงลงมา เพื่อศึกษาร้อยละการนำกลับคืนมาของการทดลองที่ 4 ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนจบการทดลอง

ตารางที่ 4.9 ร้อยละการนำกลับคืนมาสะสมของแอกทีฟเบนโทไนด์ ตัวอย่าง A จากการทดลองที่ 4

สภาวะการทดลองที่ 4 ตัวอย่าง A	น้ำหนักแอกทีฟ เบนโทไนด์(กรัม)	น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ สะสม (กรัม)	ร้อยละการนำ กลับคืนมาสะสม
การทดลองที่ 4.1	13.85	13.85	69.70
การทดลองที่ 4.2	3.32	17.17	86.41
การทดลองที่ 4.3	0.87	18.04	90.79
การทดลองที่ 4.4	0.26	18.30	92.10

จากตารางที่ 4.9 แสดงถึงร้อยละการนำกลับคืนมาใช้ใหม่สะสมของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A จากการทดลองที่ 4 พบว่าที่สภาวะการทดลองให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

เวลาในการอบ 90 นาที ต่อด้วยการขัดสีที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาทีเวลาในการขัดสี 5 นาที ร่อนด้วยขนาดตะแกรง 500 เมช (การทดลองที่ 4.4) ร้อยละการนำกลับมาใช้ใหม่ของแอกทีฟเบนโทไนด์มากที่สุดเท่ากับ 92.10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดจากสภาวะการทดลองงานวิจัยนี้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงการทดลอง

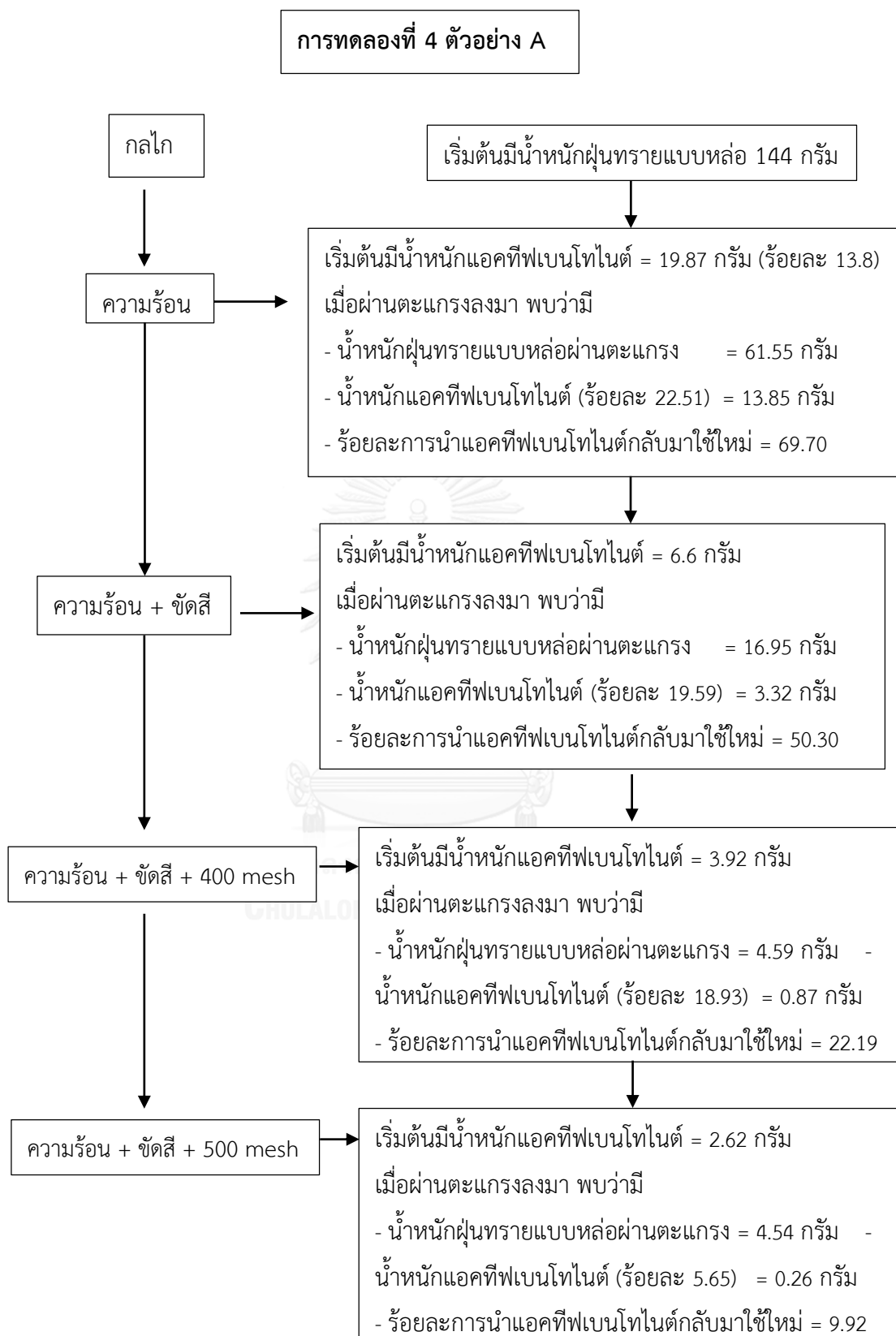
ตารางที่ 4.10 ร้อยละการนำกลับมาสะสมของแอกทีฟเบนโทไนด์ ตัวอย่าง B จากการทดลองที่ 4

สภาวะการทดลองที่ 4 ตัวอย่าง B	น้ำหนักแอกทีฟ เบนโทไนด์(กรัม)	น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ สะสม (กรัม)	ร้อยละการนำ กลับมาสะสม
การทดลองที่ 4.1	15.45	15.45	63.48
การทดลองที่ 4.2	5.11	20.56	84.47
การทดลองที่ 4.3	0.95	21.51	88.37
การทดลองที่ 4.4	0.26	21.77	89.44

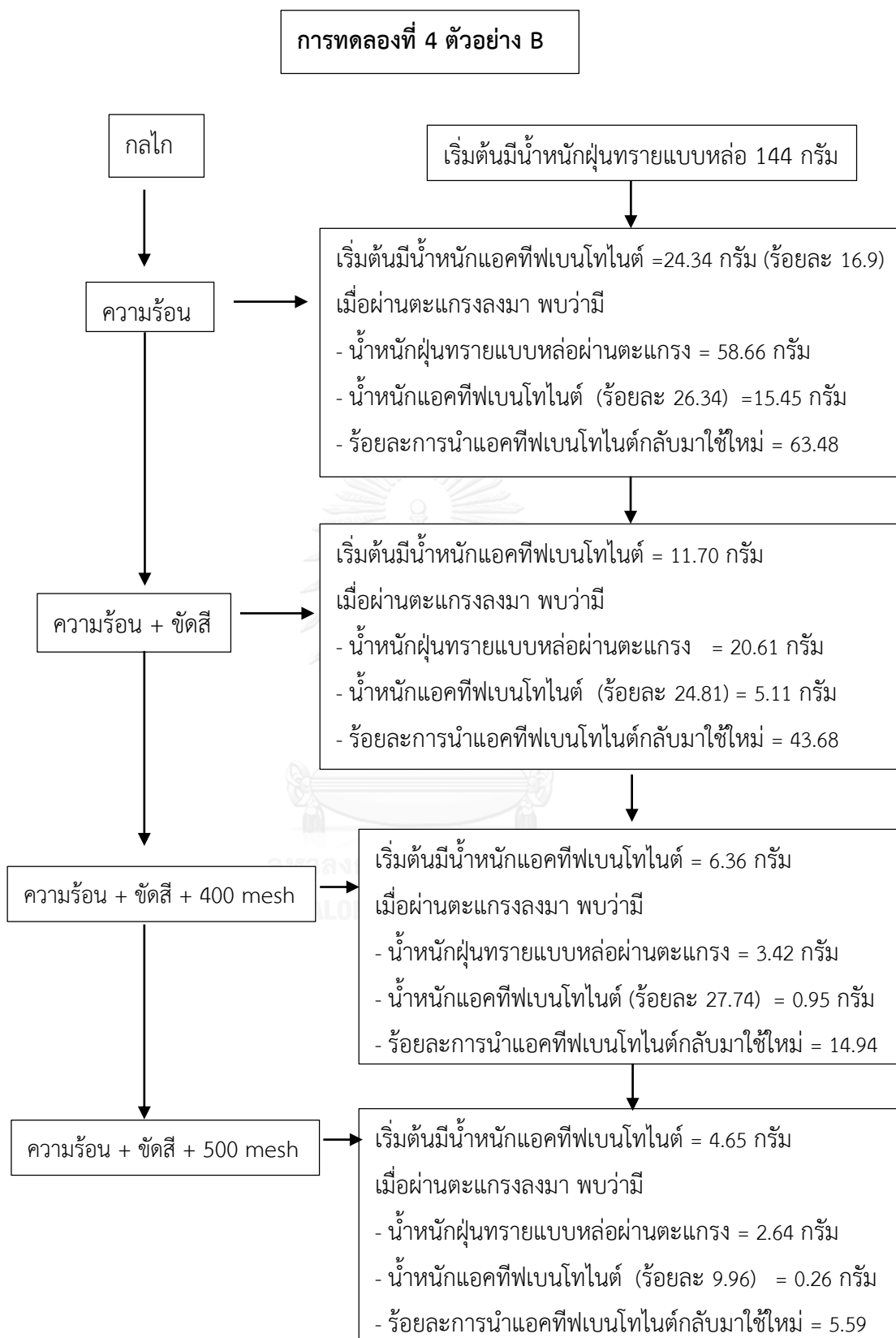
จากตารางที่ 4.10 แสดงถึงร้อยละการนำกลับมาสะสมของแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง B การทดลองที่ 4 พบว่าที่สภาวะการทดลองให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลาในการอบ 30 นาที ต่อด้วยการขัดสีที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาทีเวลาในการขัดสี 5 นาที ร่อนด้วยขนาดตะแกรง 500 เมช (การทดลองที่ 4.4) ร้อยละการนำกลับมาใช้ใหม่ของแอกทีฟเบนโทไนด์มากที่สุดเท่ากับ 89.44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดจากสภาวะการทดลองงานวิจัยนี้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงการทดลอง

4.5.5 ผลของกลไกในแต่ละสภาวะการทดลองในการทดลองที่ 4 ทั้งตัวอย่าง A และตัวอย่าง B

ในการทดลองของงานวิจัยเพื่อแยกแอกทีฟเบนโทไนด์ออกจากฝุ่นทรายแบบหล่อของการทดลองที่ 4 เป็นกลไกของการให้ความร้อนร่วมกับการขัดสีและเปลี่ยนขนาดตะแกรง ใช้ตัวอย่างฝุ่นทรายแบบหล่อเริ่มต้นเท่ากับ 144 กรัม ตัวอย่าง A ได้แสดงผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 4.75 ส่วนตัวอย่าง B ได้แสดงผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 4.76 โดยแสดงว่าแต่ละกลไกมีผลต่อส่วนที่ผ่านตะแกรงลงมา เพื่อเป็นแนวทางการตัดสินใจเลือกกลไกที่ดีที่สุดในการนำไปประยุกต์ใช้จริงประกอบด้วยตัวชี้วัด ดังนี้ น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรง น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ ร้อยละการนำกลับมาของแอกทีฟเบนโทไนด์ ดังนั้นจึงได้เลือกการให้ความร้อนเป็นกลไกที่ดีที่สุดสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้จริง เพราะมีน้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรง น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ ร้อยละการนำกลับมาของแอกทีฟเบนโทไนด์มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลไกอื่น



ภาพที่ 4.79 แสดงกลไกของการทดลองที่ 4 ตัวอย่าง A



ภาพที่ 4.80 แสดงกลไกของการทดลองที่ 4 ตัวอย่าง B

4.6 ประเมินเศรษฐศาสตร์

เพื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าค่าใช้จ่ายที่ใช้ในแต่ละการทดลองของงานวิจัยนี้ จึงได้วิเคราะห์จากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละการทดลองและคำนวณระยะคืนทุน (Payback Period) ซึ่งงานวิจัยนี้ประกอบด้วย การทดลอง 4 การทดลอง และในแต่ละการทดลองมีการศึกษาตัวอย่างในการทดลอง 2 ตัวอย่างคือ ตัวอย่าง A และ ตัวอย่าง B โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เครื่องเขย่า เตอบ และ เครื่องหมุนเหวี่ยง การคิดค่าพลังงานไฟฟ้าในแต่ละการทดลองเลือกคิดอัตราของโรงงานกิจการขนาดใหญ่ แรงดัน 69 กิโลวัตต์ขึ้นไป ซึ่งมีการแสดงการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 4 การทดลองแสดงไว้ดังภาคผนวก ซ และผลรวมค่าพลังงานไฟฟ้าของแต่ละการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลรวมของต้นทุนในการนำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับมาใหม่จากฝุ่นทราย 144 กรัมของแต่ละตัวอย่าง A และตัวอย่าง B

ต้นทุนการนำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับมาใหม่ (บาท)		
การทดลองที่	ตัวอย่าง A	ตัวอย่าง B
1	0.20	0.20
2	7.77	2.66
3	7.85	2.74
4	31.32	10.88
รวม	47.14	16.48

จากตารางที่ 4.11 แสดงผลรวมของต้นทุนของตัวอย่าง A และตัวอย่าง B ซึ่งตัวอย่าง A ใช้หน่วยไฟฟ้าในการทดลองทั้งหมด 10.01 หน่วย ส่วนตัวอย่าง B ใช้หน่วยไฟฟ้าในการทดลองทั้งหมด 3.49 หน่วย ซึ่งคิดเป็นเงินตัวอย่าง A ใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าในการทดลองเท่ากับ 47.14 บาท และตัวอย่าง B ใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าในการทดลองเท่ากับ 16.48 บาท

4.6.1 ต้นทุนการนำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมาใหม่ของตัวอย่าง A

แต่เมื่อพิจารณาถึงการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมาใช้ใหม่ได้มากที่สุดในตัวอย่าง A จะพิจารณาในการทดลองที่ 4 การเปลี่ยนขนาดตะแกรง ต้องการแค่แอกทีฟเบนโทไนด์ผ่านตะแกรงลงมามากที่สุด จึงเลือกที่การทดลองที่ 4.1 ซึ่งค่าหน่วยไฟฟ้าเป็นไปดังภาคผนวก ซ ตารางที่ ซ.7 เท่ากับ 2.48 หน่วย ซึ่งคิดคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าของตัวอย่าง A เท่ากับ 7.77 บาท ในการทดลองของ

งานวิจัยนี้สามารถนำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมาใช้ใหม่ได้ของตัวอย่าง A เท่ากับ 13.85 กรัมในเริ่มต้น 144 กรัม จึงได้นำมาคิดคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อ 1 กรัมของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สามารถนำกลับคืนมาได้ และต่อน้ำหนักฝุ่นทราย 1 กรัม ดังนี้

$$\text{ตัวอย่าง A} = 7.77 \text{ บาท} / 13.85 \text{ กรัม} = 0.5610 \text{ บาทต่อ 1 กรัมแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ได้}$$

$$\text{ตัวอย่าง A} = 7.77 \text{ บาท} / 144 \text{ กรัม} = 0.0540 \text{ บาทต่อตัวอย่าง A 1 กรัม}$$

แต่กลับพบว่าในโรงงานมีความร้อนที่สูญเสียจากกระบวนการหล่อโลหะทำลูกเหล็กอยู่ในช่วง 50 - 350 องศาเซลเซียส (John, 1886) จึงคิดค่าหน่วยไฟฟ้าของเครื่องเขย่าเพียงอย่างเดียวซึ่งเท่ากับ 0.03 หน่วยคิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.09 บาท จึงได้นำมาคิดคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อ 1 กรัมของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สามารถนำกลับคืนมาได้ และต่อน้ำหนักฝุ่นทราย 1 กรัม ดังนี้

$$\text{ตัวอย่าง A} = 0.09 \text{ บาท} / 13.85 \text{ กรัม} = 0.0065 \text{ บาทต่อ 1 กรัมแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ได้}$$

$$\text{ตัวอย่าง A} = 0.09 \text{ บาท} / 144 \text{ กรัม} = 0.0006 \text{ บาทต่อตัวอย่าง A 1 กรัม}$$

4.6.2 ต้นทุนการนำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมาใหม่ของตัวอย่าง B

การนำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมามากที่สุดของการทดลองที่ 4.1 ของตัวอย่าง B ซึ่งคิดเป็นหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 0.85 หน่วย จึงนำไปคิดคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าของตัวอย่าง B เท่ากับ 2.66 บาท ซึ่งค่าหน่วยไฟฟ้าเป็นไปดังภาคผนวก ซ ตารางที่ ซ.8 ในการทดลองของงานวิจัยนี้สามารถนำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับคืนมาใช้ใหม่ได้ของตัวอย่าง B เท่ากับ 15.45 กรัมในเริ่มต้น 144 กรัม จึงได้นำมาคิดคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อ 1 กรัมของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สามารถนำกลับคืนมาได้ และค่าไฟฟ้าต่อน้ำหนักฝุ่นทราย 1 กรัม ดังนี้

$$\text{ตัวอย่าง A} = 2.66 \text{ บาท} / 15.45 \text{ กรัม} = 0.1722 \text{ บาทต่อ 1 กรัมแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ได้}$$

$$\text{ตัวอย่าง A} = 2.66 \text{ บาท} / 144 \text{ กรัม} = 0.0185 \text{ บาทต่อตัวอย่าง A 1 กรัม}$$

แต่กลับพบว่าในโรงงานมีความร้อนที่สูญเสียจากกระบวนการหล่อโลหะทำลูกเหล็กอยู่ในช่วง 50 - 350 องศาเซลเซียส (John, 1886) จึงคิดค่าหน่วยไฟฟ้าของเครื่องเขย่าเพียงอย่างเดียวซึ่งเท่ากับ 0.03 หน่วยคิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.09 บาท จึงได้นำมาคิดคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อ 1 กรัมของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สามารถนำกลับคืนมาได้ และต่อน้ำหนักฝุ่นทราย 1 กรัม ดังนี้

ตัวอย่าง A = 0.09 บาท / 15.45 กรัม = 0.0058 บาทต่อ 1 กรัมแอกทิฟเบนโทไนด์ที่ได้

ตัวอย่าง A = 0.09 บาท / 144 กรัม = 0.0006 บาทต่อตัวอย่าง A 1 กรัม

4.6.3 ระยะเวลาคืนทุน

ในแต่ละวันของโรงงานก่อให้เกิดของเสียฝุ่นทรายแบบหล่อ 33 ตันต่อวัน และสูญเสียค่ากำจัด 500 บาทต่อตัน และใช้ปริมาณวัตถุดิบเบนโทไนด์ 16 ตันต่อวัน ค่าจัดซื้อเท่ากับ 7,000 บาทต่อตัน เมื่อนำมาคำนวณระยะคืนทุนต่อปีซึ่งคิดคำนวณจากต้นทุนจริงที่ใช้ดำเนินการและต้นทุนเดิมที่ต้องจ่าย ซึ่งต้นทุนเดิมที่ต้องจ่ายมีค่าใช้จ่ายกำจัดฝุ่นทรายแบบหล่อกับค่าซื้อวัตถุดิบเบนโทไนด์ ซึ่งค่ากำจัดฝุ่นทรายแบบหล่อเท่ากับ 6,022,500 บาทต่อปี และค่าจัดซื้อเบนโทไนด์บริสุทธิ์เท่ากับ 40,880,000 บาทต่อปี ส่วนต้นทุนจริงที่ใช้ดำเนินการคือค่าเครื่องจักร โดยที่เตาอบอุตสาหกรรมราคาเท่ากับ 1,000,000 บาท และราคาเครื่องเขย่าอุตสาหกรรมเท่ากับ 1,750,000 บาท จากการคำนวณด้านล่างแสดงให้เห็นว่าตัวอย่าง A และตัวอย่าง B มีต้นทุนในการนำกลับคืนมาใช้ใหม่ถูกกว่าค่าจัดซื้อเบนโทไนด์รวมกับค่ากำจัดเมื่อไม่คิดรวมกับค่าพลังงานความร้อน และระยะคืนทุนแสดงดังนี้

ตัวอย่าง A คิดรวมพลังงานความร้อน (ค่าเครื่องเตาอบ + เครื่องเขย่า)

$$\begin{aligned} \text{ระยะคืนทุน(ปี)} &= \text{ต้นทุนจริงที่ใช้ดำเนินการ} / \text{ต้นทุนเดิมที่ต้องจ่าย} \\ &= \frac{\text{ค่าใช้จ่ายดำเนินการจริงตามปริมาณฝุ่นทราย}}{(\text{ค่ากำจัดฝุ่นทราย} + \text{ค่าซื้อวัตถุดิบเบนโทไนด์})} \\ &= \frac{2,750,000}{(6,022,500 + 40,880,000)} \\ &= 0.06 \text{ ปี} = 7 \text{ เดือน} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง A ไม่คิดรวมพลังงานความร้อน (เครื่องเขย่า)

$$\begin{aligned} \text{ระยะคืนทุน(ปี)} &= \frac{1,750,000}{(6,022,500 + 40,880,000)} \\ &= 0.04 \text{ ปี} = 4 \text{ เดือน} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง B คิดรวมพลังงานความร้อน (ค่าเครื่องเตาอบ + เครื่องเขย่า)

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะคืนทุน(ปี)} &= \text{ต้นทุนจริงที่ใช้ดำเนินการ} / \text{ต้นทุนเดิมที่ต้องจ่าย} \\
 &= \frac{\text{ค่าใช้จ่ายดำเนินการจริงตามปริมาณผู้หนทราย}}{\text{(ค่ากำจัดผู้หนทราย + ค่าซื้อวัตถุดิบเบนโทไนต์)}} \\
 &= \frac{2,750,000}{(6,022,500 + 40,880,000)} \\
 &= 0.06 \text{ ปี} = 7 \text{ เดือน}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่าง B ไม่คิดรวมพลังงานความร้อน (เครื่องเขย่า)

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะคืนทุน(ปี)} &= \frac{1,750,000}{(6,022,500 + 40,880,000)} \\
 &= 0.04 \text{ ปี} = 4 \text{ เดือน}
 \end{aligned}$$

4.6.4 ค่าพลังงานไฟฟ้าของการทดลองที่ 4.1 และการทดลองที่ 4.2

เปรียบเทียบการนำแอกทีฟเบนโทไนต์กลับคืนมามากที่สุดของการทดลองที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งการทดลองที่ 4.1 ได้กล่าวไว้ข้างต้น ส่วนการทดลองที่ 4.2 มีข้อมูลดังต่อไปนี้ ตัวอย่าง A คิดค่าพลังงานไฟฟ้าในการทดลองเท่ากับ 7.87 บาท ซึ่งค่าหน่วยไฟฟ้าเป็นไปดั่งภาคผนวก ซ ตารางที่ ซ.7 ในการทดลองของงานวิจัยนี้สามารถนำแอกทีฟเบนโทไนต์กลับคืนมาใช้ใหม่ได้ของตัวอย่าง A เท่ากับ 17.71 กรัมของน้ำหนักผู้หนทรายเริ่มต้น 144 กรัม ส่วนตัวอย่าง B คิดค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 2.77 บาท ซึ่งค่าหน่วยไฟฟ้าเป็นไปดั่งภาคผนวก ซ ตารางที่ ซ.8 ในการทดลองของงานวิจัยนี้สามารถนำแอกทีฟเบนโทไนต์กลับคืนมาใช้ใหม่ได้ของตัวอย่าง B เท่ากับ 20.56 กรัมของน้ำหนักผู้หนทรายเริ่มต้น 144 กรัม จึงได้นำมาคิดคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อ 1 กรัมของแอกทีฟเบนโทไนต์ที่สามารถนำกลับคืนมาได้ และค่าไฟฟ้าต่อน้ำหนัผู้หนทราย 1 กรัม ดังตารางที่ 4.12 – 4.13

ดังนั้นจากตารางที่ 4.12 – 4.13 คิดคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อ 1 กรัมของแอกทีฟเบนโทไนต์ที่สามารถนำกลับคืนมาได้และค่าไฟฟ้าต่อน้ำหนัผู้หนทราย 1 กรัมของตัวอย่าง A, B พบว่าค่าไฟฟ้าที่ถูกที่สุดคือ ที่สภาวะการให้ความร้อนโดยใช้ความร้อนที่สูญเสียภายในโรงงานมาเป็นทางเลือกในการแยกแอกทีฟเบนโทไนต์จากผู้หนทรายแบบหล่อ

ตารางที่ 4.12 ค่าพลังงานไฟฟ้าของการนำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับมาจากสถานะการให้ความร้อนและการให้ความร้อนร่วมกับการขัดสี

สถานะการทดลอง	ค่าไฟของการนำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับมาของตัวอย่าง A (บาท) ต่อ 1 กรัมแอกทีฟเบนโทไนด์	ค่าไฟของการนำแอกทีฟเบนโทไนด์กลับมาของตัวอย่าง B (บาท) ต่อ 1 กรัมแอกทีฟเบนโทไนด์
ให้ความร้อน (เตาอบ,เครื่องเขย่า)	0.5610	0.1722
ให้ความร้อน (ฟรีความร้อน),(เครื่องเขย่า)	0.0065	0.0058
ให้ความร้อนร่วมขัดสี (เตาอบ, เครื่องหมุนเหวี่ยง, เครื่องเขย่า)	0.4444	0.1347
ให้ความร้อนร่วมขัดสี (ฟรีความร้อน), (เครื่องหมุนเหวี่ยง, เครื่องเขย่า)	0.0107	0.0092

ตารางที่ 4.13 ค่าพลังงานไฟฟ้าของการนำฝุ่นทรายแบบหล่อกลับมาจากสถานะการให้ความร้อนและการให้ความร้อนร่วมกับการขัดสี

สถานะการทดลอง	ค่าไฟของการนำฝุ่นทรายแบบหล่อกลับมาของตัวอย่าง A (บาท) ต่อ 1 กรัมฝุ่นทราย	ค่าไฟของการนำฝุ่นทรายแบบหล่อกลับมาของตัวอย่าง B (บาท) ต่อ 1 กรัมฝุ่นทราย
ให้ความร้อน (เตาอบ,เครื่องเขย่า)	0.0540	0.0185
ให้ความร้อน (ฟรีความร้อน),(เครื่องเขย่า)	0.0006	0.0006
ให้ความร้อนร่วมขัดสี (เตาอบ, เครื่องหมุนเหวี่ยง, เครื่องเขย่า)	0.0547	0.0192
ให้ความร้อนร่วมขัดสี (ฟรีความร้อน), (เครื่องหมุนเหวี่ยง, เครื่องเขย่า)	0.0013	0.0013

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้นำของเสียฝุ่นทรายแบบหล่อที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบหล่อทรายในโรงงานผลิตลูกเหล็ก ซึ่งพบว่าในของเสียฝุ่นทรายแบบหล่อมีเบนโทไนต์ซึ่งเป็นวัสดุหลักคงค้างอยู่ จึงได้มีการศึกษานำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการทดลองที่ 1 การแยกเบื้องต้น เพื่อแยกนอนแอกทีฟเบนโทไนต์ออกไปก่อนด้วย ตะแกรงขนาด 325, 400, 500 เมช และเวลาต่างๆ พบว่ามีการปนเปื้อนของแอกทีฟเบนโทไนต์เป็น จำนวนร้อยละ 19 – 23 ของทั้งตัวอย่าง A และ B ผ่านตะแกรงลงมาพร้อมกับส่วนที่ไม่ต้องการ ซึ่งส่งผลกระทบต่อ การแยกแอกทีฟเบนโทไนต์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ จึงได้ตัดการทดลองที่ 1 ออกไป

2. การทดลองที่ 2 การให้ความร้อน พบว่าการทดลองนี้เหมาะสมกับตัวอย่าง A ที่สภาวะการทดลอง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที เพราะว่าทำให้ได้ร้อยละความบริสุทธิ์และ น้ำหนักของแอกทีฟเบนโทไนต์ผ่านตะแกรงลงมามากที่สุดอย่างเห็นได้ชัดจนเท่ากับร้อยละ 22.51 และ 13.40 กรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเกิดการแยกแอกทีฟเบนโทไนต์ที่เป็นอนุภาคเดี่ยวลงมาได้ รวมทั้งน้ำหนักฝุ่นทรายผ่านตะแกรงลงมามากที่สุดด้วยคือ 59.55 กรัม เพื่อนำกลับมาใช้เสริมกับ วัสดุเบนโทไนต์ในการผลิตแบบหล่อทรายใหม่ครั้งต่อไป

3. การทดลองที่ 3 การขัดสีร่วมกับความร้อน พบว่าการทดลองนี้เหมาะสมกับตัวอย่าง B ที่ สภาวะการทดลองการให้ความร้อนที่ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสใช้เวลา 30 นาที ร่วมกับการขัดสีดีที่สุดที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาทีใช้เวลา 5 นาที ทั้งนี้การแยกแอกทีฟเบนโทไนต์ได้ ปริมาณมากที่สุดเท่ากับ 1.60 กรัม พร้อมกับฝุ่นทรายที่ผ่านตะแกรงลงมาในปริมาณน้อยเท่ากับ 6.28 กรัม และมีร้อยละการนำกลับมาของแอกทีฟเบนโทไนต์เพิ่มขึ้นจากการทดลองที่ 2 ถึงร้อยละ 25 ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งถือว่าการให้ความร้อนร่วมกับความขัดสีมีผลที่ดีต่อตัวอย่าง B

4. สภาวะที่ดีที่สุดต่อการแยกแอกทีฟเบนโทไนต์ที่เหมาะสมการประยุกต์ใช้จริงคือ การให้ ความร้อน เพราะว่าถ้าการขัดสีร่วมกับความร้อนแก่ฝุ่นทรายแบบหล่อในปริมาณมากจะซับซ้อนกว่า กว่า การให้ความร้อนเพียงอย่างเดียว

5. นอกจากการแยกแอกทีฟเบนโทไนต์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ กลับพบว่าเกิดการคัดแยก อนุภาคฝุ่นทรายขนาดเล็กกับขนาดใหญ่อย่างชัดเจนมากกว่าร้อยละ 40 จากค่าร้อยละการนำกลับมา ของฝุ่นทรายแบบหล่อดังตารางที่ 5.1 ดังนั้นงานวิจัยนี้สามารถแยกอนุภาคขนาดเล็กจากขนาดใหญ่

ได้ดีกว่าการแยกอนุภาคแอกทีฟเบนโทไนด์ที่เกาะกับฝุ่นทรายและได้ร้อยละความบริสุทธิ์แอกทีฟเบนโทไนด์ตามที่ต้องการ (มากกว่าร้อยละ 20) ซึ่งสามารถนำฝุ่นทรายแบบหล่อไปใช้ได้เลย

ตารางที่ 5.1 ผลการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์และฝุ่นทรายของตัวอย่าง A และ B ที่ผ่านตะแกรงจากการทดลองที่ 4.1

สภาวะดีที่สุดของการให้ความร้อนอุณหภูมิจากการอบ (เวลาในการอบ)	ร้อยละความบริสุทธิ์เริ่มต้น	น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อผ่านตะแกรง (กรัม)	ร้อยละความบริสุทธิ์หลังการทดลอง	ร้อยละการนำกลับมาของแอกทีฟเบนโทไนด์	ร้อยละการนำกลับมาของฝุ่นทรายแบบหล่อ
ตัวอย่าง A 120(90)	13.8	61.55	22.51	69.70	42.74
ตัวอย่าง B 120(30)	16.9	58.66	26.34	63.48	40.74

6. จากสมมูลมวล พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 4.4 น้ำหนักฝุ่นทรายแบบหล่อที่ค้างตะแกรงและผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A และตัวอย่าง B รวมไม่เท่ากับค่าเริ่มต้น ลดลงจากเริ่มต้นประมาณร้อยละ 10 เนื่องจากฝุ่นทรายแบบหล่อติดที่ขอบตะแกรง ส่วนน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ของตัวอย่าง A เพิ่มขึ้นมากกว่าค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.1 กรัม และตัวอย่าง B เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 2.33 กรัม ทั้งนี้เกิดจากคุณสมบัติการขยายตัวของแอกทีฟเบนโทไนด์ ทำให้น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ที่ได้ไม่เท่ากับน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์เริ่มต้น

7. ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าที่ถูกที่สุดคือ การให้ความร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนที่สูญเสียภายในโรงงานมาเป็นทางเลือกในการแยกแอกทีฟเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ โดยคิดค่านวนค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อ 1 กรัมของแอกทีฟเบนโทไนด์ที่สามารถนำกลับคืนมาได้ของตัวอย่าง A, B มีค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.0065, 0.0058 บาท ตามลำดับ และค่าไฟฟ้าต่อน้ำหนักฝุ่นทราย 1 กรัม มีค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.0006, 0.0006 บาท ตามลำดับ และมีระยะคืนทุนเท่ากับ 4 เดือนของทั้ง 2 ตัวอย่าง

8. สามารถนำแอกทีฟเบนโทไนด์จากตัวอย่าง A กลับมาได้ 3.174 ตันต่อวัน จึงสามารถลดค่ากำจัดได้เท่ากับ 1,587 บาทต่อวัน และสามารถลดค่าจัดซื้อเบนโทไนด์บริสุทธิ์ไปเท่ากับ 22,218 บาทต่อวัน ส่วนตัวอย่าง B กลับมาได้ 3.541 ตันต่อวัน ลดค่ากำจัดเท่ากับ 1,770.5 บาทต่อวัน และสามารถลดค่าจัดซื้อเบนโทไนด์บริสุทธิ์ไปเท่ากับ 24,787 บาทต่อวัน

9. จากการตรวจสอบสมมติฐานของการให้ความร้อน การขัดสีร่วมกับความร้อน และการเปลี่ยนขนาดตะแกรงกับน้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์ในฝุ่นทรายที่ผ่านตะแกรงของตัวอย่าง A และตัวอย่าง B ได้ทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติโดยใช้ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่ามีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการแยกเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อพบว่า ความชื้นในอากาศมีผลกระทบต่อ การแยกเบนโทไนด์เป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากคุณสมบัติเบนโทไนด์ที่ดูดความชื้นได้เป็นอย่างดี ดีเยี่ยม งานวิจัยนี้จึงมีข้อเสนอ ดังนี้

- 1) ใช้ห้องปฏิบัติการที่มีระบบปิด ควบคุมความชื้นไม่ให้เกิน 50% ของความชื้นในบรรยากาศ หลีกเลี่ยงทำการทดลองในวันที่ฝนตก ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง
- 2) เพิ่มดัชนีชี้วัดในการทดสอบฝุ่นทรายแบบหล่อที่ผ่านตะแกรงคือ % Fine Particle , % Carbon ขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้
- 3) ตัวอย่าง A และ B ที่ผ่านตะแกรงสามารถนำไปเพิ่มความเข้มข้นสุดท้ายให้มากขึ้นได้ด้วยกรรมวิธีอื่นเช่น การแยกแบบใช้น้ำ

รายการอ้างอิง

- Auychaiwatt, P. (2003). Reuse of spent foundry sand as hydraulic barrier layer in landfill. (Master), Faculty of Science in Environmental Management (Inter-Department) Chulalongkorn University
- Briens C., Cruz N., and Berruti F. (2009). Green sand reclamation using a fluidized bed with an attrition nozzle. Resources, Conservation and Recycling, 54(1): 45-52.
- Cannon F. S., Wang Y., Komarneni S., and Voigt R. C. (2005). Mechanisms of advanced oxidation processing on bentonite consumption reduction in foundry Environmental Science & Technology, 39(19): 7712-7718.
- Cottet L., Almeida C. A. P., Naidek N., Viante M. F., Lopes M. C., and Debacher N. A. (2014). Adsorption characteristics of montmorillonite clay modified with iron oxide with respect to methylene blue in aqueous media. Applied Clay Science, 9525-31.
- Dugan, B., and Anderson, C. (2012). Recycling of bag-house dust from foundry sand. Research Journal of Engineering Sciences, 1(2): 15-25.
- Fiore S., and Zenetti M. C. (2007). Foundry waste reuse and recycling in concrete production. American Journal of Environmental Sciences, 3(3): 135-142.
- Gómez-Espina R., and Villar M. V. (2010). Geochemical and mineralogical changes in compacted MX-80 bentonite submitted to heat and water gradients. Applied Clay Science, 47(3-4): 400-408.
- Hamilton L. W., and Sammes N. M. (1999). Encapsulation of steel foundry bag house dusts in cement mortar. Cement and Concrete Research, 29(1): 55-61.
- Holzer L., Münch B., Rizzi M., Wepf R., Marschall P., and Graule T. (2010). 3D-microstructure analysis of hydrated bentonite with cryo-stabilized pore water. Applied Clay Science, 47(3-4): 330-342.
- Hong S., Wen C., He J., Gan F., and Ho Y. S. (2009). Adsorption thermodynamics of Methylene Blue onto bentonite. Journal of Hazardous Materials, 167(1-3): 630-633.

- Ittipon. (2011). Green sand Molding Management Ecotoxicology and Environmental Safety ((2011). Green sand Molding Management, [Online]. Available from: <http://www.sut.ac.th/engineering/Metal/ru/GREEN%2020SAND.pdf>). Suranaree University of Technology.
- John M. H. (1886). The blast furnace. Journal of the Franklin Institute 329.
- John Pichtel. (2014). *Waste Management Practices*. Boca Raton, Florida, United States: CRC Press.
- Kawatra K. S., and Ripke J. S. (2001). Developing and understanding the bentonite fiber bonding mechanism. Minerals Engineering, 14(6): 647-659.
- Kraus R. N., Naik T. R., Ramme B. W., and Kumar R. (2009). Use of foundry silica-dust in manufacturing economical self-consolidating concrete. Construction and Building Materials, 23(11): 3439-3442.
- Liu L. (2013). Prediction of swelling pressures of different types of bentonite in dilute solutions. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 434(0): 303-318.
- Lucarz M. (2007). The effect of mechanical reclamation on the wear of silica sand grains. METALURGIJA, 47(1): 43-45.
- Park C. L., Kim B. G., and Yu Y. (2012). The regeneration of waste foundry sand and residue stabilization using coal refuse. Journal of Hazardous Materials, 203–204(0): 176-182.
- Ram M., and Lal S. M. (2010). Systematic characterization of bentonitic clay and its industrial significance. Mineral Processing Technology 714-719.
- Randelović M. S., Purenović M. M., Matović B. Z., Zarubica A. R., Momčilović M. Z., and Purenović J. M. (2014). Structural, textural and adsorption characteristics of bentonite-based composite. Microporous and Mesoporous Materials, 195(0): 67-74.
- Salihoglu G., Pinarli V., Salihoglu K. N., and Karaca G. (2007). Properties of steel foundry electric arc furnace dust solidified/stabilized with Portland cement. Journal of Environmental Management, 85(1): 190-197.
- Scheffe H. (1958). Experiments with mixtures. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological) 344-360.

- Steele C. R., and Huff J. A. (2003). Process for recovering sand and bentonite clay used in a foundry. Foundry Advanced Clay Technologies7.
- Thunsiri, D. (2004). Utilization of foundry sand waste as heavy metal sorbent. (Master), Faculty of Science in Environmental Management (Inter-Department) Chulalongkorn University.
- Tyagi B., Chudasama C. D., and Jasra R. V. (2006). Determination of structural modification in acid activated montmorillonite clay by FT-IR spectroscopy. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 64(2): 273-278.
- Wendlandt F. R., Harrison J. W., and Vaughan J. D. (2007). Surface coatings on quartz grains in bentonites and their relevance to human health. Applied Geochemistry, 22(11): 2290-2306.
- Yener N., Biçer C., Önal M., and Sarıkaya Y. (2012). Simultaneous determination of cation exchange capacity and surface area of acid activated bentonite powders by methylene blue sorption. Applied Surface Science, 258(7): 2534-2539.
- Zanetti M. C., and Fiore S. (2002). Foundry processes: the recovery of green moulding sands for core operations. Resources, Conservation and Recycling, 38: 243-254.
- Zanetti M. C., and Fiore S. (2003). Foundry waste recycling in moulding operations and in the ceramic industry. Waste Management & Research, 21(3): 235-242.
- Zhirong L., Azhar U., and Zhanxue S. (2011). FT-IR and XRD analysis of natural Na-bentonite and Cu(II)-loaded Na-bentonite. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 79(5): 1013-1016.
- Zhou, X., Yang, J., Su, D., and Qu, G. (2009). The high-temperature resistant mechanism of α -starch composite binder for foundry. Journal of Materials Processing Technology, 209(14): 5394-5398.
- Zymankowska-Kumon S., Holtzer M., Olejnik E., and Bobrowski A. (2012). Influence of the changes of the structure of foundry bentonites on their binding properties. Materials Science, 18(1): 57-61.

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2551). อุตสาหกรรมรีดดิ้งเหล็ก, [ออนไลน์] (แหล่งที่มา: http://www2.diw.go.th/l_Standard/Web/pane_files/Industry24.asp#01). (12 กุมภาพันธ์ 2558).
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2558). ฐานข้อมูลแผนผังการไหลวัสดุเหลือใช้และกากของเสีย, [ออนไลน์] (แหล่งที่มา: <http://www.diw.go.th>). (7 พฤศจิกายน 2559).
- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2548). คู่มือการขออนุญาตนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วออกนอกบริเวณโรงงานตามกฎหมายโรงงาน: รหัสของชนิดและประเภทของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว, [ออนไลน์] (แหล่งที่มา: <http://www.diw.go.th/km/factory/pdf/คู่มือขออนุญาตนำกาก.pdf>). (12 มีนาคม 2558).
- กลุ่มงานสิ่งแวดล้อมกองพิสิิกส์และวิศวกรรม. (2554). โครงการการนำฝุ่นทรายดำมาใช้ประโยชน์ในการบำบัดกากตะกอนโครเมียม, [ออนไลน์] (แหล่งที่มา: <http://csic.diw.go.th/tccdiw/ref/research/T-.pdf>). (2 มกราคม 2558).
- กัลยา วานิชย์บัญชา. (2557). การวิเคราะห์สถิติ : สถิติสำหรับการบริหารและวิจัย. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เชิญขวัญ รุจทินกฤต. (2557). การหาส่วนผสมแบบหล่อทรายโดยใช้หลักการออกแบบการทดลองกรณีศึกษา: อุตสาหกรรมข้อต่อเหล็ก. (มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ธัญลักษณ์ แสงบูรณ. (2554). การปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของแร่ดินเบนโทไนต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมผ้า. (บัณฑิต), มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ธีระพงษ์ กระการดี. (2555). การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing), [ออนไลน์] (แหล่งที่มา: <http://www.stvc.ac.th/elearning/stat/csu8.html>). (12 มกราคม 2558).
- นิวัติ องค์กรักษ์. (2554). สมบัติทางเคมีของดิน, [ออนไลน์] (แหล่งที่มา: http://mis.agri.cmu.ac.th/course/course_lecture_download.asp?CourseNO&CID). (18 มกราคม 2558).
- นุชิต ศิริทองคำ. (2555). โครงการพัฒนาพื้นที่ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ(ระยะที่ 2 : ขยายผล) จังหวัดอุดรธานี, [ออนไลน์] (แหล่งที่มา: <http://www.dmr.go.th/download/article/article.pdf>). (18 มกราคม 2558).
- เบน นาเจริญ. (2554). การปรับปรุงและการประเมินผลเครื่อง Hammer Mill เพื่อลดขนาดของปุ๋ยหมักที่ได้จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส, [ออนไลน์] (แหล่งที่มา: https://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator/doc_upload.pdf). (16 มกราคม 2559).
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. (2540). การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว, [ออนไลน์] (แหล่งที่มา: <http://www2.diw.go.th/env/pdf/6.pdf>). (1 มกราคม 2558).

- พัฒนศักดิ์ ชุ่มตระกูล. (2558). นำร่องสู่"อุตสาหกรรมหล่อโลหะแสนล้าน", [ออนไลน์] (แหล่งที่มา: http://www.prachachat.net/news_detail.php?newsid.) (2 มกราคม 2558).
- พิเชษฐ์ อธิภาคย์. (2542). การหล่อแข็งภาคตะกอนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานถลุงแร่สังกะสีโดยใช้ปูนซีเมนต์และฝุ่นทรายดำประเภทของเสีย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2553). Evaporation / การระเหย, [ออนไลน์] (แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0306/evaporation.>) (13 มกราคม 2559).
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2554). Sieve analysis, [ออนไลน์] (แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/sieve-analysis.>) (13 มกราคม 2559).
- ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรามคำแหง. (2553). การสู่มตัวอย่าง, [ออนไลน์] (แหล่งที่มา: <http://tpn-everu.blogspot.com/2010/2007/2011.html>). (16 มีนาคม 2558).
- วารภรณ์ กิจชัยนุกูล. (2541). การศึกษาสมบัติทรายดำจากอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะเพื่อใช้เป็นวัสดุผสมกับปูนซีเมนต์ในการหล่อแข็ง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วริญญา ใจใส. (2556). การวิเคราะห์ส่วนคละของมวลรวมละเอียด(ทราย)และความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด, [ออนไลน์] (แหล่งที่มา: http://sungkomonline.com/file/Webboard_ans.php?webID=2511&pageID=2555&questionID=2106). (11 มกราคม 2559).
- วัชรพร วงศ์สมิง. (2550). การพัฒนาแบบจำลองการประมาณค่าใช้จ่ายในการพัฒนาซอฟต์แวร์ประยุกต์เชิงโครงสร้างประเภทการประมวลผลรายการกระทบยอดด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอยและการวิเคราะห์ปัจจัย. (มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2548). โรคปอดฝุ่นทรายหรือซิลิโคสิส, [ออนไลน์] (แหล่งที่มา: <http://www.goosiam.com/health/html/0008541.html#sthash.aLjTedfG.dpuf>). (14 มกราคม 2558).
- สมประสงค์ เสนารัตน์. (2553). การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (เสนารัตน์ (2553).การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ, [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://netra.lpru.ac.th/~phaitoon/assumption&proof/original_MRA_by_R.pdf). (3 มกราคม 2559).
- สรินทร ลีนปนาทธ. (2544). ดินเบนโทไนต์, [ออนไลน์] (แหล่งที่มา: <http://www.material.chula.ac.th/RADIO45/June/radio46-42.htm>). (22 กันยายน 2559).

- สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (2019). ปฏิบัติการที่ 2 การทดสอบ ปริมาณ Active clay และการศึกษาบทบาทของดินเหนียวต่อสมบัติของทรายแบบ, [ออนไลน์] (แหล่งที่มา: <https://www.google.co.th/search.caly>). (12 มกราคม 2558).
- สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (2520). ปฏิบัติการที่ 6 การเตรียมแบบหล่อทรายและการหล่อโลหะผสมอะลูมิเนียม, [ออนไลน์] (แหล่งที่มา: <http://eng.sut.ac.th/metal/images/stories/pdf/%20Foundry%20Laboratory%206%220Sand%220molding%220and%220aluminium%220casting.pdf>). 12 มกราคม 2558).
- สุชาติ ชินะจิตร. (2549). ฟูนถ่านหิน, [ออนไลน์] (แหล่งที่มา: <http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=1&ID=87>). (13 มีนาคม 2558).
- สุวิมล อัครพิศิษฐ์. (2544). การหล่อแข็งจากตะกอนโลหะหนักโดยการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และฟูนจากการหลอมเหล็กกล้า. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เสริมศักดิ์ เวียงวิเศษ. (2554). การปรับปรุงสมบัติแบบหล่อทรายในอุตสาหกรรมเหล็กหล่อโดยใช้การทดลองแบบส่วนผสม. (มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- อรสา จรุงธรรม. (2555). สถิติขั้นสูงและการวิเคราะห์ข้อมูล, [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://edu.vru.ac.th/website/download/ResearchProject/2559ewt_dl.pdf. (3 มกราคม 2559).
- อาจหาญ ณ นรงค์. (2552). การวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับวัสดุ (ตอนที่ 2), [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=9743§ion=2559&rcount=Y>. (3 มกราคม 2559).



ภาคผนวก

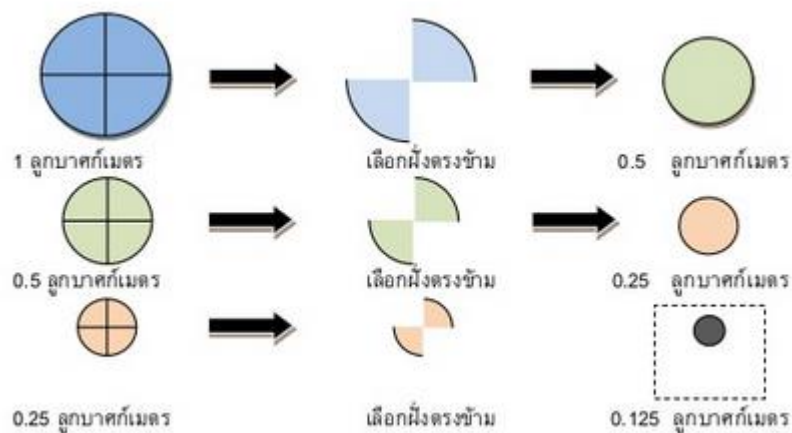
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
วิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นทรายแบบหล่อ

วิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นทรายแบบหล่อแบบสุ่ม (Quartering Method) (ภาควิชาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2553)

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. การเก็บตัวอย่างขยะกระทำโดย สุ่มตัวอย่างจากถังกองเก็บฝุ่นทรายแบบหล่อ เก็บประมาณ 1-2 ลูกบาศก์เมตร
2. นำฝุ่นทรายแบบหล่อที่ได้ มาเทกองรวมกันบนพื้นที่ ที่เตรียมไว้ ทำการคลุกเคล้าให้องค์ประกอบต่างๆ กระจายกันอย่างทั่วถึง กองฝุ่นทรายแบบหล่อในลักษณะสมมาตรรูปกรวย
3. แบ่งฝุ่นทรายแบบหล่อออกเป็น 4 ส่วน (Quartering) เลือก 2 ส่วนที่กองอยู่ตรงกันข้ามมารวมกัน ส่วนที่เหลือแยกทิ้งไป แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้งดังรูป
4. ทำ Quartering ไปเรื่อยๆ จนได้กระทั่งได้ตัวอย่างฝุ่นทรายแบบหล่อปริมาณที่ความเหมาะสม











ภาพที่ ก.1 รูปลำดับขั้นตอนการ Quartering
(ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2553)

ภาคผนวก ข

ขนาดตะแกรงตามมาตรฐานสากล ISO 3310

UK BS 410-1 Germany DIN ISO 3310-1
 France NF ISO 3310-1 Japan JIS Z 8801-1

International Comparison Table for Test Sieves						Table 2 – 900-5 µm				
ISO 565 ISO 3310 Table 2, Sizes in micrometer			DE	FR	GB	NL	USA	CAN	Tyler®	
										
Principal sizes	Supplementary sizes		DIN ISO 3310	AFNOR NF ISO 3310	BS 410 ISO 3310	NEN 2560	ASTM E 11 # ASTM E 323 ■ ●	CAN/ CGSB-8.2- M88 metric	TYLER Screen Scale	
	R 20/3 w	R 20 w	R 40/3 w					No.	Mesh	
	900		900	900	900	900		900		
		850	850	850	850	850	850	20	20	
	800		800	800	800	800		800		
710	710	710	710	710	710	710	710	25	24	
	630		630	630	630	630		630		
		600	600	600	600	600	600	30	28	
	560		560	560	560	560		560		
500	500	500	500	500	500	500	500	35	32	
	450		450	450	450	450		450		
		425	425	425	425	425	425	40	35	
	400		400	400	400	400		400		
355	355	355	355	355	355	355	355	45	42	
	315		315	315	315	315		315		
		300	300	300	300	300	300	50	48	
	280		280	280	280	280		280		
250	250	250	250	250	250	250	250	60	60	
	224		224	224	224	224		224		
		212	212	212	212	212	212	70	65	
	200		200	200	200	200		200		
180	180	180	180	180	180	180	180	80	80	
	160		160	160	160	160		160		
		150	150	150	150	150	150	100	100	
	140		140	140	140	140		140		
125	125	125	125	125	125	125	125	120	115	
	112		112	112	112	112		112		
		106	106	106	106	106	106	140	150	
	100		100	100	100	100		100		
90	90	90	90	90	90	90	90	170	170	
	80		80	80	80	80		80		
		75	75	75	75	75	75	200	200	
	71		71	71	71	71		71		
63	63	63	63	63	63	63	63	230	250	
	56		56	56	56	56		56		
		53	53	53	53	53	53	270	270	
	50		50	50	50	50		50		
45	45	45	45	45	45	45	45	325	325	
	40		40	40	40	40		40		
		38	38	38	38	38	38	400	400	
R' 10	36		36	36	36	36		36		
32			32	32	32	32	32	450	450	
25			25	25	25	25	25	500	500	
20			20	20	20	20	20	635	635	
16 (e)			16 (e)	16 (e)		16 (e)	15 (e)			
10 (e)			10 (e)	10 (e)		10 (e)	10 (e)			
5 (e)			5 (e)	5 (e)		5 (e)	5 (e)			
ISO 3310-1	wire-cloth #		900-20	900-20	900-20	900-20	850-20	850-20	900-32	850-20
ISO 3310-3	Electroformed (e)		500-5	500-5		500-5	500-5			

ภาพที่ ข.1 ขนาดตะแกรงตามมาตรฐานสากล ISO 3310

ภาคผนวก ค

วิธีวิเคราะห์ Methylene Blue Procedure ASTM C 837-99

การหาพื้นที่ผิวของอนุภาคเบนโทไนด์โดยวิธีทดสอบแบบ Methylene Blue Index (MBI) (วาราลิ บางหลวง, 2556)

ทดสอบโดยใช้วิธี Methylene blue index (MBI) ซึ่งพื้นที่ผิวของเบนโทไนด์จะส่งผลต่อสมบัติความเหนียวการกระจายตัวของเบนโทไนด์ ค่า MBI คือค่าที่บอกว่าวัตถุบั้นนั้นสามารถดูดซับเมทิลีนบลู ได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งเป็นผลมาจากความละเอียดของวัตถุบั้น หรือพื้นที่ผิวของวัตถุบั้นนั้น การทดสอบหาพื้นที่ผิว (MBI) มีขั้นตอนดังนี้

วิธีการทดสอบหาค่า MBI

1. ชั่งเบนโทไนด์ 2 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร ตัวอย่างละ 1 บีกเกอร์
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 300 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ แล้วปั่นด้วยเครื่องปั่นแบบใช้แกนแม่เหล็กหมุน จนกระทั่งเบนโทไนด์เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ
3. วัดค่าพีเอชของน้ำเบนโทไนด์ แล้วเติมกรดซัลฟูริก (ความเข้มข้น 0.1นอร์มอล) ลงไปเพื่อปรับค่าพีเอช ให้อยู่ระหว่าง 2.5 ถึง 3.8 ในขณะที่เติมกรดซัลฟูริกลงไปให้ปั่นน้ำเบนโทไนด์ไปด้วย เมื่อปรับค่าพีเอชได้แล้วให้ปั่นน้ำเบนโทไนด์ต่ออีก 10 ถึง 15 นาทีจากนั้นให้วัดค่าพีเอช อีกครั้งให้แน่ใจว่าอยู่ในช่วงที่ต้องการ ถ้ายังไม่ได้ให้เติมกรดซัลฟูริกลงไปอีกแล้ววัดค่าพีเอช จนกว่าจะได้ตามต้องการ
4. ขณะที่น้ำเบนโทไนด์ยังมีเครื่องปั่นจุ่มอยู่ หยดเมทิลีนบลู (ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร) ที่บรรจุในบิวเรต ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในน้ำเบนโทไนด์แล้วปั่นเป็นเวลา 1 ถึง 2 นาที
5. ใช้ดรอปเปอร์ (dropper) ตูบน้ำเบนโทไนด์ หยดลงบนกระดาษกรอง สังเกตดูการเปลี่ยนแปลงของหยดน้ำเบนโทไนด์บนกระดาษกรองว่าเกิดจุดสิ้นสุด (end point) หรือยัง (จุดสิ้นสุดสังเกตได้ โดยการเกิดรัศมีสีฟ้าอ่อนๆ รอบหยดน้ำเบนโทไนด์) หากยังไม่ถึงจุดสิ้นสุดให้หยดสารละลายเมทิลีนบลู เพิ่มลงไปอีกครั้งละ 1 มิลลิลิตร แล้วปั่นเป็นเวลา 1 ถึง 2 นาที จนปรากฏรัศมีสีฟ้าอ่อนๆ (blue halo) ชัดเจนเรียกว่า รัศมีสีฟ้าอ่อนๆที่ดี (Good halo) แต่หากเห็นเป็นวงกว้างมากขึ้น จนอยู่ในลักษณะที่เรียกว่ารัศมีสีฟ้าอ่อนๆที่มากเกินไป (Over halo) จึงหยุดเติมและบันทึกค่าปริมาตรของเมทิลีนบลู (หน่วยมิลลิเมตร) ที่ทำให้เกิดลักษณะ Good blue halo ที่ชัดเจนที่สุดไว้
6. หลังจากถึงจุดสิ้นสุดแล้ว ให้ปั่นน้ำเบนโทไนด์ต่อเป็นเวลา 2 นาที แล้วทำการทดสอบซ้ำอีกครั้ง

การคำนวณ

1. คำนวณค่า Methylene Blue Index (MBI) จากสูตร

$$MBI = \frac{E \times V}{W} \times 100$$

MBI = ค่า Methylene Blue Index สำหรับเบนโทไนต์ มีหน่วยเป็น meq/100 กรัมของดิน

E = ปริมาณ milliequivalents ของ Methylene Blue ต่อมิลลิลิตร

V = ปริมาตรของสารละลาย Methylene Blue ที่ใช้ในการไตเตรท หน่วยเป็นมิลลิลิตร

W = น้ำหนักแห้งของดินที่ใช้หน่วยเป็นกรัม

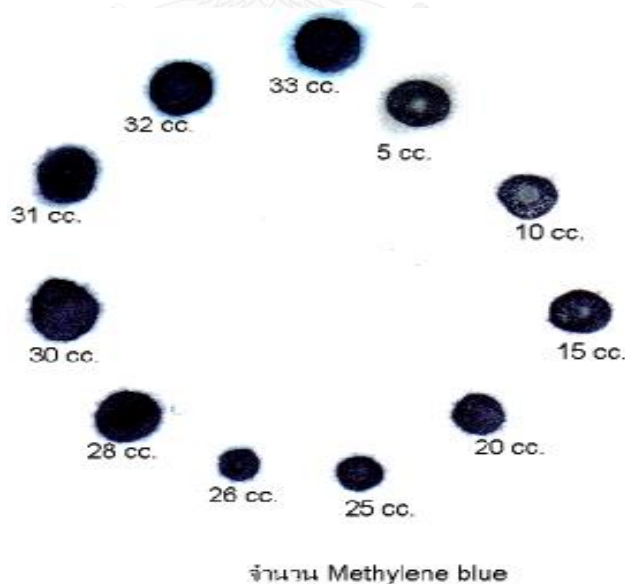
2. ตัวอย่างการคำนวณ

กำหนดให้ W = ปริมาณเบนโทไนต์ที่ใช้ คือ 2.00 กรัม

E = milliequivalents ของ Methylene Blue ที่ใช้ในการไตเตรทมีค่า 0.01

V = ปริมาณสารละลาย Methylene Blue ที่ใช้ในการไตเตรทเท่ากับ 33 มิลลิลิตร

$$MBI \text{ ของเบนโทไนต์} = \frac{0.01 \times 33}{2} \times 100 = 16.50 \text{ meq/100 กรัมของดิน}$$



ภาพที่ ค.1 รัศมีสีฟ้าอ่อนๆที่ดี (Good halo)

การทดสอบหาร้อยละ Active Bentonite (สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2520)

เริ่มต้นด้วยขั้นตอนที่ 1 คือ การสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ตามด้วย ขั้นตอน ที่ 2 คือ การหาปริมาณร้อยละ Active Bentonite ในทรายแบบหล่อ

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ทำการเตรียมส่วนผสมที่มีเบนโทไนต์บริสุทธิ์กับทรายแก้วรวมกันเท่ากับ 2 กรัม โดยเริ่มจากความเข้มข้นเบนโทไนต์บริสุทธิ์ที่มีส่วนประกอบแรมอนต์โมริลโรไนต์ที่ร้อยละ 0, 17.5, 35, 52.5 และ 70 โดยทำการชั่งเบนโทไนต์บริสุทธิ์ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสแล้ว จำนวน 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 กรัม และชั่งทรายแก้วที่มีค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness number) = 60-90 และผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °ซ แล้ว จำนวน 2, 1.5, 1, 0.5 และ 0 กรัม ตามลำดับ ทำการผสมทรายแก้วกับเบนโทไนต์ในบีกเกอร์

2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 300 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ แล้วปั่นด้วยเครื่องปั่นแบบใช้แกนแม่เหล็กหมุน จนกระทั่งเบนโทไนต์เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

3. วัดค่าพีเอชของน้ำเบนโทไนต์ แล้วเติมกรดซัลฟูริก (ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล) ลงไปเพื่อปรับค่าพีเอช ให้อยู่ระหว่าง 2.5 ถึง 3.8 ในขณะที่เติมกรดซัลฟูริกลงไปให้ปั่นน้ำเบนโทไนต์ไปด้วย เมื่อปรับค่าพีเอชได้แล้วให้ปั่นน้ำเบนโทไนต์ต่ออีก 10 ถึง 15 นาทีจากนั้นให้วัดค่าพีเอช อีกครั้งให้แน่ใจว่าอยู่ในช่วงที่ต้องการ ถ้ายังไม่ได้ให้เติมกรดซัลฟูริกลงไปอีกแล้ววัดค่าพีเอช จนกว่าจะได้ตามต้องการ

4. ขณะที่น้ำเบนโทไนต์ยังมีเครื่องปั่นจุ่มอยู่ หยดเมทิลีนบลู (ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร) ที่บรรจุในบิวเรต ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในน้ำเบนโทไนต์แล้วปั่นเป็นเวลา 1 ถึง 2 นาที

5. ใช้ดรอปเปอร์ (dropper) ดูดน้ำเบนโทไนต์ หยดลงบนกระดาษกรอง สังเกตดูการเปลี่ยนแปลงของหยดน้ำเบนโทไนต์บนกระดาษกรองว่าเกิดจุดสิ้นสุด (end point) หรือยัง (จุดสิ้นสุดสังเกตได้ โดยการเกิดรัศมีสีฟ้าอ่อนๆ รอบหยดน้ำเบนโทไนต์) หากยังไม่ถึงจุดสิ้นสุดให้หยดสารละลายเมทิลีนบลู เพิ่มลงไปอีกครั้งละ 1 มิลลิลิตร แล้วปั่นเป็นเวลา 1 ถึง 2 นาที จนปรากฏรัศมีสีฟ้าอ่อนๆ (blue halo) ชัดเจนเรียกว่า รัศมีสีฟ้าอ่อนๆ ที่ดี (Good halo) แต่หากเห็นเป็นวงกว้างมากขึ้น จนอยู่ในลักษณะที่เรียกว่ารัศมีสีฟ้าอ่อนๆ ที่มากเกินไป (Over halo) จึงหยุดเติมและบันทึกค่าปริมาตรของเมทิลีนบลู (หน่วยมิลลิเมตร) ที่ทำให้เกิดลักษณะ Good blue halo ที่ชัดเจนที่สุดไว้

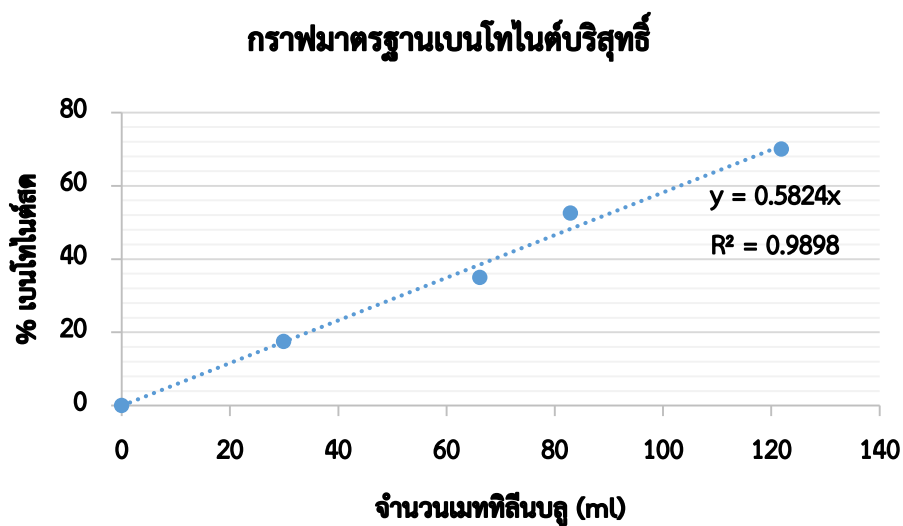
6. หลังจากถึงจุดสิ้นสุดแล้ว ให้ปั่นน้ำเบนโทไนต์ต่อเป็นเวลา 2 นาที แล้วทำการทดสอบซ้ำอีกครั้ง

7. บันทึกปริมาณเมทิลีนบลู ที่ทำให้เกิด Blue halo ชัดเจน และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ เมทิลีนบลูที่ทำให้เกิด Blue halo ชัดเจน ในการทดสอบส่วนผสมที่มีเบนโทไนด์บริสุทธิ์มีส่วนประกอบแอมอนต์โมริลโรไนด์ที่ร้อยละ 0, 17.5, 35, 52.5 และ 70 ตามลำดับ จะได้กราฟมาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 2 คือ การหาปริมาณร้อยละ Active Bentonite ในตัวอย่างฝุ่นทรายแบบหล่อ

1. ชั่งตัวอย่างฝุ่นทรายแบบหล่อมา 2 กรัม ใส่ในปิ๊กเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร ตัวอย่างละ 1 ปิ๊กเกอร์
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 300 มิลลิลิตรลงในปิ๊กเกอร์ แล้วปั่นด้วยเครื่องปั่นแบบใช้แกนแม่เหล็กหมุน จนกระทั่งเบนโทไนด์เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ
3. วัดค่าพีเอชของน้ำเบนโทไนด์ แล้วเติมกรดซัลฟูริก (ความเข้มข้น 0.1นอร์มอล) ลงไปเพื่อปรับค่าพีเอช ให้อยู่ระหว่าง 2.5 ถึง 3.8 ในขณะที่เติมกรดซัลฟูริกลงไปให้ปั่นน้ำเบนโทไนด์ไปด้วย เมื่อปรับค่าพีเอชได้แล้วให้ปั่นน้ำเบนโทไนด์ต่ออีก 10 ถึง 15 นาทีจากนั้นให้วัดค่าพีเอช อีกครั้งให้แน่ใจว่าอยู่ในช่วงที่ต้องการ ถ้ายังไม่ได้ให้เติมกรดซัลฟูริกลงไปอีกแล้ววัดค่าพีเอช จนกว่าจะได้ตามต้องการ
4. ขณะที่น้ำเบนโทไนด์ยังมีเครื่องปั่นจุ่มอยู่ หยดเมทิลีนบลู (ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร) ที่บรรจุในบิวเรต ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในน้ำเบนโทไนด์แล้วปั่นเป็นเวลา 1 ถึง 2 นาที
5. ใช้ดรอปเปอร์ (dropper) ดูดน้ำเบนโทไนด์ หยดลงบนกระดาษกรอง สังเกตดูการเปลี่ยนแปลงของหยดน้ำเบนโทไนด์บนกระดาษกรองว่าเกิดจุดสิ้นสุด (end point) หรือยัง (จุดสิ้นสุดสังเกตได้ โดยการเกิดรัศมีสีฟ้าอ่อนๆ รอบหยดน้ำเบนโทไนด์) หากยังไม่ถึงจุดสิ้นสุดให้หยดสารละลายเมทิลีนบลู เพิ่มลงไปอีกครั้งละ 1 มิลลิลิตร แล้วปั่นเป็นเวลา 1 ถึง 2 นาที จนปรากฏรัศมีสีฟ้าอ่อนๆ (blue halo) ชัดเจนเรียกว่า รัศมีสีฟ้าอ่อนๆที่ดี (Good halo) แต่หากเห็นเป็นวงกว้างมากขึ้น จนอยู่ในลักษณะที่เรียกว่ารัศมีสีฟ้าอ่อนๆที่มากเกินไป (Over halo) จึงหยุดเติมและบันทึกค่าปริมาตรของเมทิลีนบลู (หน่วยมิลลิเมตร) ที่ทำให้เกิดลักษณะ Good blue halo ที่ชัดเจนที่สุดไว้
6. หลังจากถึงจุดสิ้นสุดแล้ว ให้ปั่นน้ำเบนโทไนด์ต่อเป็นเวลา 2 นาที แล้วทำการทดสอบซ้ำอีกครั้ง
7. นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละเบนโทไนด์จากกราฟมาตรฐาน

การคำนวณหาร้อยละ Active Bentonite จากกราฟมาตรฐาน



ภาพที่ ค.2 กราฟมาตรฐานของเบนโทไนต์บริสุทธิ์สำหรับวิเคราะห์เบนโทไนต์ที่ใช้งานได้

การคำนวณหาค่าร้อยละและน้ำหนัก Active Bentonite (Purity) ที่ผ่านตะแกรงลงมา

$$\text{น้ำหนัก Active Bentonite} = 0.5824 \times \text{MB (ml)} \times \frac{2 \text{ g}}{100} \times \frac{\text{น้ำหนักผ่านตะแกรง}}{2 \text{ g}}$$

$$\text{ร้อยละ Active Bentonite} = \frac{\text{น้ำหนัก Active Bentonite}}{\text{น้ำหนักผ่านตะแกรง}} \times 100$$

น้ำหนัก Non Active Bentonite

$$= (100 - (0.5824 \times \text{MB (ml)})) \times \frac{2 \text{ g}}{100} \times \frac{\text{น้ำหนักผ่านตะแกรง}}{2 \text{ g}}$$

$$\text{ร้อยละ Non Active Bentonite} = \frac{\text{น้ำหนัก Non Active Bentonite}}{\text{น้ำหนักผ่านตะแกรง}} \times 100$$

0.5824 คือ ความชันของกราฟมาตรฐาน

MB (ml)	คือ ปริมาตรเมทิลีนบลูที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง
2 g	คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ไตเตรท

การคำนวณหาค่าร้อยละการนำกลับคืนมาใช้ใหม่ (Recovery)

1. Active Bentonite ที่ผ่านตะแกรง

$$\text{ร้อยละ Recovery} = \frac{\text{น้ำหนัก Active Bentonite ที่ผ่านตะแกรง}}{\text{น้ำหนัก Active Bentonite เริ่มต้น}} \times 100$$

2. น้ำหนักฝุ่นทรายที่ผ่านตะแกรง

$$\text{ร้อยละ Recovery} = \frac{\text{น้ำหนักฝุ่นทรายที่ผ่านตะแกรง}}{\text{น้ำหนักฝุ่นทรายเริ่มต้น}} \times 100$$

หมายเหตุ น้ำหนักฝุ่นทรายเริ่มต้นการทดลองที่ 2 = 144 กรัม
 น้ำหนักฝุ่นทรายเริ่มต้นการทดลองที่ 3 = 16 กรัม

ภาคผนวก ง
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองที่ 1 ตัวอย่าง A น้ำหนักค้ำตะแกรง

สภาพ ขนาดตะแกรง (เวลา)	น้ำหนักค้ำ ตะแกรง ครั้งที่ 1	น้ำหนักค้ำ ตะแกรง ครั้งที่ 2	น้ำหนักค้ำ ตะแกรง ครั้งที่ 3	น้ำหนักค้ำ ตะแกรงเฉลี่ย	ร้อยละ น้ำหนักค้ำ ตะแกรง	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
325(5)	134.74	135.49	136.25	135.49	94.09	0.62
325(15)	120.12	118.63	120.21	119.65	83.09	0.72
325(30)	116.10	116.02	114.89	115.67	80.33	0.55
400(5)	138.33	136.21	136.50	137.02	95.15	0.94
400(15)	122.37	122.16	121.90	122.14	84.82	0.19
400(30)	123.56	123.58	124.72	123.95	86.08	0.54
500(5)	139.76	140.32	140.32	140.13	97.32	0.26
500(15)	132.43	131.84	134.56	132.94	92.32	1.17
500(30)	133.31	132.40	135.18	133.63	92.80	1.16

ตารางที่ ง.2 ผลการทดลองที่ 1 ตัวอย่าง A น้ำหนักผ่านตะแกรง

สภาพ ขนาดตะแกรง (เวลา)	น้ำหนัก ผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 1	น้ำหนัก ผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 2	น้ำหนัก ผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 3	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง เฉลี่ย	ร้อยละ น้ำหนักผ่าน ตะแกรง	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
325(5)	7.62	8.34	9.57	8.51	5.91	0.81
325(15)	23.76	26.42	22.88	24.35	16.91	1.50
325(30)	28.37	26.78	29.83	28.33	19.67	1.25
400(5)	6.81	6.46	7.65	6.98	4.85	0.50
400(15)	21.43	22.06	22.09	21.86	15.18	0.30
400(30)	20.22	20.66	19.27	20.05	13.92	0.58
500(5)	2.88	3.19	5.56	3.87	2.68	1.20
500(15)	10.81	11.60	10.76	11.06	7.68	0.38
500(30)	10.14	10.78	10.18	10.37	7.20	0.29

ตารางที่ ง.3 ผลการทดลองที่ 1 ตัวอย่าง A % Non Active Bentonite

สภาพ ขนาด ตะแกรง (เวลา)	% Non Active Bentonite ครั้งที่ 1	% Non Active Bentonite ครั้งที่ 2	% Non Active Bentonite ครั้งที่ 3	% Non Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
325(5)	79.81	78.32	78.41	78.85	0.68
325(15)	76.90	76.67	76.8	76.79	0.09
325(30)	77.83	77.19	77.09	77.37	0.33
400(5)	78.64	78.16	78.31	78.37	0.20
400(15)	76.93	76.67	76.94	76.85	0.12
400(30)	79.69	79.91	80.1	79.90	0.17
500(5)	78.78	78.04	78.04	78.29	0.35
500(15)	76.87	76.67	76.47	76.67	0.16
500(30)	78.07	77.62	77.77	77.82	0.19

ตารางที่ ง.4 ผลการทดลองที่ 1 ตัวอย่าง A น้ำหนัก Non Active Bentonite

สภาพ ขนาดตะแกรง (เวลา)	น้ำหนัก Non Active Bentonite ครั้งที่ 1	น้ำหนัก Non Active Bentonite ครั้งที่ 2	น้ำหนัก Non Active Bentonite ครั้งที่ 3	น้ำหนัก Non Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
325(5)	6.10	6.53	7.50	6.71	0.59
325(15)	18.27	20.25	17.57	18.70	1.13
325(30)	22.09	20.67	23.00	21.92	0.96
400(5)	5.36	5.05	5.99	5.47	0.39
400(15)	16.50	16.91	17.00	16.80	0.22
400(30)	16.10	16.51	15.43	16.02	0.45
500(5)	2.26	2.48	4.34	3.03	0.93
500(15)	8.32	8.89	8.23	8.48	0.29
500(30)	7.94	8.36	7.92	8.07	0.20

ตารางที่ ง.5 ผลการทดลองที่ 1 ตัวอย่าง A % Active Bentonite

สภาพ ขนาดตะแกรง (เวลา)	% Active Bentonite ครั้งที่ 1	% Active Bentonite ครั้งที่ 2	% Active Bentonite ครั้งที่ 3	% Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
325(5)	20.19	21.68	21.59	21.15	0.68
325(15)	23.10	23.3	23.2	23.20	0.08
325(30)	22.17	22.81	22.91	22.63	0.33
400(5)	21.36	21.84	21.69	21.63	0.20
400(15)	23.07	23.33	23.06	23.15	0.12
400(30)	20.31	20.09	19.9	20.10	0.17
500(5)	21.22	21.96	21.96	21.71	0.35
500(15)	23.13	23.33	23.53	23.33	0.16
500(30)	21.93	22.38	22.23	22.18	0.19

ตารางที่ ง.6 ผลการทดลองที่ 1 ตัวอย่าง A น้ำหนัก Active Bentonite

สภาพ ขนาดตะแกรง (เวลา)	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 1	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 2	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 3	น้ำหนัก Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
325(5)	1.54	1.81	2.07	1.80	0.22
325(15)	5.49	5.81	5.65	5.65	0.13
325(30)	6.46	6.16	6.60	6.41	0.18
400(5)	1.45	1.41	1.66	1.51	0.11
400(15)	4.93	5.15	5.10	5.06	0.09
400(30)	4.12	4.12	3.83	4.03	0.14
500(5)	0.61	0.70	1.22	0.84	0.27
500(15)	2.49	2.71	2.53	2.58	0.10
500(30)	2.23	2.41	2.26	2.30	0.08

ตารางที่ ง.7 ผลการทดลองที่ 1 ตัวอย่าง B น้ำหนักค้างตะแกรง

สภาพ ขนาด ตะแกรง (เวลา)	น้ำหนักค้าง ตะแกรง ครั้งที่ 1	น้ำหนักค้าง ตะแกรง ครั้งที่ 2	น้ำหนักค้าง ตะแกรง ครั้งที่ 3	น้ำหนักค้าง ตะแกรงเฉลี่ย	ร้อยละ น้ำหนักค้าง ตะแกรง	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
325(5)	133.85	131.55	132.45	132.62	92.10	0.95
325(15)	125.81	123.35	124.75	124.64	86.55	1.01
325(30)	118.05	115.82	117.82	117.23	81.41	1.00
400(5)	136.37	135.48	136.48	136.11	94.52	0.45
400(15)	134.28	131.51	133.51	133.10	92.43	1.17
400(30)	122.04	121.83	126.56	123.47	85.74	2.18
500(5)	137.19	137.19	143.08	139.15	96.63	2.78
500(15)	137.74	135.82	136.08	136.55	94.82	0.85
500(30)	130.74	130.46	131.41	130.87	90.88	0.40

ตารางที่ ง.8 ผลการทดลองที่ 1 ตัวอย่าง B น้ำหนักผ่านตะแกรง

สภาพ ขนาด ตะแกรง (เวลา)	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 1	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 2	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 3	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง เฉลี่ย	ร้อยละ น้ำหนักผ่าน ตะแกรง	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
325(5)	9.55	11.25	13.34	11.38	7.90	1.55
325(15)	17.52	20.28	20.28	19.36	13.45	1.30
325(30)	25.16	27.58	27.58	26.77	18.59	1.14
400(5)	7.36	8.16	8.16	7.89	5.48	0.38
400(15)	9.09	11.80	11.80	10.90	7.57	1.28
400(30)	20.62	21.49	19.49	20.53	14.26	0.82
500(5)	5.19	5.19	4.17	4.85	3.37	0.48
500(15)	7.97	5.97	8.42	7.45	5.18	1.06
500(30)	14.83	11.83	12.72	13.13	9.12	1.26

ตารางที่ ง.9 ผลการทดลองที่ 1 ตัวอย่าง B % Non Active Bentonite

สภาพ ขนาดตะแกรง (เวลา)	% Non Active Bentonite ครั้งที่ 1	% Non Active Bentonite ครั้งที่ 2	% Non Active Bentonite ครั้งที่ 3	% Non Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
325(5)	81.00	79.25	81.22	80.49	0.88
325(15)	79.93	78.99	80.33	79.75	0.56
325(30)	78.98	77.85	79.97	78.93	0.87
400(5)	80.44	79.35	78.22	79.34	0.91
400(15)	77.67	78.35	78.18	78.07	0.29
400(30)	77.49	78.24	77.95	77.89	0.31
500(5)	78.47	79.53	79.53	79.18	0.50
500(15)	77.77	77.5	78.28	77.85	0.32
500(30)	78.83	76.1	77.90	77.61	1.13

ตารางที่ ง.10 ผลการทดลองที่ 1 ตัวอย่าง B น้ำหนัก Non Active Bentonite

สภาพ ขนาดตะแกรง (เวลา)	น้ำหนัก Non Active Bentonite ครั้งที่ 1	น้ำหนัก Non Active Bentonite ครั้งที่ 2	น้ำหนัก Non Active Bentonite ครั้งที่ 3	น้ำหนัก Non Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
325(5)	7.73	8.91	10.84	9.16	1.28
325(15)	14.00	16.02	16.30	15.44	1.02
325(30)	19.87	21.47	22.06	21.13	0.93
400(5)	6.17	6.23	6.38	6.26	0.09
400(15)	7.28	9.01	9.23	8.51	0.87
400(30)	15.97	16.39	15.59	15.99	0.33
500(5)	4.07	4.13	3.32	3.84	0.37
500(15)	6.19	4.61	6.59	5.80	0.85
500(30)	10.69	9.65	10.22	10.19	0.43

ตารางที่ ง.11 ผลการทดลองที่ 1 ตัวอย่าง B % Active Bentonite

สภาพ ขนาดตะแกรง (เวลา)	% Active Bentonite ครั้งที่ 1	% Active Bentonite ครั้งที่ 2	% Active Bentonite ครั้งที่ 3	% Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
325(5)	19	20.75	18.78	19.51	0.88
325(15)	20.07	21.01	19.67	20.25	0.56
325(30)	21.02	22.15	20.03	21.07	0.87
400(5)	19.56	20.65	21.78	20.66	0.91
400(15)	22.33	21.65	21.82	21.93	0.29
400(30)	22.51	21.76	22.05	22.11	0.31
500(5)	21.53	20.47	20.47	20.82	0.50
500(15)	22.23	22.5	21.72	22.15	0.32
500(30)	21.17	23.9	22.1	22.39	1.13

ตารางที่ ง.12 ผลการทดลองที่ 1 ตัวอย่าง B น้ำหนัก Active Bentonite

สภาพ ขนาดตะแกรง (เวลา)	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 1	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 2	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 3	น้ำหนัก Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
325(5)	1.82	2.33	2.50	2.22	0.29
325(15)	3.52	4.26	3.99	3.92	0.31
325(30)	5.29	6.11	5.51	5.64	0.35
400(5)	1.44	1.73	1.73	1.63	0.14
400(15)	2.53	2.29	2.36	2.39	0.10
400(30)	4.64	4.57	4.42	4.54	0.09
500(5)	1.12	1.01	0.90	1.01	0.09
500(15)	1.77	1.37	1.82	1.65	0.20
500(30)	3.14	2.68	3.00	2.94	0.19

ตารางที่ ง.13 ผลการทดลองที่ 2 ตัวอย่าง A น้ำหนักค้ำตะแกรง

สภาพ อุณหภูมิ (เวลา)	น้ำหนักค้ำ ตะแกรง ครั้งที่ 1	น้ำหนักค้ำ ตะแกรง ครั้งที่ 2	น้ำหนักค้ำ ตะแกรง ครั้งที่ 3	น้ำหนักค้ำ ตะแกรง เฉลี่ย	ร้อยละ น้ำหนักค้ำ ตะแกรง	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
80(30)	99.48	100.87	105.32	101.89	70.76	2.49
80(60)	100.18	97.49	96.95	98.21	68.20	1.41
80(90)	97.40	94.18	98.77	96.79	67.21	1.92
100(30)	95.65	94.49	93.33	94.49	65.62	0.95
100(60)	94.76	95.71	95.58	95.35	66.21	0.42
100(90)	94.79	95.27	94.18	94.75	65.80	0.45
120(30)	92.41	93.01	92.24	92.55	64.27	0.33
120(60)	89.56	88.73	87.90	88.73	61.62	0.68
120(90)	92.57	92.78	90.38	91.91	63.83	1.09

ตารางที่ ง.14 ผลการทดลองที่ 2 ตัวอย่าง A น้ำหนักผ่านตะแกรง

สภาพ อุณหภูมิ (เวลา)	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 1	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 2	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 3	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง เฉลี่ย	ร้อยละ น้ำหนักผ่าน ตะแกรง	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
80(30)	43.75	46.57	36.00	42.11	29.24	4.47
80(60)	40.40	52.67	44.30	45.79	31.80	5.12
80(90)	46.68	52.98	41.98	47.21	32.79	4.51
100(30)	46.39	51.46	48.08	48.65	33.79	2.11
100(60)	46.25	48.43	53.08	49.25	34.20	2.85
100(90)	55.30	47.94	51.11	51.45	35.73	3.01
120(30)	48.00	58.06	50.20	52.09	36.17	4.32
120(60)	52.00	57.65	59.35	56.33	39.12	3.14
120(90)	57.57	56.44	64.65	59.55	41.36	3.63

ตารางที่ ง.15 ผลการทดลองที่ 2 ตัวอย่าง A % Active Bentonite

สภาพ อุณหภูมิตัว (เวลา)	% Active Bentonite ครั้งที่ 1	% Active Bentonite ครั้งที่ 2	% Active Bentonite ครั้งที่ 3	% Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
80(30)	18.48	19.33	19.19	19.00	0.37
80(60)	19.55	20.64	20.62	20.27	0.51
80(90)	20.51	20.98	20.96	20.82	0.22
80(120)	20.23	20.31	20.14	20.23	0.07
100(30)	19.72	19.72	18.88	19.44	0.40
100(60)	20.70	20.59	20.66	20.65	0.05
100(90)	20.23	21.26	21.10	20.86	0.45
100(120)	19.61	20.22	19.01	19.61	0.49
120(30)	19.08	19.61	20.60	19.66	0.63
120(60)	20.71	20.69	20.85	20.75	0.07
120(90)	22.44	22.48	22.60	22.51	0.07
120(120)	19.45	19.88	19.02	19.45	0.35
150(30)	20.38	20.00	20.77	20.38	0.31
180(30)	20.19	20.50	19.89	20.19	0.25
200(30)	18.68	18.15	19.20	18.68	0.43

ตารางที่ ง.16 ผลการทดลองที่ 2 ตัวอย่าง A น้ำหนัก Active Bentonite

สภาพ อุณหภูมิ (เวลา)	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 1	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 2	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 3	น้ำหนัก Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
80(30)	8.09	9.00	6.91	8.00	0.86
80(60)	7.90	10.82	9.13	9.28	1.20
80(90)	9.58	10.93	8.99	9.83	0.81
80(120)	5.98	6.13	7.23	6.45	0.56
100(30)	9.15	10.15	9.08	9.46	0.49
100(60)	9.57	9.97	10.96	10.17	0.58
100(90)	11.19	10.21	10.79	10.73	0.40
100(120)	7.93	8.19	7.68	7.93	0.21
120(30)	9.16	11.20	10.34	10.24	0.84
120(60)	10.77	11.93	12.37	11.69	0.67
120(90)	12.92	12.72	14.56	13.40	0.82
120(120)	9.56	8.28	9.11	8.98	0.53
150(30)	5.89	7.85	6.72	6.82	0.80
180(30)	6.11	7.03	7.15	6.76	0.46
200(30)	6.05	6.15	5.93	6.04	0.09

ตารางที่ ง.17 ผลการทดลองที่ 2 ตัวอย่าง A % Active Bentonite ที่นำไปใช้ได้จริง

สภาพ อุณหภูมิต (เวลา)	% Active Bentonite ที่ นำไปใช้ได้จริง ครั้งที่ 1	% Active Bentonite ที่ นำไปใช้ได้จริง ครั้งที่ 2	% Active Bentonite ที่ นำไปใช้ได้จริง ครั้งที่ 3	% Active Bentonite ที่ นำไปใช้ได้จริง เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
80(30)	45.57	44.95	45.00	45.17	0.28
80(60)	51.39	53.85	51.95	52.40	1.05
80(90)	56.05	55.03	55.43	55.51	0.42
100(30)	51.06	49.15	51.05	50.42	0.90
100(60)	53.06	53.15	54.05	53.42	0.45
100(90)	56.72	57.83	57.74	57.43	0.50
120(30)	59.53	60.48	61.76	60.59	0.91
120(60)	53.36	52.53	50.90	52.27	1.02
120(90)	58.36	57.53	57.57	57.82	0.38



ตารางที่ ง.18 ผลการทดลองที่ 2 ตัวอย่าง B น้ำหนักค้ำตะแกรง

สภาพ อุณหภูมิ (เวลา)	น้ำหนักค้ำ ตะแกรง ครั้งที่ 1	น้ำหนักค้ำ ตะแกรง ครั้งที่ 2	น้ำหนักค้ำ ตะแกรง ครั้งที่ 3	น้ำหนักค้ำ ตะแกรงเฉลี่ย	ร้อยละ น้ำหนักค้ำ ตะแกรง	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
80(30)	110.06	110.92	110.69	110.56	76.78	0.36
80(60)	107.94	112.69	109.13	109.92	76.33	2.02
80(90)	109.70	108.10	107.70	108.50	75.35	0.86
100(30)	113.37	114.00	116.25	114.54	79.54	1.24
100(60)	109.54	109.38	110.74	109.89	76.31	0.61
100(90)	109.51	108.78	109.45	109.25	75.87	0.33
120(30)	108.20	106.65	107.62	107.49	74.64	0.64
120(60)	103.22	106.34	109.47	106.34	73.85	2.55
120(90)	107.40	106.44	106.12	106.65	74.07	0.54

ตารางที่ ง.19 ผลการทดลองที่ 2 ตัวอย่าง B น้ำหนักผ่านตะแกรง

สภาพ อุณหภูมิ (เวลา)	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 1	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 2	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 3	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง เฉลี่ย	ร้อยละ น้ำหนักผ่าน ตะแกรง	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
80(30)	35.77	35.23	29.33	33.44	23.22	2.92
80(60)	34.91	27.11	40.21	34.08	23.67	5.38
80(90)	36.67	34.92	34.92	35.50	24.65	0.82
100(30)	34.42	34.03	33.89	34.11	23.69	0.22
100(60)	36.16	37.01	31.07	34.75	24.13	2.62
100(90)	37.60	38.35	33.57	36.51	25.36	2.10
120(30)	36.79	39.13	36.14	37.35	25.93	1.28
120(60)	39.01	37.55	36.54	37.70	26.18	1.01
120(90)	39.81	38.00	36.08	37.96	26.36	1.52

ตารางที่ ง.20 ผลการทดลองที่ 2 ตัวอย่าง B % Active Bentonite

สภาพ อุณหภูมิ (เวลา)	% Active Bentonite ครั้งที่ 1	% Active Bentonite ครั้งที่ 2	% Active Bentonite ครั้งที่ 3	% Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
80(30)	23.09	23.24	24.46	23.60	0.61
80(60)	24.73	22.36	24.27	23.79	1.03
80(90)	24.7	23.63	23.66	24.00	0.50
100(30)	24.08	23.94	23.53	23.85	0.23
100(60)	24.57	24.5	23.55	24.21	0.47
100(90)	25.6	24.89	24.21	24.90	0.57
120(30)	27.76	26.58	24.69	26.34	1.26
120(60)	26.01	25.33	24.56	25.30	0.59
120(90)	27.04	24.31	23.98	25.11	1.37
150(30)	25.2	25.3	25.5	25.33	0.12
180(30)	24.63	24.73	24.83	24.73	0.08
200(30)	23.92	24.07	23.95	23.98	0.06

ตารางที่ ง.21 ผลการทดลองที่ 2 ตัวอย่าง B น้ำหนัก Active Bentonite

สภาพ อุณหภูมิ (เวลา)	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 1	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 2	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 3	น้ำหนัก Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
80(30)	8.31	8.19	7.17	7.89	0.51
80(60)	8.63	6.06	9.64	8.11	1.51
80(90)	9.06	8.25	8.26	8.52	0.38
100(30)	8.29	8.15	7.97	8.14	0.13
100(60)	8.89	9.04	7.32	8.41	0.78
100(90)	9.37	9.28	8.63	9.09	0.33
120(30)	10.21	10.40	8.92	9.84	0.66
120(60)	10.14	9.51	8.97	9.54	0.48
120(90)	10.71	9.24	8.65	9.53	0.87
150(30)	8.45	8.78	9.76	9.00	0.56
180(30)	9.21	8.80	8.52	8.84	0.28
200(30)	7.64	8.28	9.12	8.35	0.61

ตารางที่ ง.22 ผลการทดลองที่ 2 ตัวอย่าง B % Active Bentonite ที่นำไปใช้ได้จริง

สภาพ อุณหภูมิ (เวลา)	% Active Bentonite ที่ นำไปใช้ได้จริง ครั้งที่ 1	% Active Bentonite ที่ นำไปใช้ได้จริง ครั้งที่ 2	% Active Bentonite ที่ นำไปใช้ได้จริง ครั้งที่ 3	% Active Bentonite ที่ นำไปใช้ได้จริง เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
80(30)	32.86	33.17	33.85	33.29	0.41
80(60)	34.53	33.33	34.80	34.22	0.64
80(90)	36.13	35.78	35.94	35.95	0.14
100(30)	28.30	25.80	22.40	25.50	2.42
100(60)	33.66	34.85	34.54	34.35	0.50
100(90)	34.97	35.93	35.57	35.49	0.40
120(30)	37.56	38.49	38.99	38.35	0.59
120(60)	36.76	36.44	37.27	36.82	0.34
120(90)	42.29	41.04	41.23	41.52	0.55

ตารางที่ ง.23 ผลการทดลองที่ 3 ตัวอย่าง A น้ำหนักค้างตะแกรง

สภาพ ความเร็ว รอบ(เวลา)	น้ำหนักค้าง ตะแกรง ครั้งที่ 1	น้ำหนักค้าง ตะแกรง ครั้งที่ 2	น้ำหนักค้าง ตะแกรง ครั้งที่ 3	น้ำหนักค้าง ตะแกรง เฉลี่ย	ร้อยละ น้ำหนักค้าง ตะแกรง	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
500(5)	9.70	9.86	9.70	9.76	61.03	0.08
500(10)	9.74	9.76	9.73	9.75	60.92	0.01
500(15)	9.79	9.69	9.70	9.72	60.77	0.04
1500(5)	9.77	9.95	10.00	9.91	61.95	0.10
1500(10)	9.67	9.70	10.00	9.79	61.16	0.15
1500(15)	9.64	9.65	9.95	9.75	60.95	0.14
2500(5)	9.64	9.62	9.92	9.72	60.72	0.14
2500(10)	9.69	9.41	9.61	9.57	59.81	0.12
2500(15)	9.61	9.50	9.50	9.54	59.65	0.05

ตารางที่ ง.24 ผลการทดลองที่ 3 ตัวอย่าง A น้ำหนักผ่านตะแกรง

สภาพ ความเร็ว รอบ(เวลา)	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 1	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 2	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 3	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง เฉลี่ย	ร้อยละ น้ำหนัก ผ่าน ตะแกรง	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
500(5)	6.28	6.21	6.21	6.24	38.97	0.03
500(10)	6.25	6.31	6.21	6.25	39.08	0.04
500(15)	6.20	6.37	6.27	6.28	39.23	0.07
1500(5)	6.07	6.15	6.05	6.09	38.05	0.04
1500(10)	6.21	6.20	6.23	6.21	38.84	0.01
1500(15)	6.12	6.20	6.43	6.25	39.05	0.13
2500(5)	6.19	6.41	6.26	6.28	39.28	0.09
2500(10)	6.13	6.48	6.68	6.43	40.19	0.23
2500(15)	6.16	6.20	7.00	6.46	40.35	0.39

ตารางที่ ง.25 ผลการทดลองที่ 3 ตัวอย่าง A % Active Bentonite

สภาพ ความเร็วรอบ (เวลา)	% Active Bentonite ครั้งที่ 1	% Active Bentonite ครั้งที่ 2	% Active Bentonite ครั้งที่ 3	% Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
500(5)	17.3	18.64	18.71	18.22	0.65
500(10)	18.64	18.84	18.05	18.51	0.34
500(15)	18.14	19.55	19.51	19.07	0.66
1500(5)	17.33	18.42	19.98	18.58	1.09
1500(10)	18.73	19.17	18.64	18.85	0.23
1500(15)	19.74	19.22	18.35	19.10	0.57
2500(5)	18.55	19.8	20.42	19.59	0.78
2500(10)	17.98	19.22	19.59	18.93	0.69
2500(15)	17.08	17.89	18.64	17.87	0.64
5000(2)	17.30	17.1	17.5	17.30	0.16
5000(3)	17.40	17.1	17.58	17.36	0.20
5000(5)	17.97	18.3	17.89	18.05	0.18

ตารางที่ ง.26 ผลการทดลองที่ 3 ตัวอย่าง A น้ำหนัก Active Bentonite

สภาพ ความเร็วรอบ (เวลา)	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 1	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 2	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 3	น้ำหนัก Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
500(5)	1.10	1.16	1.16	1.14	0.03
500(10)	1.17	1.19	1.10	1.16	0.04
500(15)	1.14	1.24	1.20	1.20	0.04
1500(5)	1.05	1.13	1.21	1.13	0.07
1500(10)	1.16	1.19	1.16	1.17	0.01
1500(15)	1.21	1.19	1.18	1.19	0.01
2500(5)	1.15	1.27	1.28	1.23	0.06
2500(10)	1.10	1.25	1.32	1.22	0.09
2500(15)	1.05	1.11	1.29	1.15	0.10
5000(2)	1.06	1.07	1.09	1.07	0.01
5000(3)	1.13	1.08	1.10	1.10	0.02
5000(5)	1.18	1.12	1.17	1.16	0.03

ตารางที่ ง.27 ผลการทดลองที่ 3 ตัวอย่าง A % Active Bentonite นำไปใช้จริง

สภาพ ความเร็วรอบ (เวลา)	% Active Bentonite นำไปใช้จริง ครั้งที่ 1	% Active Bentonite นำไปใช้จริง ครั้งที่ 2	% Active Bentonite นำไปใช้จริง ครั้งที่ 3	% Active Bentonite นำไปใช้จริง เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
500(5)	75.19	75.24	74.58	75.00	0.30
500(10)	79.50	75.09	74.37	76.32	2.27
500(15)	77.64	81.44	77.76	78.95	1.76
1500(5)	75.17	72.78	75.07	74.34	1.10
1500(10)	77.46	76.13	77.31	76.97	0.59
1500(15)	79.55	79.31	76.02	78.29	1.61
2500(5)	78.75	81.20	82.81	80.92	1.67
2500(10)	80.74	80.50	79.55	80.26	0.51
2500(15)	79.28	74.39	73.33	75.66	2.59

ตารางที่ ง.28 ผลการทดลองที่ 3 ตัวอย่าง B น้ำหนักค้ำตะแกรง

สภาพ ความเร็ว รอบ(เวลา)	น้ำหนักค้ำ ตะแกรง ครั้งที่ 1	น้ำหนักค้ำ ตะแกรง ครั้งที่ 2	น้ำหนักค้ำ ตะแกรง ครั้งที่ 3	น้ำหนักค้ำ ตะแกรงเฉลี่ย	ร้อยละ น้ำหนักค้ำ ตะแกรง	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
500(5)	9.45	9.31	9.93	9.56	59.74	0.27
500(10)	9.14	9.47	9.57	9.39	58.71	0.18
500(15)	9.32	9.32	9.17	9.27	57.94	0.07
1500(5)	9.53	9.36	9.76	9.55	59.71	0.16
1500(10)	9.53	9.37	9.63	9.51	59.43	0.11
1500(15)	9.42	9.11	9.40	9.31	58.18	0.14
2500(5)	9.55	9.37	9.27	9.40	58.75	0.12
2500(10)	9.29	9.21	9.46	9.32	58.23	0.10
2500(15)	9.16	9.29	9.32	9.26	57.90	0.07

ตารางที่ ง.29 ผลการทดลองที่ 3 ตัวอย่าง B น้ำหนักผ่านตะแกรง

สภาพ ความเร็ว รอบ(เวลา)	น้ำหนัก ผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 1	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 2	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 3	น้ำหนักผ่าน ตะแกรงเฉลี่ย	ร้อยละ น้ำหนักค้ำ ตะแกรง	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
500(5)	6.36	6.63	6.35	6.44	40.26	0.13
500(10)	6.64	6.50	6.68	6.61	41.29	0.08
500(15)	6.92	6.62	6.64	6.73	42.06	0.14
1500(5)	6.59	6.30	6.45	6.45	40.29	0.12
1500(10)	6.28	6.46	6.73	6.49	40.57	0.18
1500(15)	6.56	7.04	6.48	6.69	41.82	0.25
2500(5)	6.76	6.51	6.53	6.60	41.25	0.11
2500(10)	6.80	6.68	6.57	6.68	41.77	0.09
2500(15)	6.56	6.90	6.75	6.74	42.10	0.14

ตารางที่ ง.30 ผลการทดลองที่ 3 ตัวอย่าง B % Active Bentonite

สภาพ ความเร็วรอบ (เวลา)	% Active Bentonite ครั้งที่ 1	% Active Bentonite ครั้งที่ 2	% Active Bentonite ครั้งที่ 3	% Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
500(5)	25.8	24.46	24.17	24.81	0.71
500(10)	24.6	23.35	24.17	24.04	0.52
500(15)	23.39	23.57	23.99	23.65	0.25
1500(5)	24.65	23.68	23.9	24.08	0.42
1500(10)	23.91	23.8	23.14	23.62	0.34
1500(15)	23.35	23.36	23.3	23.34	0.03
2500(5)	24.85	22.73	23.49	23.69	0.88
2500(10)	23.59	23.39	23.67	23.55	0.12
2500(15)	22.71	23.98	23.12	23.27	0.53

ตารางที่ ง.31 ผลการทดลองที่ 3 ตัวอย่าง B น้ำหนัก Active Bentonite

สภาพ ความเร็วรอบ (เวลา)	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 1	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 2	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 3	น้ำหนัก Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
500(5)	1.57	1.57	1.65	1.60	0.04
500(10)	1.63	1.52	1.62	1.59	0.05
500(15)	1.50	1.69	1.59	1.59	0.08
1500(5)	1.62	1.49	1.54	1.55	0.05
1500(10)	1.50	1.53	1.56	1.53	0.02
1500(15)	1.53	1.64	1.51	1.56	0.06
2500(5)	1.68	1.48	1.53	1.56	0.08
2500(10)	1.60	1.56	1.54	1.57	0.02
2500(15)	1.52	1.65	1.55	1.57	0.06

ตารางที่ ง.32 ผลการทดลองที่ 3 ตัวอย่าง B % Active Bentonite นำไปใช้จริง

สภาพ ความเร็วรอบ (เวลา)	% Active Bentonite นำไปใช้จริง ครั้งที่ 1	% Active Bentonite นำไปใช้จริง ครั้งที่ 2	% Active Bentonite นำไปใช้จริง ครั้งที่ 3	% Active Bentonite นำไปใช้จริง เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
500(5)	67.95	67.23	66.52	67.23	0.58
500(10)	68.59	63.78	68.06	66.81	2.15
500(15)	65.50	67.95	66.98	66.81	1.01
1500(5)	67.94	62.72	64.73	65.13	2.15
1500(10)	63.10	64.34	65.41	64.29	0.94
1500(15)	64.34	68.91	63.39	65.55	2.41
2500(5)	67.55	64.65	64.44	65.55	1.42
2500(10)	67.36	65.69	64.87	65.97	1.04
2500(15)	62.58	69.50	65.83	65.97	2.83

ตารางที่ ง.33 ผลการทดลองที่ 4 ตัวอย่าง A น้ำหนักค้างตะแกรง

สภาพ อุณหภูมิ(เวลา) (ขนาดตะแกรง) ความเร็วรอบ(เวลา) (ขนาดตะแกรง)	น้ำหนักค้าง ตะแกรง ครั้งที่ 1	น้ำหนักค้าง ตะแกรง ครั้งที่ 2	น้ำหนักค้าง ตะแกรง ครั้งที่ 3	น้ำหนักค้าง ตะแกรง เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
เริ่มต้น	144	144	144	144.00	0.00
120(90)(325)	80.53	78.32	80.11	79.65	0.96
120(90)2500(5)(325)	59.36	58.43	59.11	58.97	0.39
120(90)2500(5)(400)	50.56	51.67	52.16	51.46	0.67
120(90)2500(5)(500)	40.23	41.37	42.66	41.42	0.99

ตารางที่ ง.34 ผลการทดลองที่ 4 ตัวอย่าง A น้ำหนักผ่านตะแกรง

สภาพ อุณหภูมิ(เวลา) (ขนาดตะแกรง) ความเร็วรอบ(เวลา) (ขนาดตะแกรง)	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 1	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 2	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 3	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
เริ่มต้น	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120(90)(325)	61.39	64.04	59.24	61.55	1.96
120(90)2500(5)(325)	18.40	15.06	17.39	16.95	1.40
120(90)2500(5)(400)	2.31	5.47	5.98	4.59	1.62
120(90)2500(5)(500)	2.47	1.72	9.44	4.54	3.48

ตารางที่ ง.35 ผลการทดลองที่ 4 ตัวอย่าง A % Active Bentonite

สภาพ อุณหภูมิตัว (เวลา) (ขนาดตะแกรง) ความเร็วรอบ(เวลา) (ขนาดตะแกรง)	% Active Bentonite ครั้งที่ 1	% Active Bentonite ครั้งที่ 2	% Active Bentonite ครั้งที่ 3	% Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
เริ่มต้น	14.19	13.56	13.64	13.80	0.28
120(90)(325)	22.64	21.91	22.97	22.51	0.44
120(90)2500(5)(325)	19.40	19.48	19.88	19.59	0.21
120(90)2500(5)(400)	19.13	18.85	18.81	18.93	0.14
120(90)2500(5)(500)	6.12	4.41	6.41	5.65	0.88

ตารางที่ ง.36 ผลการทดลองที่ 4 ตัวอย่าง A น้ำหนัก Active Bentonite

สภาพ อุณหภูมิตัว (เวลา) (ขนาดตะแกรง) ความเร็วรอบ(เวลา) (ขนาดตะแกรง)	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 1	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 2	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 3	น้ำหนัก Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
เริ่มต้น	19.43	19.67	20.5	19.87	0.46
120(90)(325)	13.50	14.03	14.03	13.85	0.25
120(90)2500(5)(325)	3.55	2.87	3.54	3.32	0.32
120(90)2500(5)(400)	0.49	1.00	1.11	0.87	0.27
120(90)2500(5)(500)	0.15	0.08	0.56	0.26	0.21

ตารางที่ ง.37 ผลการทดลองที่ 4 ตัวอย่าง A % Active Bentonite นำไปใช้จริง

สภาพ อุณหภูมิตัว (เวลา) (ขนาดตะแกรง) ความเร็วรอบ(เวลา) (ขนาดตะแกรง)	% Active Bentonite นำไปใช้จริง ครั้งที่ 1	% Active Bentonite นำไปใช้จริง ครั้งที่ 2	% Active Bentonite นำไปใช้จริง ครั้งที่ 3	% Active Bentonite นำไปใช้จริง เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
120(90)(325)	70.01	69.07	70.03	69.70	0.45
120(90)2500(5)(325)	50.68	50.10	50.11	50.30	0.27
120(90)2500(5)(400)	21.06	22.97	22.53	22.19	0.82
120(90)2500(5)(500)	8.83	10.33	10.59	9.92	0.78

ตารางที่ ง.38 ผลการทดลองที่ 4 ตัวอย่าง B น้ำหนักค้ำตะแกรง

สภาพ อุณหภูมิ(เวลา) (ขนาดตะแกรง) ความเร็วรอบ(เวลา) (ขนาดตะแกรง)	น้ำหนักค้ำ ตะแกรง ครั้งที่ 1	น้ำหนักค้ำ ตะแกรง ครั้งที่ 2	น้ำหนักค้ำ ตะแกรง ครั้งที่ 3	น้ำหนักค้ำ ตะแกรง เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
เริ่มต้น	143.98	143.99	143.99	143.99	0.00
120(90)(325)	80.15	78.21	79.34	79.23	0.80
120(90)2500(5)(325)	56.9	57.44	55.34	56.56	0.89
120(90)2500(5)(400)	49.36	50.76	51.37	50.50	0.84
120(90)2500(5)(500)	43.22	44.67	42.05	43.31	1.07

ตารางที่ ง.39 ผลการทดลองที่ 4 ตัวอย่าง B น้ำหนักผ่านตะแกรง

สภาพ อุณหภูมิ(เวลา) (ขนาดตะแกรง) ความเร็วรอบ(เวลา) (ขนาดตะแกรง)	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 1	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 2	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง ครั้งที่ 3	น้ำหนักผ่าน ตะแกรง เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
เริ่มต้น	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120(90)(325)	65.41	55.86	54.71	58.66	4.80
120(90)2500(5)(325)	15.36	22.35	24.13	20.61	3.79
120(90)2500(5)(400)	2.57	4.61	3.08	3.42	0.87
120(90)2500(5)(500)	1.04	3.18	3.69	2.64	1.15

ตารางที่ ง.40 ผลการทดลองที่ 4 ตัวอย่าง B % Active Bentonite

สภาพ อุณหภูมิ(เวลา) (ขนาดตะแกรง) ความเร็วรอบ(เวลา) (ขนาดตะแกรง)	% Active Bentonite ครั้งที่ 1	% Active Bentonite ครั้งที่ 2	% Active Bentonite ครั้งที่ 3	% Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
เริ่มต้น	17.47	17.14	16.07	16.90	0.60
120(90)(325)	26.93	26.32	25.76	26.34	0.48
120(90)2500(5)(325)	24.16	25.01	25.26	24.81	0.47
120(90)2500(5)(400)	26.49	28.03	28.69	27.74	0.92
120(90)2500(5)(500)	9.93	11.21	8.74	9.96	1.01

ตารางที่ ง.41 ผลการทดลองที่ 4 ตัวอย่าง B น้ำหนัก Active Bentonite

สภาพ อุณหภูมิ(เวลา) (ขนาดตะแกรง) ความเร็วรอบ(เวลา) (ขนาดตะแกรง)	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 1	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 2	น้ำหนัก Active Bentonite ครั้งที่ 3	น้ำหนัก Active Bentonite เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
เริ่มต้น	22.31	23.56	24.14	23.34	0.76
120(90)(325)	17.54	14.70	14.09	15.45	1.50
120(90)2500(5)(325)	3.71	5.59	6.04	5.11	1.01
120(90)2500(5)(400)	0.88	0.99	0.99	0.95	0.05
120(90)2500(5)(500)	0.15	0.36	0.28	0.26	0.09

ตารางที่ ง.42 ผลการทดลองที่ 4 ตัวอย่าง B % Active Bentonite นำไปใช้จริง

สภาพ อุณหภูมิ(เวลา) (ขนาดตะแกรง) ความเร็วรอบ(เวลา) (ขนาดตะแกรง)	% Active Bentonite นำไปใช้จริง ครั้งที่ 1	% Active Bentonite นำไปใช้จริง ครั้งที่ 2	% Active Bentonite นำไปใช้จริง ครั้งที่ 3	% Active Bentonite นำไปใช้จริง เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
120(90)(325)	69.99	59.57	60.88	63.48	4.63
120(90)2500(5)(325)	43.68	43.25	44.10	43.68	0.35
120(90)2500(5)(400)	14.68	14.56	15.51	14.92	0.42
120(90)2500(5)(500)	4.28	6.30	6.20	5.59	0.93

ภาคผนวก จ
ผลวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองที่ 2 การให้ความร้อน
ตารางที่ จ.1 การทดลองที่ 2 ของตัวอย่าง A

Variables Entered/Removed^b

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	heat ^a		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Active

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.941 ^a	.886	.869	.55684

a. Predictors: (Constant), heat

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	16.833	1	16.833	54.287	.000 ^a
	Residual	2.170	7	.310		
	Total	19.003	8			

a. Predictors: (Constant), heat

b. Dependent Variable: Active

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	7.663	.405		18.942	.000
	heat	.530	.072	.941	7.368	.000

a. Dependent Variable: Active

อุณหภูมิ°C(x)	80	80	80	100	100	100	120	120	120
น้ำหนักแอดทีฟเบนโทไนต์(g)(y)	8.00	9.28	9.46	9.83	10.17	10.24	10.73	11.69	13.40

ตารางที่ จ.2 การทดลองที่ 2 ของตัวอย่าง B

Variables Entered/Removed^b

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	heat ^a		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Active

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.978 ^a	.956	.950	.16238

a. Predictors: (Constant), heat

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	4.030	1	4.030	152.835	.000 ^a
	Residual	.185	7	.026		
	Total	4.215	8			

a. Predictors: (Constant), heat

b. Dependent Variable: Active

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	7.490	.118		63.489	.000
	heat	.259	.021	.978	12.363	.000

a. Dependent Variable: Active

อุณหภูมิ°C(x)	80	80	80	100	100	100	120	120	120
น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์(g)(y)	7.89	8.11	8.14	8.41	8.52	9.09	9.53	9.54	9.84

การทดลองที่ 3 การขัดสี
ตารางที่ จ.3 การทดลองที่ 3 ของตัวอย่าง A

Variables Entered/Removed^b

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	rpm ^a		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Active

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.994 ^a	.988	.986	.00411

a. Predictors: (Constant), rpm

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.010	1	.010	584.549	.000 ^a
	Residual	.000	7	.000		
	Total	.010	8			

a. Predictors: (Constant), rpm

b. Dependent Variable: Active

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.113	.003		372.452	.000
	rpm	.013	.001	.994	24.177	.000

a. Dependent Variable: Active

ความเร็วรอบ(rpm)(x)	500	500	500	1,500	1,500	1,500	2,500	2,500	2,500
น้ำหนักแอกติฟเบนโทไนต์(g)(y)	1.13	1.14	1.15	1.16	1.17	1.19	1.20	1.22	1.23

ตารางที่ จ.4 การทดลองที่ 3 ของตัวอย่าง B

Variables Entered/Removed^b

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	rpm ^a		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Active

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.973 ^a	.947	.939	.00544

a. Predictors: (Constant), rpm

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.004	1	.004	124.367	.000 ^a
	Residual	.000	7	.000		
	Total	.004	8			

a. Predictors: (Constant), rpm

b. Dependent Variable: Active

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.530	.004		387.006	.000
	rpm	.008	.001	.973	11.152	.000

a. Dependent Variable: Active

ความเร็วรอบ(rpm)(x)	500	500	500	1,500	1,500	1,500	2,500	2,500	2,500
น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์(g)(y)	1.53	1.55	1.56	1.56	1.57	1.57	1.57	1.59	1.60

การทดลองที่ 4 การเปลี่ยนขนาดตะแกรง
ตารางที่ จ.5 การทดลองที่ 4 ของตัวอย่าง A

Variables Entered/Removed^b

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Mesh ^a		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Active

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.865 ^a	.749	.713	.76707

a. Predictors: (Constant), Mesh

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	12.264	1	12.264	20.844	.003 ^a
	Residual	4.119	7	.588		
	Total	16.383	8			

a. Predictors: (Constant), Mesh

b. Dependent Variable: Active

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-3.588	1.140		-3.148	.016
	Mesh	.141	.031	.865	4.566	.003

a. Dependent Variable: Active

ขนาดรูเปิดตะแกรง(μm)(x)	45	45	45	38	38	38	25	25	25
น้ำหนักแอกทีฟเบนโทไนด์(g)(y)	3.55	3.54	2.87	1.11	1.00	0.56	0.49	0.15	0.08

ตารางที่ จ.6 การทดลองที่ 4 ของตัวอย่าง B

Variables Entered/Removed^b

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Mesh ^a		. Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Active

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.816 ^a	.665	.617	1.45702

a. Predictors: (Constant), Mesh

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	29.530	1	29.530	13.910	.007 ^a
	Residual	14.860	7	2.123		
	Total	44.390	8			

a. Predictors: (Constant), Mesh

b. Dependent Variable: Active

Coefficients^a

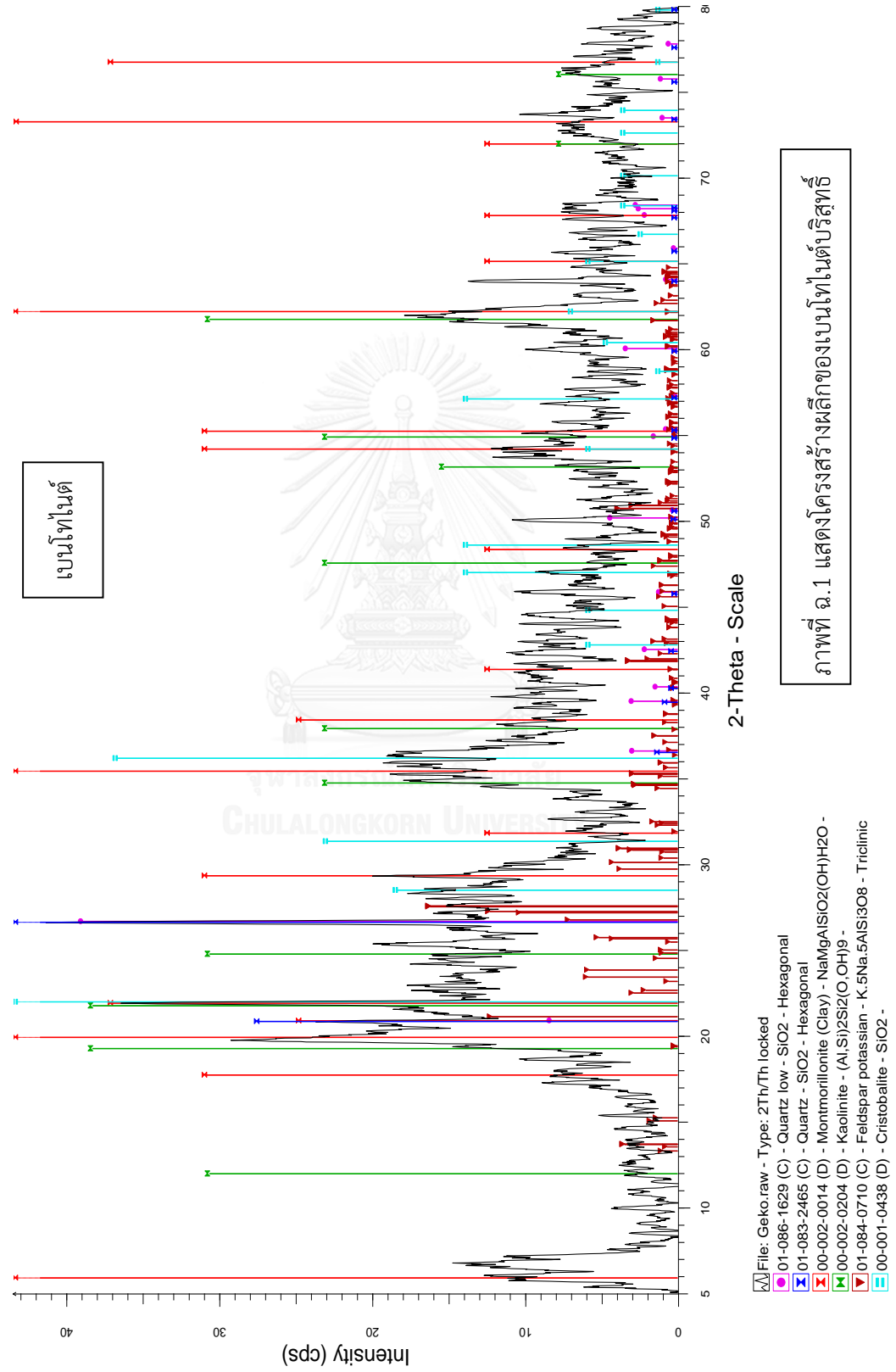
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-5.759	2.165		-2.660	.032
	Mesh	.219	.059	.816	3.730	.007

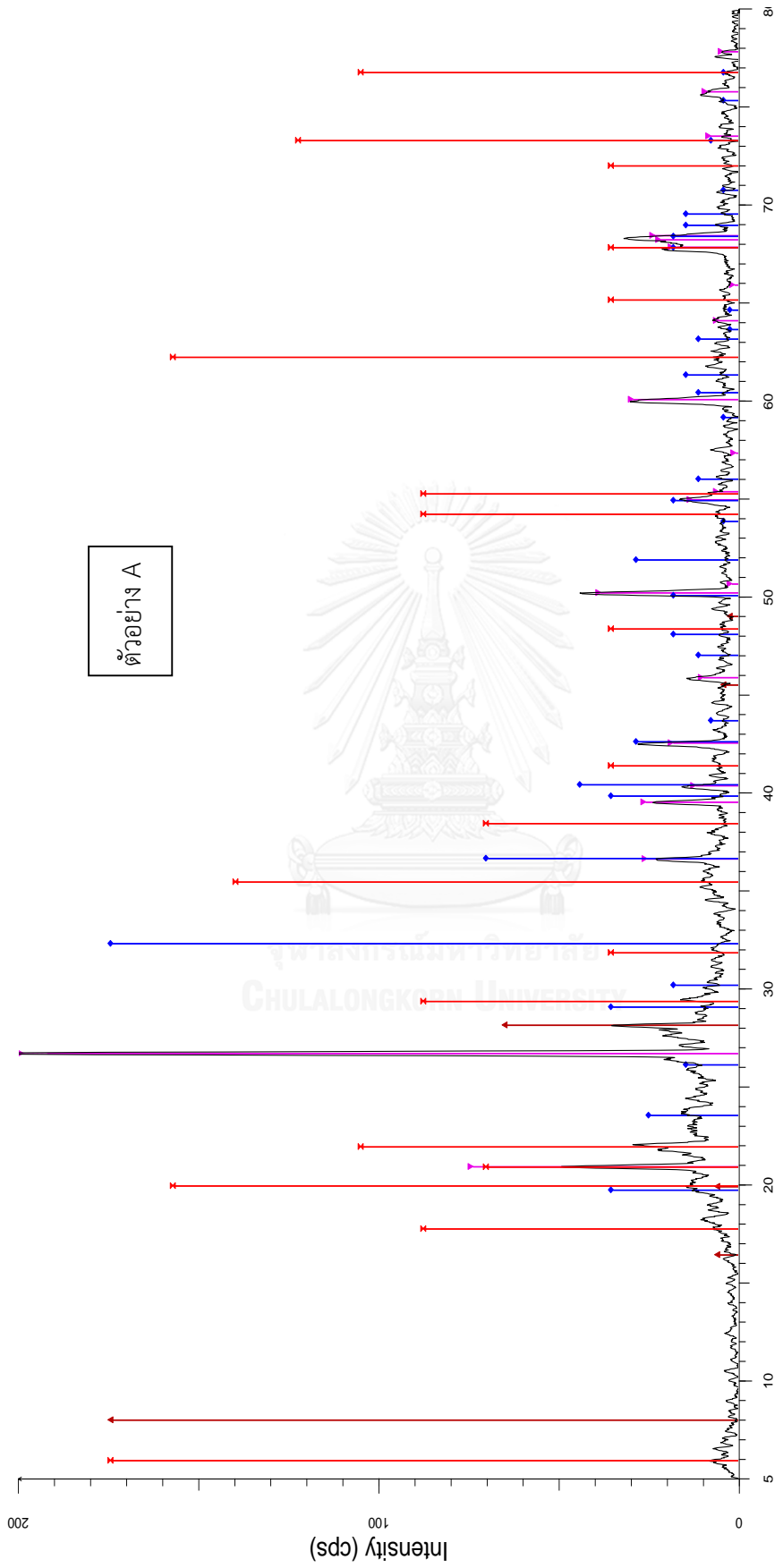
a. Dependent Variable: Active

ขนาดรูเปิดตะแกรง(μm)(x)	45	45	45	38	38	38	25	25	25
น้ำหนักแอดทิฟเวนโทนิต์(g)(y)	6.04	5.59	3.71	0.99	0.99	0.88	0.36	0.28	0.15

ภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer :XRD)

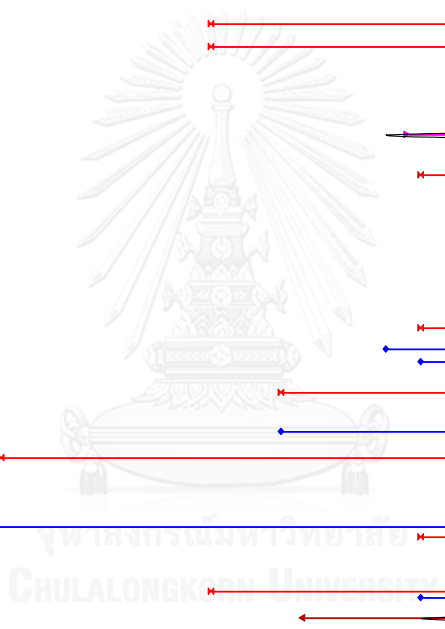


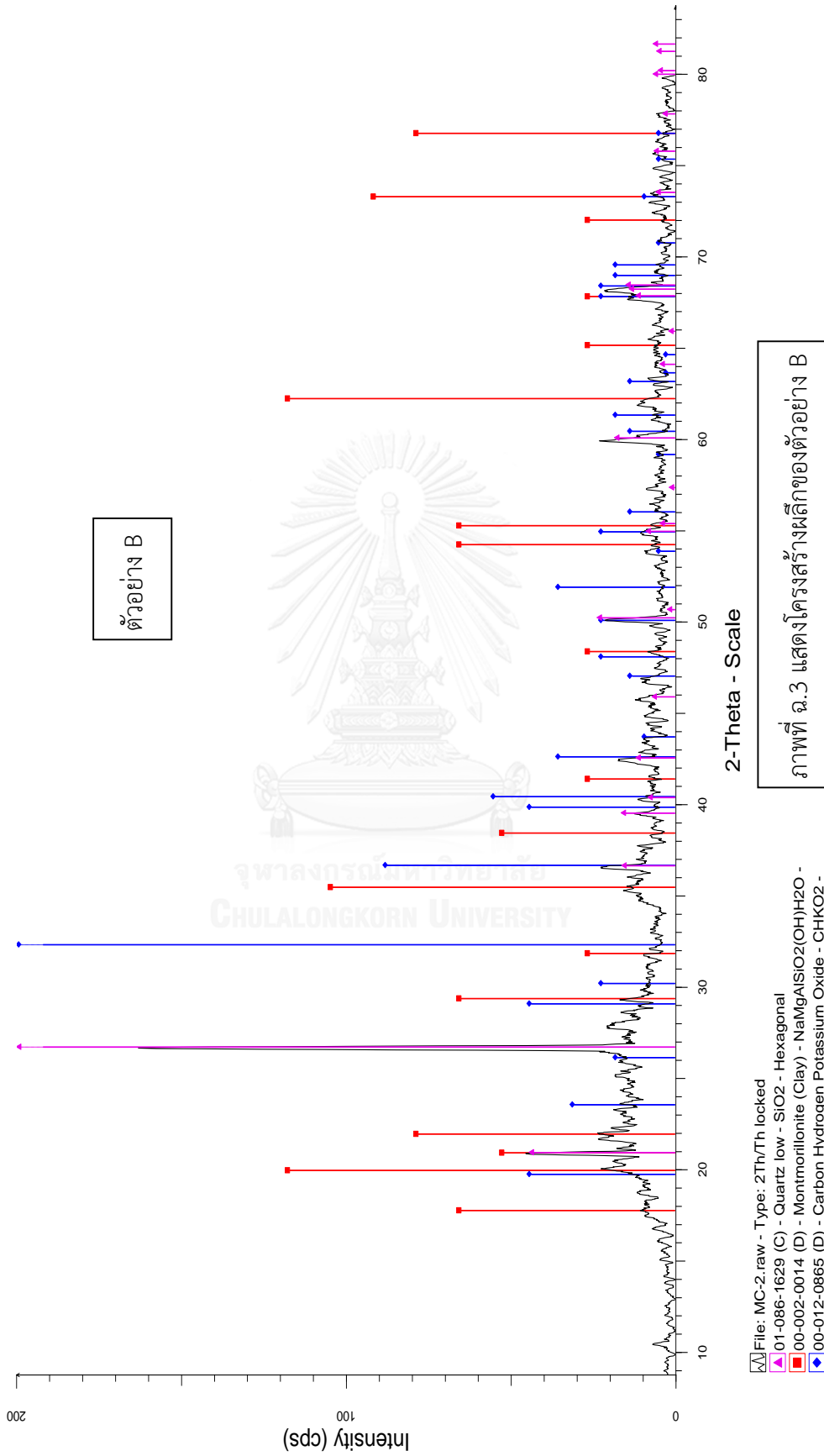


2-Theta - Scale

ภาพที่ ๑.2 แสดงโครงสร้างผลึกของตัวอย่าง A

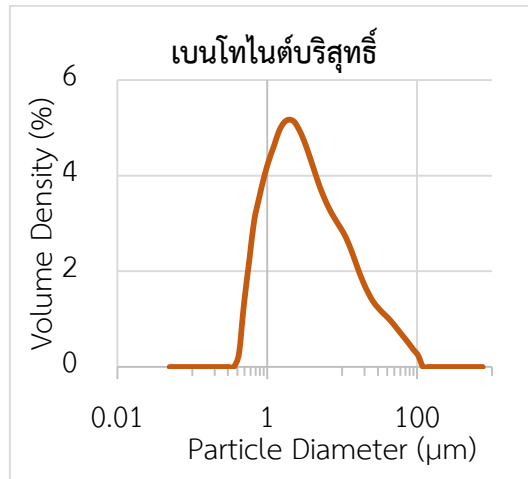
File: MC-1.raw - Type: 2Th/Th locked
01-086-1629 (C) - Quartz low - SiO2 - Hexagonal
00-002-0014 (D) - Montmorillonite (Clay) - NaMgAlSiO2(OH)H2O -
00-011-0303 (D) - Montmorillonite - (Al(OH)2)0.33Al2(Si3.67Al0.33O10)(OH)2 -
00-012-0865 (D) - Carbon Hydrogen Potassium Oxide - CHKO2 -



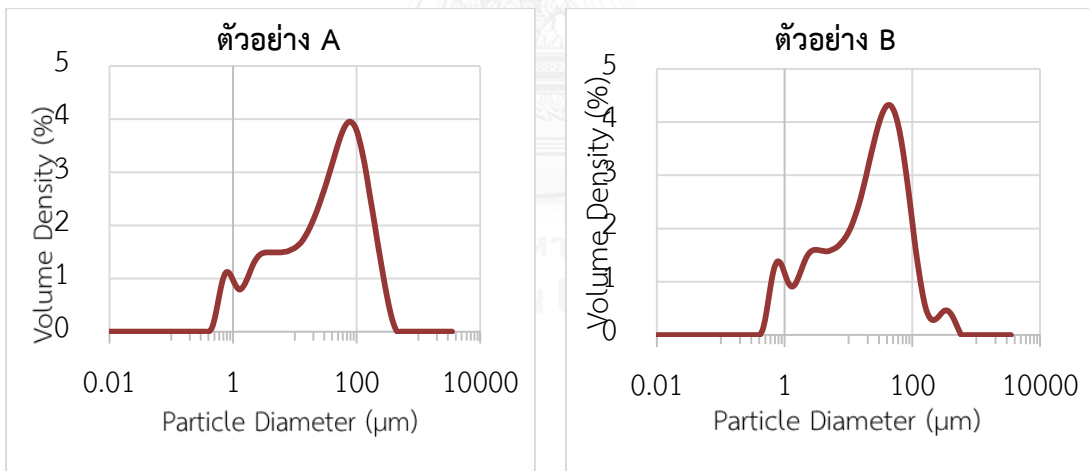


ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์การวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer



ภาพที่ ข.1 กราฟแสดงขนาดอนุภาคของเบนโทไนต์



ภาพที่ ข.2 กราฟแสดงขนาดอนุภาคของตัวอย่าง A

ภาพที่ ข.3 กราฟแสดงขนาดอนุภาคของตัวอย่าง B

ภาคผนวก ข
ค่าไฟฟ้าของการทดลองที่ 1 - 4

ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อวัน = (3.1355 x กำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า x เวลาที่ใช้งานในหนึ่งวัน)

3.1355 คือ ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)
กำลังไฟฟ้า คือ กำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์)
เวลาที่ใช้งานในหนึ่งวัน คือ จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานในหนึ่งวัน

ต้นทุนการทดลองที่ 1 การแยกเบื้องต้น (ค่าไฟที่ใช้ในการเขย่า)

ตัวอย่าง A, B ขนาดตะแกรงที่ใช้ในการเขย่าด้วยตะแกรงเบอร์ 325 เมช เวลาที่ใช้ในการทดลอง 30 นาที

ตารางที่ ข.1 จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ของตัวอย่าง A

ตัวอย่าง A			
เครื่องมือ	กำลังไฟฟ้า(กิโลวัตต์)	เวลาที่ใช้ทดลอง(ชม.)	หน่วย
เครื่องเขย่า	0.125	1/2	0.06
รวมทั้งหมด			0.06
ค่าพลังงานไฟฟ้า			0.20 บาท

ตารางที่ ข.2 จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ของตัวอย่าง B

ตัวอย่าง B			
เครื่องมือ	กำลังไฟฟ้า(กิโลวัตต์)	เวลาที่ใช้ทดลอง(ชม.)	หน่วย
เครื่องเขย่า	0.125	1/2	0.06
รวมทั้งหมด			0.06
ค่าพลังงานไฟฟ้า			0.20 บาท

ต้นทุนการทดลองที่ 2 การให้ความร้อน (ค่าไฟที่ใช้ในการให้ความร้อน + เช่า)

ตัวอย่าง A อุณหภูมิที่ใช้ 120 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบ 90 นาที ตะแกรง 325 เมช ร้อน 15 นาที

ตัวอย่าง B อุณหภูมิที่ใช้ 120 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบ 30 นาที ตะแกรง 325 เมช ร้อน 15 นาที

ตารางที่ ซ.3 จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองที่ 2 ของตัวอย่าง A

ตัวอย่าง A			
เครื่องมือ	กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	เวลาที่ใช้ทดลอง (ชม.)	หน่วย
เตาอบ	1.63	1.5	2.45
เครื่องเขย่า	0.125	1/4	0.03
รวมทั้งหมด			2.48
ค่าพลังงานไฟฟ้า			7.77 บาท

ตารางที่ ซ.4 จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองที่ 2 ของตัวอย่าง B

ตัวอย่าง B			
เครื่องมือ	กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	เวลาที่ใช้ทดลอง (ชม.)	หน่วย
เตาอบ	1.63	0.5	0.82
เครื่องเขย่า	0.125	1/4	0.03
รวมทั้งหมด			0.85
ค่าพลังงานไฟฟ้า			2.66 บาท

ต้นทุนการทดลองที่ 3 การขัดสีร่วมกับความร้อน (ค่าไฟที่ใช้ในการให้ความร้อน + การขัดสี + เช่า)

ตัวอย่าง A อุณหภูมิที่ใช้ 120 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบ 90 นาที ความเร็วรอบที่ใช้ 2,500 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ 5 นาที ตะแกรง 325 เมช ร่อน 15 นาที

ตัวอย่าง B อุณหภูมิที่ใช้ 120 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบ 30 นาที ความเร็วรอบที่ใช้ 500 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ 5 นาที ตะแกรง 325 เมช ร่อน 15 นาที

ตารางที่ ซ.5 จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองที่ 3 ของตัวอย่าง A

ตัวอย่าง A			
เครื่องมือ	กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	เวลาที่ใช้ทดลอง (ชม.)	หน่วย
เตาอบ	1.63	1.5	2.45
เครื่องหมุนเหวี่ยง	0.312	1/12	0.03
เครื่องเขย่า	0.125	1/4	0.03
รวมทั้งหมด			2.51
ค่าพลังงานไฟฟ้า			7.85 บาท

ตารางที่ ซ.6 จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองที่ 3 ของตัวอย่าง B

ตัวอย่าง A			
เครื่องมือ	กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	เวลาที่ใช้ทดลอง (ชม.)	หน่วย
เตาอบ	1.63	0.5	0.82
เครื่องหมุนเหวี่ยง	0.312	1/12	0.03
เครื่องเขย่า	0.125	1/4	0.03
รวมทั้งหมด			0.88
ค่าพลังงานไฟฟ้า			2.74 บาท

ต้นทุนการทดลองที่ 4 การเปลี่ยนขนาดตะแกรง (ค่าไฟที่ใช้ในการให้ความร้อน + การขัดสี + เช่า)

การทดลองที่ 4.1 ตัวอย่าง A อุณหภูมิที่ใช้ 120 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบ 90 นาที ตะแกรง 325 เมช ร่อน 15 นาที ตัวอย่าง B อุณหภูมิที่ใช้ 120 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบ 30 นาที ตะแกรง 325 เมช ร่อน 15 นาที

การทดลองที่ 4.2 ตัวอย่าง A อุณหภูมิที่ใช้ 120 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบ 90 นาที ความเร็วรอบที่ใช้ 2,500 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ 5 นาที ตะแกรง 325 เมช ร่อน 15 นาที ตัวอย่าง B อุณหภูมิที่ใช้ 120 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบ 30 นาที ความเร็วรอบที่ใช้ 500 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ 5 นาที ตะแกรง 325 เมช ร่อน 15 นาที

การทดลองที่ 4.3 ตัวอย่าง A อุณหภูมิที่ใช้ 120 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบ 90 นาที ความเร็วรอบที่ใช้ 2,500 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ 5 นาที ตะแกรง 400 เมช ร่อน 15 นาที ตัวอย่าง B อุณหภูมิที่ใช้ 120 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบ 30 นาที ความเร็วรอบที่ใช้ 500 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ 5 นาที ตะแกรง 400 เมช ร่อน 15 นาที

การทดลองที่ 4.4 ตัวอย่าง A อุณหภูมิที่ใช้ 120 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบ 90 นาที ความเร็วรอบที่ใช้ 2,500 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ 5 นาที ตะแกรง 500 เมช ร่อน 15 นาที ตัวอย่าง B อุณหภูมิที่ใช้ 120 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบ 30 นาที ความเร็วรอบที่ใช้ 500 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ 5 นาที ตะแกรง 500 เมช ร่อน 15 นาที

ตารางที่ ซ.7 จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองที่ 4 ของตัวอย่าง A

ตัวอย่าง A การทดลองที่ 4.1			
เครื่องมือ	กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	เวลาที่ใช้ทดลอง (ชม.)	หน่วย
เตาอบ	1.63	1.5	2.45
เครื่องเขย่า	0.125	1/4	0.03
รวม			2.48
ตัวอย่าง A การทดลองที่ 4.2			
เตาอบ	1.63	1.5	2.45
เครื่องหมุนเหวี่ยง	0.312	1/12	0.03
เครื่องเขย่า	0.125	1/4	0.03
รวม			2.51
ตัวอย่าง A การทดลองที่ 4.3			
เตาอบ	1.63	1.5	2.45
เครื่องหมุนเหวี่ยง	0.312	1/12	0.03
เครื่องเขย่า	0.125	1/4	0.03
รวม			2.51
ตัวอย่าง A การทดลองที่ 4.4			
เตาอบ	1.63	1.5	2.45

เครื่องมือหมุนเหวี่ยง	0.312	1/12	0.03
เครื่องเขย่า	0.125	1/4	0.03
รวม			2.51
รวมทั้งหมด			10.01
ค่าพลังงานไฟฟ้า			31.39 บาท

ตารางที่ ข.8 จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองที่ 4 ของตัวอย่าง B

ตัวอย่าง B การทดลองที่ 4.1			
เครื่องมือ	กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	เวลาที่ใช้ทดลอง (ชม.)	หน่วย
เตาอบ	1.63	0.5	0.82
เครื่องเขย่า	0.125	1/4	0.03
รวม			0.85
ตัวอย่าง A การทดลองที่ 4.2			
เตาอบ	1.63	0.5	0.82
เครื่องมือหมุนเหวี่ยง	0.312	1/12	0.03
เครื่องเขย่า	0.125	1/4	0.03
รวม			0.88
ตัวอย่าง A การทดลองที่ 4.3			
เตาอบ	1.63	0.5	0.82
เครื่องมือหมุนเหวี่ยง	0.312	1/12	0.03
เครื่องเขย่า	0.125	1/4	0.03
รวม			0.88
ตัวอย่าง A การทดลองที่ 4.4			
เตาอบ	1.63	0.5	0.82
เครื่องมือหมุนเหวี่ยง	0.312	1/12	0.03
เครื่องเขย่า	0.125	1/4	0.03
รวม			0.88
รวมทั้งหมด			3.49
ค่าพลังงานไฟฟ้า			10.94 บาท

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอารีรัตน์ ศุภศิริสมบัติ เกิดเมื่อวันที่ ๒๕ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๓๓ ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย นครปฐม (พระตำหนักสวนกุหลาบมัธยม) ปีการศึกษา ๒๕๕๑ สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี หลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา ๒๕๕๕ และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา ๒๕๕๖

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอด้วยวาจาในหัวข้อเรื่อง การแยกเบนโทไนด์จากฝุ่นทรายแบบหล่อ ในงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ ๑๒ ระหว่างวันที่ ๘-๙ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๕๘

