

การเก็บกลับคืนเบนทอไนต์จากดินโคลนเจาะเหลือทิ้งในการขุดเจาะเสาเข็ม



นายจักรพันธ์ พิมลรัตน์

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

สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RECOVERY OF BENTONITE FROM WASTE DRILLING MUD IN BORED PILES

Mr. Jakapan Pimolrat



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

Department of Mining and Petroleum Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเก็บกลับคืนเบนทอไนด์จากดินโคลนเจาะเหลือทิ้งใน
	การขุดเจาะเสาเข็ม
โดย	นายจักรพันธ์ พิมลรัตน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมทรัพยากรธรณี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร. อภิสสิทธิ์ น้ำประสานไทย

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนทร พุ่มจันทร์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(อาจารย์ ดร. อภิสสิทธิ์ น้ำประสานไทย)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิฑิตศักดิ์ บุญปราโมทย์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ภิญโญ มีชำนะ)

จักรพันธ์ พิมลรัตน์ : การเก็บกลับคืนเบนทอไนต์จากดินโคลนเจาะเหลือทิ้งในการขุดเจาะเสาเข็ม (RECOVERY OF BENTONITE FROM WASTE DRILLING MUD IN BORED PILES) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ. ดร. อภิลิทธิ์ น้าประสานไทย, 74 หน้า.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือศึกษาความเป็นไปได้ของการเก็บกลับคืนเบนทอไนต์จากดินโคลนเจาะเหลือทิ้งในการขุดเจาะเสาเข็มภายในเขตกรุงเทพมหานครโดยใช้เครื่องไฮโดรไซโคลน เพื่อปรับปรุงและคัดแยกอนุภาคของทรายออกให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสมตามข้อกำหนดในการใช้งานเพื่อเป็นโคลนเจาะ ซึ่งในการศึกษาการกระจายตัวของขนาดอนุภาคจะถูกวิเคราะห์ด้วยชุดตะแกรงมาตรฐานแบบเปียกและเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer เพื่อเปรียบเทียบขนาดของหัวแร่ที่ได้จากการคัดแยกแล้ว และปริมาณของอนุภาคทรายที่ค้างตะแกรง อีกทั้งยังพิจารณาถึงองค์ประกอบและปริมาณของแร่ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) เครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF)

จากการศึกษาการคัดแยกโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการขุดเจาะเสาเข็มภายในกรุงเทพมหานครด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลนขนาด 9 เซนติเมตร พบว่าความดันป้อนและปริมาณของผสมในแร่ป้อนส่งผลต่อการคัดแยกเบนทอไนต์ โดยเมื่อความดันป้อนเพิ่มขึ้น ขนาดของอนุภาคที่ของขนาดคัตที่  $D_{50}$  มีขนาดลดลงเล็กน้อย และที่ขนาดคัตที่  $D_{90}$  มีขนาดเล็กลงอย่างเห็นได้ชัด ในส่วนปริมาณของของผสมในแร่ป้อนจะส่งผลต่อการคัดขนาดโดยเมื่อมีปริมาณของของผสมในแร่ป้อนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 15 โดยปริมาตร ขนาดคัตที่  $D_{50}$  จะมีขนาดโตขึ้นเล็กน้อย และมีขนาดคัตที่แตกต่างกันมากที่สุดที่  $D_{90}$  ซึ่งผลของขนาดอนุภาคจากปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 5 ร้อยละ 10 และร้อยละ 15 คือ  $3.90 \mu\text{m}$   $4.25 \mu\text{m}$   $4.60 \mu\text{m}$  ที่ความดันป้อน 0.5 bar,  $3.76 \mu\text{m}$   $3.99 \mu\text{m}$   $4.23 \mu\text{m}$  ที่ความดันป้อน 1.0bar,  $3.20 \mu\text{m}$   $3.84 \mu\text{m}$   $3.86 \mu\text{m}$  ที่ความดันป้อน 1.5 bar and  $3.11 \mu\text{m}$   $3.58 \mu\text{m}$   $3.71 \mu\text{m}$  ที่ความดันป้อน 2.0 bar. อีกทั้งยังมีปริมาณของทรายในโคลนเจาะที่คัดได้ลดลงไม่เกินร้อยละ 3 ในโคลนเหลือทิ้งที่มีปริมาณของของผสมในแร่ป้อนไม่เกินร้อยละ 13 ซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานเป็นโคลนเจาะได้อีกครั้ง โดยปริมาณของทรายในโคลนเจาะน้อยที่สุดจะขึ้นอยู่กับปริมาณของของผสมในแร่ป้อนและความดันป้อนที่น้อยที่สุดซึ่งคือ ร้อยละ 98 ณ ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 5 และความดันป้อน 0.5 bar

ภาควิชา	วิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา	วิศวกรรมทรัพยากรธรณี	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....
ปีการศึกษา	2559	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 5770134021 : MAJOR GEORESOURCES ENGINEERING

KEYWORDS: BENTONITE, DRILLING MUD WASTES, HYDROCYCLONE

JAKAPAN PIMOLRAT: RECOVERY OF BENTONITE FROM WASTE DRILLING MUD IN BORED PILES. ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMSAK SAISINCHAI, CO-ADVISOR: APISIT NUMPRASANTHAI, Ph.D., 74 pp.

*In this research, the drilling mud waste from foundation construction which is the mixture of bentonite slurry, local clay disposal and cuttings is investigated in order to explore alternatives for utilization to landfill disposal. The bentonite slurry is widely used to prevent drilling hole collapse and water leakage for substructural construction of cast in place piles. Identification tools such as laser particle size distribution analyzer, x-ray diffraction and x-ray fluorescence were applied to explore the character of pure bentonite clay and drilling mud waste. Hydrocyclone was performed to investigate the separation ability of bentonite employing the different particle size of the bentonite slurry and the drilling mud waste.*

*The result showed that utilized bentonite from overflow products contained less than 3% of sand content which was under the requirement of used bentonite in bored pile. However higher 13% solid resulted in over the limitation. Also, the volume of solid percentage and feed pressure were effected to the size distribution and volume of sand content. The higher solid percentage from 5 to 15 and decreasing feed pressure from 2.0 bar to 0.5 bar were resulted in larger the  $D_{50}$  of utilized bentonite magnificently that there were 3.90  $\mu\text{m}$  4.25  $\mu\text{m}$  4.60  $\mu\text{m}$  in 0.5 bar, 3.76  $\mu\text{m}$  3.99  $\mu\text{m}$  4.23  $\mu\text{m}$  in 1.0 bar, 3.20  $\mu\text{m}$  3.84  $\mu\text{m}$  3.86  $\mu\text{m}$  in 1.5 bar and 3.11  $\mu\text{m}$  3.58  $\mu\text{m}$  3.71  $\mu\text{m}$  in 2.0 bar. In addition, the sand content was dramatically increased due to rising up the solid percentage. The results showed that 0.73% 2.18% and 2.91% for 0.5 bar, 0.73% 1.56 % and 3.28% for 1.0 bar, 0.77% 0.84% and 3.60% for 1.5 bar and 0.86% 1.63% and 3.89% for 2.0 bar. The lowest feed pressure and solid percentage were evaluated to the best volume of yield that 98.0 % on 5% solid and 0.5 bar.*

Department: Mining and Petroleum  
Engineering

Field of Study: Georesources Engineering

Academic Year: 2016

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....

Co-Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบพระขอบคุณ ดร.ขวัญชัย ลีเฝ้าพันธุ์ ผู้เป็นคณริเริ่มและนำเสนอหัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้และข้อคิดในการเริ่มทำวิจัยฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย ที่กรุณามาเป็นที่อาจารย์ที่ปรึกษาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทั้งแนะแนวทางการทดลอง ผลักดัน และให้คำแนะนำต่างๆที่มีประโยชน์จนการทดลองสำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ และขอกราบขอบคุณอาจารย์ ดร. อภิสสิทธิ์ น้าประสานไทย ผู้เป็นรองอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ช่วยตรวจแก้ไขข้อผิดพลาดและคำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนทร พุ่มจันทร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์ และรองศาสตราจารย์ ดร. ภิญโญ มีชำนะ ซึ่งเป็นคณะกรรมการในการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และแนวคิดต่างๆที่สามารถนำไปปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสมบูรณ์

ขอกราบขอบคุณนายช่าง เอกภพ ศรีเรืองฤทธิ์ จากกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ซึ่งเป็นผู้ประสานงานในการยืมเครื่องไฮโดรไซโคลนเพื่อมาใช้ในการทดลองครั้งนี้

ขอขอบคุณ Chheng Kokkoug ในการช่วยทำการทดลองให้ดำเนินไปตามงานวิจัยที่ออกแบบไว้ได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและธุรการภาคทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือทั้งทางด้านการทดลองเอกสารต่างๆ แนะนำคำปรึกษาเพื่อให้การทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จราบรื่นด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา และญาติๆที่คอยช่วยเหลือในด้านต่างๆ และสนับสนุนในการเรียนในหลักสูตรนี้จนสำเร็จผล

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
สารบัญกราฟ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เบนทอไนต์ (Bentonite).....	4
2.2 สารละลายเบนทอไนต์ (Bentonite Slurry).....	5
2.3 เสาเข็มระบบเจาะแบบเปียก.....	6
2.4 ไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone).....	8
2.4.1 หลักการทำงานของไฮโดรไซโคลน.....	10
2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	20
3.1 แผนการศึกษาวิจัย.....	20
3.2 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	20
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	20

3.4 วิธีดำเนินการวิจัย .....	21
3.4.1 การวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของตัวอย่างโดยใช้วิธี Wet Sieve Screening .....	22
3.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) .....	22
3.4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF).....	23
3.4.4 การทดลองคัดแยกเบนทอไนต์จากโคลนเจาะเสาเข็มระบบเปียกเหลือทิ้งโดยใช้เครื่องไฮโดรไซโคลน.....	23
3.4.5 วิธีการแยกเบนทอไนต์ด้วยไฮโดรไซโคลน .....	25
3.4.6 การศึกษาขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของตัวอย่างที่ได้จากการคัดแยกด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลน โดยการใช้เครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer.....	27
3.4.7 การศึกษาองค์ประกอบของแร่จากหัวแร่ของโคลนเจาะเสาเข็มระบบเปียกเหลือทิ้งที่ผ่านการคัดแยกด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลนโดยใช้เครื่องมือวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) .....	27
3.4.8 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของหัวแร่ของโคลนเจาะเสาเข็มระบบเปียกเหลือทิ้งที่ผ่านการคัดแยกด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF).....	27
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....	29
4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของผงเบนทอไนต์ใหม่โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD).....	29
4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงเบนทอไนต์ใหม่โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF).....	31
4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของตัวอย่างโคลนเจาะเสาเข็มที่เหลือทิ้งจากการขุดเจาะเสาเข็มระบบเปียกโดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) .....	32



4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการขุดเจาะ เสาเข็มระบบเปียกโดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF).....	34
4.5 ผลการวิเคราะห์ขนาดของโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการเจาะเสาเข็มระบบเปียกด้วยตะแกรง มาตรฐาน .....	35
4.6 ผลการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างที่ได้จากการคัดแยกโดยเครื่องไฮโดรไซโคลนด้วย ตะแกรงมาตรฐานและเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer .....	36
4.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดกับปริมาณของของผสมในแร่ป้อน .....	47
4.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดและความดันป้อน .....	50
4.6.3 การวิเคราะห์การเก็บกลับคืนเบนทอไนต์จากโคลนเจาะเหลือทิ้งโดยใช้เครื่องไฮโดร ไซโคลน .....	52
4.7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของตัวอย่างที่ได้จากการคัดแยกโดยเครื่องไฮโดรไซโคลน การเจาะเสาเข็มระบบเปียกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD).....	53
4.8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหัวแร่ที่ได้จากการคัดแยกโดยเครื่องไฮโดร ไซโคลนการเจาะเสาเข็มระบบเปียกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF) .....	56
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	58
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	58
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	59
รายการอ้างอิง.....	60
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	74

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของสารละลายเบนทอไนด์สำหรับการขุดเจาะเสาเข็ม.....	6
ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองการคัดแยกเบนทอไนด์จากโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการขุดเสาเข็มระบบเปียกโดยใช้เครื่องไฮโดรไซโคลน .....	23
ตารางที่ 3.2 แสดงการทดลองตามตัวแปรที่เปลี่ยนแปลง .....	26
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณของผงเบนทอไนด์ใหม่ .....	31
ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณของโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการเจาะเสาเข็มระบบเปียก .....	34
ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของเบนทอไนด์ใหม่ โคลนเจาะเหลือทิ้งจากการเจาะเสาเข็มระบบเปียกและหัวแร่ (Overflow) ที่ได้จากการคัดแยกด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลน .....	57

## สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 การขุดเสาเข็มระบบเจาะแบบเปียกระบบ Reverse Circulation Drilling Technique ....	7
รูปที่ 2.2 การขุดเสาเข็มระบบเจาะแบบเปียกระบบ Rotary Drilling Under Bentonite Slurry Displacement Technique .....	8
รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของเครื่องไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) .....	9
รูปที่ 2.4 แสดงแรงกระทำที่เกิดภายในไฮโดรไซโคลน.....	10
รูปที่ 2.5 โชนความเร็วในแนวตั้งและแนวรัศมีภายในไฮโดรไซโคลน.....	11
รูปที่ 2.6 ขั้นตอนในการทำความสะอาดโคลนเจาะในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม .....	17
รูปที่ 2.7 รูปแบบการทดลองโดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาด 10 มิลลิเมตร.....	18
รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการทดลองในการศึกษาการใช้เครื่องไฮโดรไซโคลนเพื่อคัดแยกเบนโทนไทม์จากโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการขุดเสาเข็มระบบเปียก.....	22
รูปที่ 3.2 เครื่องไฮโดรไซโคลนของบริษัท Richard Mozley Limited.....	24
รูปที่ 3.3 ขนาดของไฮโดรไซโคลนยี่ห้อ Mozlay ที่ใช้ในการทดลองแยกเบนโทนไทม์ออกจากโคลนเจาะเหลือทิ้ง.....	24

## สารบัญกราฟ

กราฟที่ 2.1 กราฟแสดงสมรรถนะของไฮโดรไซโคลน (Tromp Curve) .....	12
กราฟที่ 2.2 เส้นโค้งประสิทธิภาพในการคัดขนาด.....	13
กราฟที่ 2.3 Effect of Pressure on Capacity and Cut-Point of Hydrocyclone.....	15
กราฟที่ 2.4 Effect of Solids Concentration on Cut-Point of Hydrocyclone.....	16
กราฟที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของผงเบนทอไนต์ใหม่จากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD).....	30
กราฟที่ 4.2 องค์ประกอบแร่ของโคลนเจาะเหลือทิ้งโดยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD).....	33
กราฟที่ 4.3 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการเจาะเสาเข็มระบบเปียก.....	35
กราฟที่ 4.4 การกระจายตัวของอนุภาคของหางแร่ (Underflow) ที่มีปริมาณร้อยละของของแข็งในน้ำ (Solid Percentage) และความดันป้อน (Feed Pressure) ต่างกัน.....	37
กราฟที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดกับความดันป้อนของตัวอย่าง underflow ที่ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 5 โดยปริมาตร.....	38
กราฟที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดกับความดันป้อนของตัวอย่าง underflow ที่ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 10 โดยปริมาตร.....	39
กราฟที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดกับความดันป้อนของตัวอย่าง underflow ที่ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 15 โดยปริมาตร.....	40
กราฟที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดของตัวอย่าง underflow กับปริมาณของของผสมในแร่ป้อน ที่ความดันป้อนคงที่ 0.5 bar.....	41
กราฟที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดของตัวอย่าง underflow กับปริมาณของของผสมในแร่ป้อน ที่ความดันป้อนคงที่ 1.0 bar.....	42
กราฟที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดของตัวอย่าง underflow กับปริมาณของของผสมในแร่ป้อน ที่ความดันป้อนคงที่ 1.5 bar.....	43

กราฟที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดของตัวอย่าง underflow กับปริมาณของของผสมในแร่ป้อน ที่ความดันป้อนคงที่ 2.0 bar.....	44
กราฟที่ 4.12 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของหัวแร่ (Overflow) โดยใช้การคัดขนาดจากชุดตะแกรงมาตรฐาน.....	46
กราฟที่ 4.13 ปริมาณของอนุภาคที่ค้างตะแกรง 200 mesh.....	47
กราฟที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลนและปริมาณของของผสมในแร่ป้อน .....	49
กราฟที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลนและความดันป้อน.....	51
กราฟที่ 4.16 ปริมาณการเก็บกลับคืนเบนทอไนต์จากการคัดแยกด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลน.....	52
กราฟที่ 4.17 องค์ประกอบแร่ของหัวแร่ (Overflow) ที่ได้จากการคัดแยกโดยเครื่องไฮโดรไซโคลน.....	55



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

โคลนเจาะ คือสารละลายของแร่เบนทอไนต์ (Bentonite) เพื่อใช้ในการขุดเจาะเสาเข็มในงานขุดเจาะเสาเข็มฝังในทีแบบเปียก (wet Cast-in-place Bored Piles) ซึ่งนิยมใช้กันมากในงานก่อสร้างฐานรากที่มีน้ำบาดาลในชั้นดินของพื้นที่ขุดเจาะ โดยเมื่อโคลนเจาะถูกนำไปใช้ในงานรากฐานแล้วจะมีการปนเปื้อนของดินและทรายในพื้นที่ที่ทำการขุดเจาะจะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของโคลนเจาะลดลง วิศวกรจะต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆของโคลนเจาะให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดเพื่อให้งานก่อสร้างฐานรากเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ กระบวนการลดปริมาณของดินและทรายจากชั้นดินที่มีการปนเปื้อนจึงได้ถูกนำมาใช้เพื่อยืดอายุการใช้งานของโคลนเจาะให้นานที่สุด

การปนเปื้อนโดยอนุภาคของชั้นดินนั้นจะมีขนาดอนุภาคต่างกัน เช่น ขนาดใหญ่ เรียกว่า อนุภาคขนาดทราย (Sand) ที่มีขนาดตั้งแต่ 20 – 0.05 มิลลิเมตร อนุภาคขนาดแป้ง (Silt) มีขนาดตั้งแต่ 0.05 – 0.002 มิลลิเมตร และอนุภาคขนาดเล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร โดยปริมาณสัดส่วนของอนุภาคจะแตกต่างกันไปตามภูมิประเทศ ซึ่งการลดปริมาณการปนเปื้อนของอนุภาคนั้นจะต้องทำการคัดแยกอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคของแร่เบนทอไนต์ที่มีขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร โดยทั่วไปในไซต์งานก่อสร้างฐานรากมักนิยมใช้ตะแกรงสั่นที่เครื่องมือคัดแยกทางกายภาพ อย่างไรก็ตามขนาดของรูตะแกรงจะสามารถคัดแยกอนุภาคขนาดทรายที่มีขนาดใหญ่เท่านั้น แต่ยังคงเหลืออนุภาคขนาดแป้งที่ไม่สามารถคัดแยกได้หมดด้วยตะแกรงสั่น ทำให้คุณสมบัติของโคลนเจาะไม่ได้มาตรฐานจนไม่สามารถนำมาใช้ได้อีกครั้ง

โคลนเจาะเหลือทิ้งที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้มาจากการโคลนที่ใช้สำหรับการขุดเจาะเสาเข็มในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีลักษณะของชั้นดินแบบเขตที่ราบลุ่มแม่น้ำตะกอนพัดพาอันเป็นลักษณะเฉพาะตัวของชั้นดินในเขตแถบกรุงเทพและปริมณฑล แม่น้ำโดยรอบในเขตพื้นที่ส่งผลต่อการวางตัวของชั้นดินซึ่งทำให้มีชั้นดินของทรายสลับกับชั้นดินเหนียว อีกทั้งยังมีน้ำใต้ดินแทรกตัวอยู่ในชั้นดินอีกด้วย ทำให้การขุดเจาะงานฐานรากในเขตกรุงเทพมหานครจึงมีความจำเป็นที่จะใช้สารละลายเบนทอไนต์เพื่อเป็นโคลนเจาะ โดยในขั้นตอนของกระบวนการเจาะเสาเข็มจะต้องขุดลึกลงไปผ่านชั้นดินเหนียวลงไปจนถึงชั้นทราย ดังนั้นการคัดแยกการปนเปื้อนของดินที่มีขนาดอนุภาคตั้งแต่

ทรายลงไปจึงมีความสำคัญ นอกจากการคัดแยกอนุภาคของดินและทรายโดยใช้ตะแกรงสั่นเพียงอย่างเดียว การเพิ่มการคัดแยกอนุภาคโดยใช้เครื่องไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) จึงถูกนำมาใช้เพื่อคัดแยกอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงสั่นลงไป

งานศึกษาวิจัยนี้จะศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของการนำเครื่องไฮโดรไซโคลนเพื่อคัดแยกอนุภาคของดินและทรายออกจากโคลนเจาะเหลือทิ้งซึ่งจึงมีการคาดคะเนว่าดินโคลนที่เหลือทิ้งจากการขุดเจาะเหล่านี้จะมีดินเบนทอไนต์ปะปนอยู่ โดยนำมาสุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาศึกษาและวิเคราะห์องค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพของดินโคลนเหลือทิ้งเพื่อนำไปหาวิธีการที่เหมาะสมในการคัดแยกดินเบนทอไนต์โดยคำนึงถึงในเชิงปริมาณและคุณภาพ ดินเบนทอไนต์ที่ได้จากการคัดแยกเหล่านั้นจะถูกนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับดินเบนทอไนต์ที่มีขายในท้องตลาด เพื่อตรวจสอบคุณภาพว่าเหมาะสมสำหรับการนำกลับไปใช้ใหม่เป็นโคลนในการขุดเจาะเช่นเดิมหรือควรนำไปใช้ในแนวทางอื่นที่เหมาะสม

## 1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการคัดแยกแร่เบนทอไนต์ออกจากดินโคลนที่เหลือทิ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้เครื่องไฮโดรไซโคลน
- 1.2.2 ศึกษากระบวนการนำดินเบนทอไนต์ที่ได้จากการคัดแยกจากโคลนเหลือทิ้งจากการขุดเจาะเสาเข็มไปใช้ประโยชน์ใหม่

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาสถานภาพของแร่เบนทอไนต์ที่ใช้ในกระบวนการใช้ขุดเจาะ ทั้งในเรื่องปริมาณในการใช้และคุณภาพที่เหมาะสมต่อการใช้
- 1.3.2 ศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างดินโคลนที่เหลือทิ้งจากการขุดเจาะในเชิงปริมาณและคุณภาพ
- 1.3.3 ศึกษากระบวนการในการคัดแยกแร่เบนทอไนต์ออกจากดินโคลนเหลือทิ้งจากการขุดเจาะเสาเข็ม
- 1.3.4 ทดลองคัดแยกดินเบนทอไนต์ที่คัดแยกแล้วเพื่อหาวิธีการที่จะเก็บดินเบนทอไนต์กลับมาอย่างมีประสิทธิภาพที่สุดโดยใช้เครื่องไฮโดรไซโคลน
- 1.3.5 วิเคราะห์คุณสมบัติดินเบนทอไนต์ที่ได้จากการคัดแยกเพื่อเปรียบเทียบกับดินเบนทอไนต์ที่ขายอยู่ในท้องตลาด

- 1.3.6 ศึกษาการนำดินเบนทอไนต์ที่ได้จากการคัดแยกแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ทั้งทางตรงและทางอ้อม
- 1.3.7 สรุปผลการทดลองและเผยแพร่ข้อมูลเพื่อให้ผู้ใช้ดินเบนทอไนต์ในการขุดเจาะเสาเข็มสามารถนำไปพัฒนาเพื่อให้เกิดการนำไปใช้จริงได้ในอุตสาหกรรมต่อไป





## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เบนทอไนต์ (Bentonite)

คือแร่ทุติยภูมิที่เกิดจากหินที่เปลี่ยนสภาพมาจากหินภูเขาไฟอยู่ในกลุ่มแร่เสมีคไทท์ (Smectite) หรือมอนต์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite) (Ola Karland, Clay Technology AB, 2010) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ ยังพบใน ดินหินชั้นและหินแปร และแหล่งแร่ที่มีกำเนิดจากน้ำแร่ ร้อนเกิดร่วมกับแร่ อิลไลต์ (Illite) ฮาลลอยไซต์ (Halloysite) เคโอลิไนต์ (Kaolinite) และควอรตซ์ (Quartz) เป็นองค์ประกอบหลัก ถูกค้นพบครั้งแรกในมลรัฐไวโอมิง ประเทศสหรัฐอเมริกา ผลึกดินมีโครงสร้างเป็นผลึกตาข่ายที่มี ขนาดอนุภาคเล็กละเอียดมาก ความถ่วงจำเพาะ 2-2.7 มีพื้นที่ผิวจำเพาะปฐมภูมิ (Primary specific Surface) สูงมาก ระหว่าง 50 ถึง 120 ตารางเมตรต่อกรัม และพื้นที่ผิวจำเพาะทุติยภูมิ (Secondary specific Surface) สูงได้ถึง 840 ตารางเมตรต่อกรัม มีคุณสมบัติการดูดซับที่ดี สามารถดูดน้ำไว้ได้มากซึ่งเป็นผลให้ดินมีลักษณะขยายตัว (Swell ability) สูง 5 – 20 เท่าของปริมาตรดินแห้งหรือเกิดการพองตัวบวมเมื่ออุ้มน้ำไว้ได้มาก ๆ สามารถจำแนกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. Natural Sodium Bentonite ดินชนิดที่เป็นผงละเอียด เมื่อผสมกับน้ำแล้วจะบวมตัวขึ้นมา 4-5 เท่า เนื่องจากดูดน้ำได้ดี และมีความเหนียวมากเป็นพิเศษ มีคุณสมบัติคล้ายกาว มักนำไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมเซรามิก อุตสาหกรรมปิโตรเลียม
2. Natural Calcium Bentonite ดินชนิดที่ไม่บวมตัว มีความเหนียวเหมือน ดินเหนียวธรรมดา ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมอาหาร
3. Sodium Activated Calcium Bentonite เป็นการนำดินเบนทอไนต์ชนิดไม่บวมตัวมาปรับปรุงคุณภาพโดยการเติม สารละลาย Sodium Carbonate ลงไปเพื่อให้เกิดการถ่ายเทประจุบวก (Cation Exchange) ทำให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ Natural Sodium Bentonite ในราคาที่ถูกลงจึงมีการนำมาใช้ในการอุตสาหกรรมก่อสร้างอย่างมากมาย โดยเฉพาะทางด้านกรก่อสร้างและอุตสาหกรรมปิโตรเลียม

## 2.2 สารละลายเบนทอไนต์ (Bentonite Slurry)

เป็นการนำ Natural Sodium Bentonite หรือ Sodium Activated Calcium Bentonite มาละลายกับน้ำสะอาดอย่างช้าๆ โดยทั่วไปจะผสมในอัตราส่วนร้อยละ 4.0-6.0 ต่อน้ำหนักรวมขึ้นอยู่กั สภาพของสภาพทางธรณีของพื้นที่นั้น เพื่อนำไปใช้ในการเจาะเสาเข็มแบบเปียก โดยมีหน้าที่ดังนี้

1. ช่วยพยุงผนังของหลุมเจาะด้วยการสร้างแรงดันด้านไว้ โดยสารละลายเบนทอไนต์จะแทรกซึมเข้าไปที่ผิวของผนังหลุมเพื่ออุดช่องว่างในชั้นดินกลายเป็นผนัง (Filter Cake) ที่ป้องกันการซึมหายสารละลายเบนทอไนต์จากการเพิ่มขึ้นของแรงดันน้ำใต้ดินและการลดลงของความแข็งแรงในแนวเฉือน (Shear Strength) ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงสูงสุดของผนังหลุมเจาะ โดยจะก่อให้เกิดผนังป้องกัน 3 แบบ (Federation of piling specialists, 2006) คือ
  - 1.1 การกรองชนิดพื้นผิว (Surface Filtration) เกิดจากการก่อดัวของผนัง Filter Cake บริเวณช่องว่างของอนุภาคที่พื้นผิวของผนังหลุม
  - 1.2 Deep Filtration จะเกิดขึ้นเมื่อสารละลายเบนทอไนต์แทรกซึมสู่ผนังลึกประมาณ 40-50 มิลลิเมตร
  - 1.3 Rheological Blocking ซึ่งเกิดจากการที่สารละลายเบนทอไนต์ถูกยั้งให้ซึมผ่านชั้นดินด้วยแรงเฉือน ซึ่งจะเกิดเมื่อสารละลายซึมผ่านไปประมาณหลายเมตร
2. คงอยู่ในหลุมเจาะโดยที่ไม่ซึมผ่านชั้นดินออกไปจากหลุม โดยการเกิดผนัง filter cake ส่งผลให้สารละลายเบนทอไนต์ไม่สามารถซึมผ่านชั้นดินลงไปได้ ทำให้สารละลายยังคงอยู่ในหลุมและยังมีอนุภาคของชั้นดินที่ถูกเจาะปะปนอยู่ด้วย
3. แขนวลอยตะกอนดินภายในหลุม เพื่อลดการตกตะกอนทับถมของดินที่ก้นหลุม
4. สามารถถูกแทนที่ด้วยคอนกรีตที่ทำการเทผ่านท่อลงสู่ปลายหลุมเจาะ และไม่ส่งผลทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของเสาเข็มคอนกรีตกับผนังของรูเจาะลดลง
5. สามารถนำไปกรองผ่านตะแกรงหรือไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) เพื่อคัดแยกอนุภาคของดินและหินออกได้ ซึ่งสามารถจะนำไปใช้ซ้ำหรือใช้ใหม่ได้
6. สามารถสูบปั๊มได้ง่าย เนื่องจากจะต้องมีการสูบน้ำสารละลายเบนทอไนต์จากหลุมเจาะซึ่งมีอาจมีความลึกมากกว่า 100 เมตร สารละลายเบนทอไนต์จึงควรมีความหนืดที่ต่ำเพื่อที่จะลดการทำงานหนักของปั๊ม แต่อย่างไรก็ตามสารละลายควรมีค่า gel strength ที่สูงเพื่อลดการตกตะกอนของอนุภาคที่ปนเปื้อนมาในโคลนเจาะซึ่งอาจรบกวนการทำงานของปั๊มได้

หลังจากผสมสารละลายเบนทอไนต์จะต้องมีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของสารละลายให้อยู่ในมาตรฐานตามตารางที่ 2.1 ซึ่งมีคุณสมบัติที่พิจารณา คือ ความหนาแน่น (density) การไหลสูญหายของน้ำในของเหลว (fluid loss) ความหนืด (viscosity) ปริมาณทราย (sand screen) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH value) โดยการตรวจสอบคุณสมบัติของสารละลายเบนทอไนต์จะต้องทำการชั่งตัวอย่างตั้งแต่ยังไม่ได้ใช้งานและหลังผ่านการใช้งานแล้วที่บริเวณที่กั้นหลุมเจาะ ซึ่งหากคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานจะต้องทำการปรับปรุงคุณภาพหรือทิ้งเพื่อป้องกันผลกระทบต่อกระบวนการแบกรับน้ำหนักได้ต่ำกว่าที่มีการออกแบบไว้

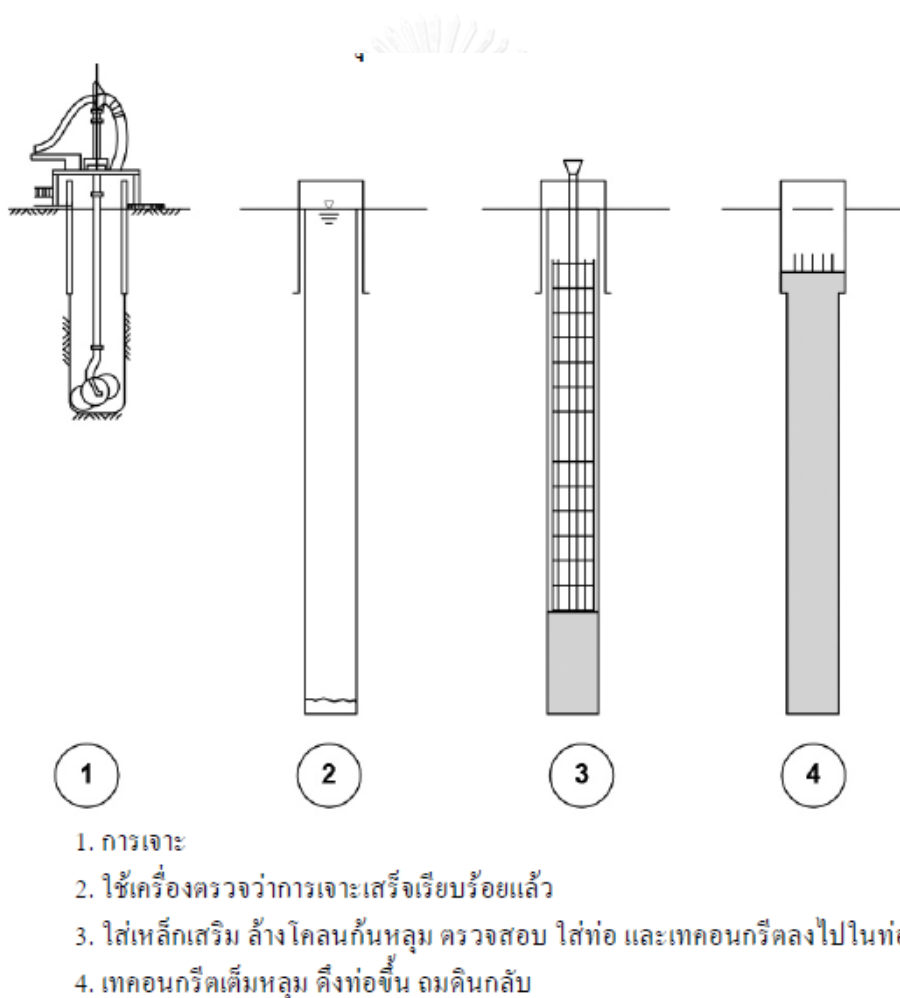
คุณสมบัติที่ต้องทดสอบ	วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ	API RP 13 Section	ทดสอบคุณสมบัติที่อุณหภูมิ 20 °C	
			เมื่อเติมลงในหลุมเจาะ	ตัวอย่างเก็บจากก้นหลุมเจาะก่อนเทคอนกรีต
1. ความหนาแน่น	mud balance	1	สูงสุด 1.10 g/ml	สูงสุด 1.15 g/ml
2. การไหลสูญหายของน้ำในของเหลว	fluid loss	3	สูงสุด 30 ml	สูงสุด 40 ml
3. ความหนืด	marsh cone test	2	30-45 วินาที	30-55 วินาที
4. ปริมาณทราย	sand screen	4	สูงสุด 3 %	สูงสุด 3 %
5. ค่าความเป็นกรด/ด่าง	lismas paper	-	9.5-10.8	9.5-11.7

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของสารละลายเบนทอไนต์สำหรับการขุดเจาะเสาเข็ม (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2548)

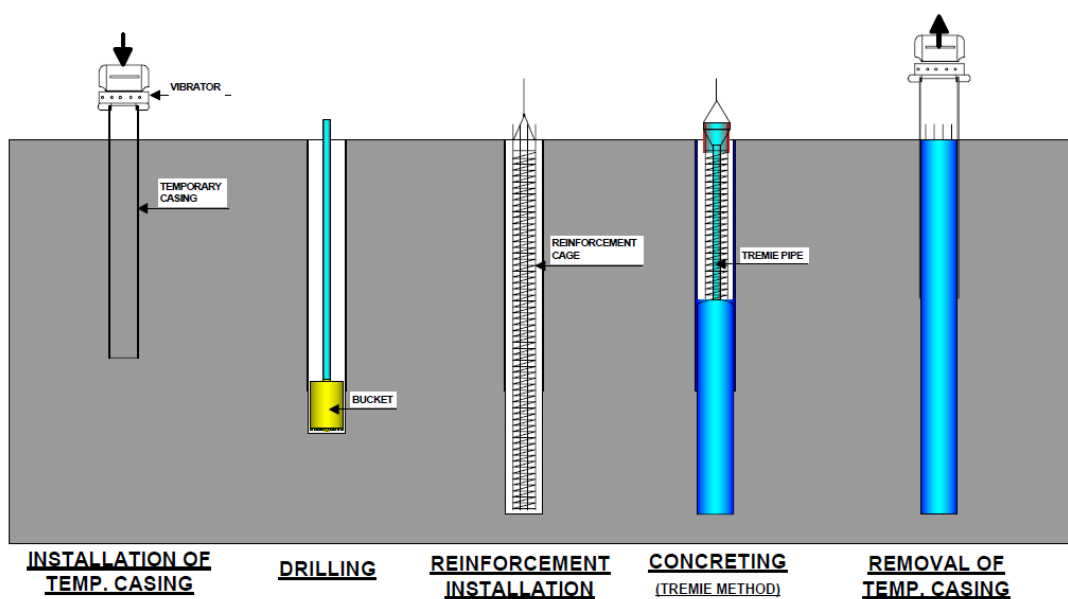
### 2.3 เสาเข็มระบบเจาะแบบเปียก

เป็นกระบวนการในการก่อสร้างฐานรากที่นิยมกันเป็นเวลานานแล้วเนื่องจากสามารถออกแบบเสาเข็มให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มที่เล็กตั้งแต่ 80 เซนติเมตร ไปจนถึงขนาด 180 เซนติเมตร อีกทั้งยังมีการสั่นสะเทือนในระหว่างขุดเจาะน้อยกว่าจึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงน้อยกว่าการขุดเจาะเสาเข็มแบบอื่น และใช้เวลาในการขุดเจาะเสาเข็มน้อยกว่าการขุดเจาะเสาเข็มแบบอื่นอีกด้วย

สำหรับการขุดเจาะเสาเข็มระบบเจาะแบบเปียกในกรุงเทพมหานครนั้นมีการเริ่มใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 ในงานก่อสร้างรากฐานเข็มเจาะต่อม่อใต้แม่น้ำเจ้าพระยา โดยใช้หัวเจาะกัดดินให้เป็นขนาดเล็กภายในหลุมเจาะที่มีสารละลายเบนทอไนต์แล้วจึงปั๊มดูดสารละลายเบนทอไนต์ที่มีตะกอนปนอยู่ขึ้นมา เรียกวิธีการนี้ว่าวิธีระบายน้ำกลับทาง (Reverse Circulation Drilling Technique) (ชัยและนากาซาว่า, 2528) ตามรูปที่ 2.1 จากนั้นได้มีการเปลี่ยนพัฒนาเทคนิคในการขุดเจาะเพื่อให้รองรับต่อการสร้างอาคารสูงภายในกรุงเทพฯ โดยการใช้หัวเจาะสว่านหมุนเจาะดินเป็นก้อนในหลุมที่มีสารละลายเบนทอไนต์ตามรูปที่ 2.2 เรียกว่าระบบ Rotary Drilling Under Bentonite Slurry Displacement Technique ซึ่งการขุดเสาเข็มระบบนี้ยังได้รับความนิยมในการใช้อย่างแพร่หลายและมีการพัฒนาต่อยอดจนทำให้เสาเข็มสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นจนถึงปัจจุบัน



รูปที่ 2.1 การขุดเสาเข็มระบบเจาะแบบเปียก Reverse Circulation Drilling Technique (ชัยมุกตพันธุ์, 2528)



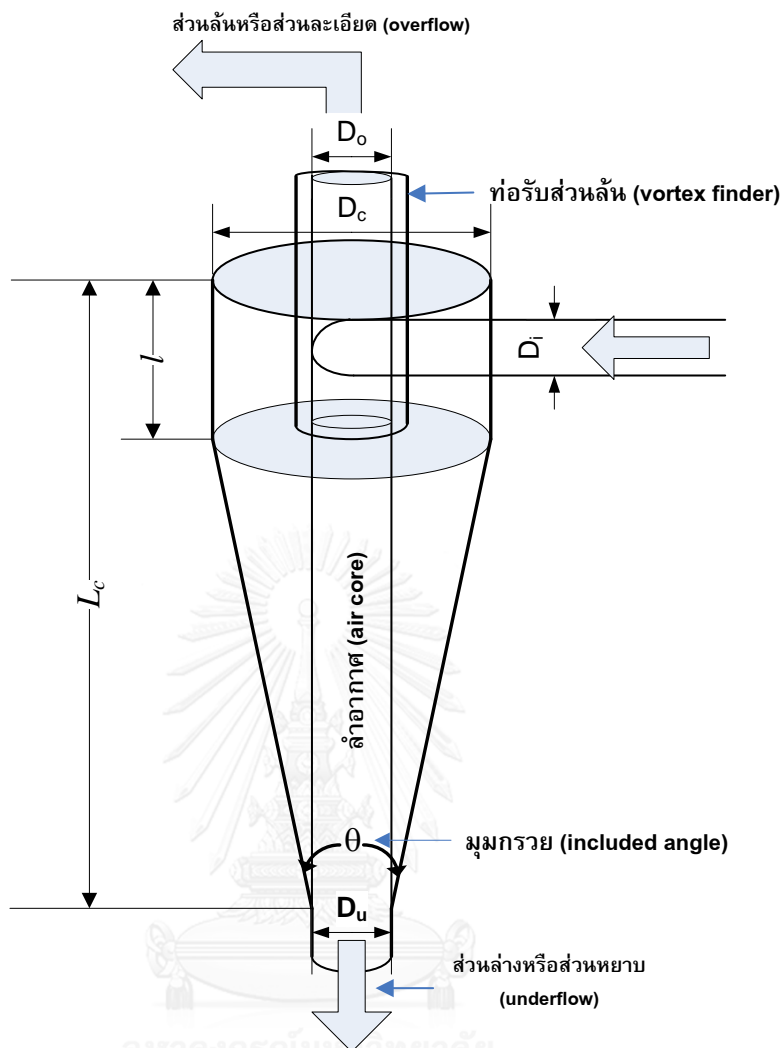
รูปที่ 2.2 การขุดเสาเข็มระบบเจาะแบบเปียก ระบบ Rotary Drilling Under Bentonite Slurry Displacement Technique (ท. ป. ณรงค์ ทศนนิพันธ์, 2557)

## 2.4 ไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone)

เป็นเครื่องมือที่นำมาใช้ในการคัดขนาดของสินแร่ด้วยของไหลโดยใช้ น้ำเป็นตัวกลาง สามารถนำไปใช้ประโยชน์ดังต่อไปนี้

1. ทำหน้าที่กำจัดฝุ่นละเอียดหรือตะกอนฝุ่น (Desliming)
2. ทำหน้าที่กำจัดตะกอนหยาบ (Degritting)
3. ทำหน้าที่คัดขนาด (Classification)
4. ทำหน้าที่แต่งแร่ (Separation หรือ Concentration)
5. ทำหน้าที่ชะล้าง (Washing)

ส่วนประกอบของไฮโดรไซโคลน ดังแสดงตามรูปที่ 2.3 สามารถจำแนกได้ดังนี้

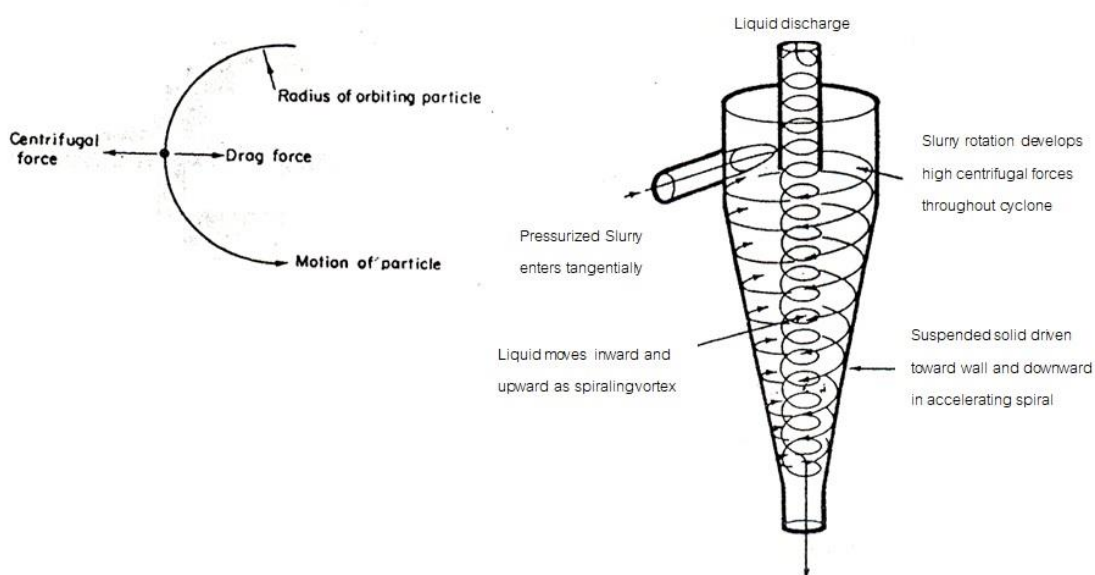


รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของเครื่องไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) (ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์, 2553)

1. ช่องป้อนเข้า (Feed Nozzle) เป็นทางเข้าของสิ่งที่ป้อนเข้าสู่ไฮโดรไซโคลนด้วยแรงดันคงที่ ทำให้เกิดการหมุนเวียนภายในไซโคลน ช่องป้อนนี้จะมีแนวสัมผัสกับตัวไซโคลนพอดี
2. ช่องบนและแผ่นปิด (Top and End Plate) ส่วนบนของไฮโดรไซโคลนจะถูกปิดด้วยแผ่นปิด โดยที่ท่อล้นออก (Overflow) อยู่ในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางออกในแนวตั้ง
3. ช่องทางออกของขนาดละเอียด (Vortex Finder) เป็นช่องทางออกของขนาดละเอียด (Undersize) โดยต่อเป็นท่อจากแผ่นปิด
4. ตัวไซโคลน (Cyclone Body) ลักษณะเป็นรูปกรวยมีมุมประมาณ  $10^{\circ}$  -  $20^{\circ}$  ถ้ามุมเล็กๆเหมาะสำหรับการแต่งแร่ขนาดละเอียด
5. ช่องทางออกของขนาดหยาบ (apex Orifice) เป็นทางออกของขนาดหยาบซึ่งอยู่ตอนล่างสุดของไซโคลน

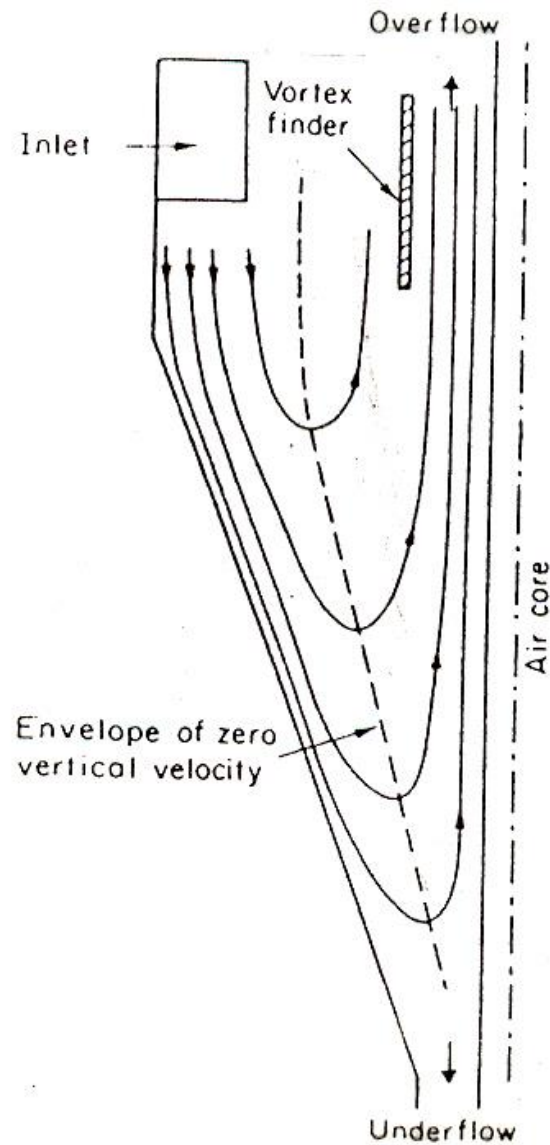
### 2.4.1 หลักการทำงานของไฮโดรไซโคลอน

ไฮโดรไซโคลอนจะใช้ความแตกต่างของอัตราการจมตัวในไซโคลอน โดยเมื่อป้อนแร่ผสมน้ำในอัตราส่วนที่พอเหมาะเข้าไปในไซโคลอนจะทำให้เกิดการไหลวนรอบผนังไซโคลอน ในระยะใกล้แนวแกนจะมีความดันต่ำ ช่วงแนวแกนจะเปิดออกทั้งด้านบนและด้านล่าง ขนาดเม็ดละเอียดจะไหลวน และถูกดันออกทางด้านบน ขนาดหยาบจะไหลออกด้านล่าง อนุภาคจะถูกกระทำด้วยแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) และแรงโน้มถ่วง (Drag Force) ดังแสดงตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงแรงกระทำที่เกิดภายในไฮโดรไซโคลอน (ภิญโญ มีชำนะ, 2551)

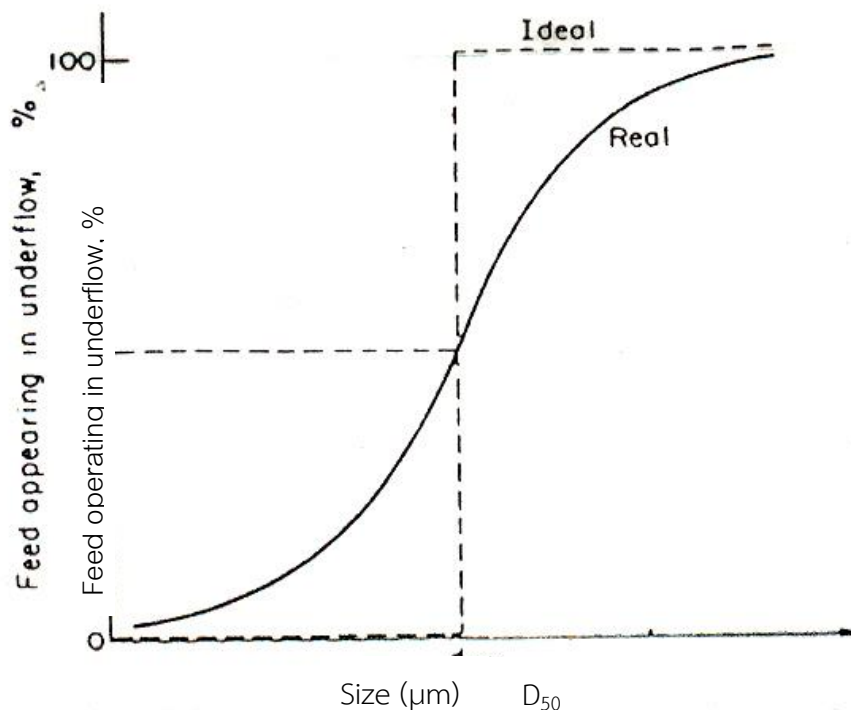
โดยความเร็วของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับอัตราการจมตัว ซึ่งอัตราการจมตัวนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาด น้ำหนัก และความถ่วงจำเพาะของอนุภาค ถ้าแร่หรืออนุภาคมีน้ำหนักมาก จะทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางสามารถเอาชนะแรงโน้มถ่วง อนุภาคจะติดไหลตามผนังไซโคลอนจมลงสู่ตอนล่าง แต่ถ้าแรงหนีศูนย์กลางน้อย แรงถ่วงจะดึงเข้าสู่ศูนย์กลาง แนวแกนซึ่งเป็นโซนของความดันต่ำทำให้เกิดการยกตัวของอนุภาคออกจากช่องบน (Vortex Finder) ส่วนที่เคลื่อนที่ขึ้นและเคลื่อนที่ลงจะมีเส้นแบ่ง ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ไม่มีความเร็วในแนวแกนตั้ง เรียกว่า Envelope of Zero Vertical Velocity อนุภาคที่อยู่ในแนวเส้นนี้พอดี จะมีแรงหนีศูนย์กลางเท่ากับแรงโน้มถ่วง ซึ่งจะทำให้อนุภาคไม่มีความเร็วในแนวตั้ง จึงมีโอกาสเป็นไปได้ว่าอนุภาคนั้นอาจจะออกไปทางด้านบน หรือด้านล่างของไฮโดรไซโคลอนก็ได้ ดังแสดงตามรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โชนความเร็วในแนวตั้งและแนวรัศมีภายในไฮโดรไซโคลน (ภิญโญ มีชำนะ, 2551)

ในการประเมินการทำงานของไฮโดรไซโคลนจะใช้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของแร่ป้อนที่เข้าไปอยู่ในส่วนหยาบกับขนาดของอนุภาค โดยเส้นโค้งจะแสดงถึงประสิทธิภาพในการคัดขนาด (Performance Partition Curve or Tromp Curve) ดังแสดงในกราฟที่ 2.1 ซึ่งเห็นได้ว่า ขนาดของอนุภาคที่มีโอกาส 50% ที่จะเข้าไปอยู่ในส่วนหยาบหรือเข้าไปอยู่ในส่วนละเอียดได้เช่นกัน สามารถเรียกโอกาสนี้ว่า  $d_{50}$  จะเป็นขนาดซึ่งแยกระหว่างอนุภาคและอนุภาคละเอียด หากความชัน (Slope) ของเส้นโค้งยิ่งใกล้จะเป็นเส้นตรงตั้งตั้งประสิทธิภาพของการคัดขนาดจะเพิ่มขึ้น



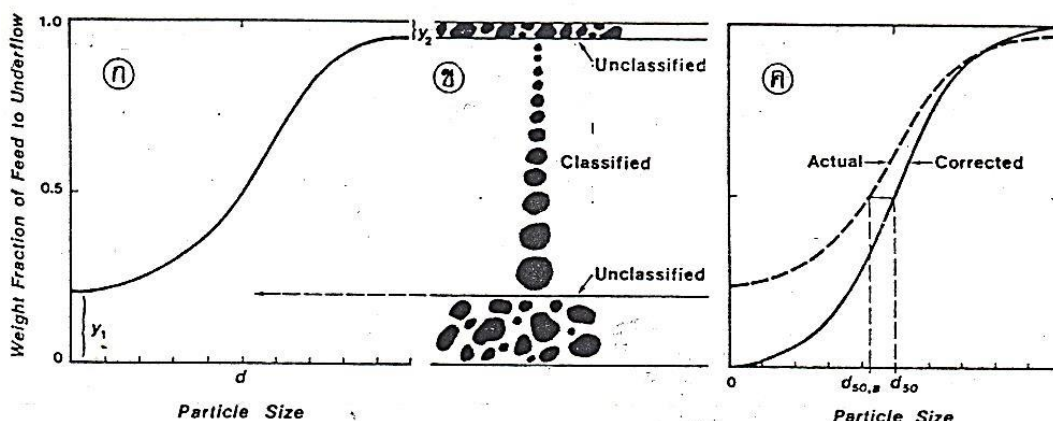


กราฟที่ 2.1 กราฟแสดงสมรรถนะของไฮโดรไซโคลน (Tromp Curve) (ภิญโญ มีชำนะ, 2551)

ความไม่สมบูรณ์ของการคัดขนาด (Imperfection) จะมีค่าดังนี้

$$I = \frac{d_{75} - d_{25}}{2d_{50}}$$

การคัดขนาดที่เกิดขึ้นจริง ๆ นั้น จะพบว่า มีแร่ป้อนบางส่วนซึ่งประกอบด้วยส่วนหยาบ และ ส่วนละเอียดไม่ได้ถูกคัดขนาด (Unclassified) เพราะมีรูปแบบการไหลลัดวงจร (Short Circuit Flow) เกิดขึ้นในไฮโดรไซโคลน ทำให้เกิดการผิดที่ผิดทาง (Misplaced) ของขนาดที่ผ่านการคัดแล้ว โดยจะพบว่า มีอนุภาคของแร่ป้อนทุกขนาดในน้ำของส่วนหยาบ (Underflow Water) เนื่องจากบางส่วนของแร่ป้อนไม่ถูกคัดขนาดนั่นเอง ทำให้เส้นโค้งประสิทธิภาพที่ได้จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขเพื่อที่จะได้แสดงผลของการคัดขนาดอย่างถูกต้อง เส้นโค้งประสิทธิภาพที่ได้จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขเพื่อที่จะได้แสดงผลของการคัดขนาดอย่างถูกต้อง เส้นโค้งประสิทธิภาพที่ได้แก้ไขแล้ว (Corrected Performance Curve) ได้แสดงไว้ในกราฟที่ 2.2 เช่นกัน



กราฟที่ 2.2 เส้นโค้งประสิทธิภาพในการคัดขนาด

- (ก) เส้นโค้งประสิทธิภาพ (Performance, Partition or Tromp Curve)
  - (ข) ความไม่สมบูรณ์ในการคัดขนาด (Imperfection of Classification)
  - (ค) เส้นโค้งประสิทธิภาพที่แก้ไขแล้ว (Corrected Performance Curve)
- (ภิญโญ มีชำนะ, 2551)

เส้นโค้งประสิทธิภาพสามารถแก้ไขได้ด้วยสมการ

$$Y' = \frac{Y - R}{F - R}$$

- โดยที่ Y' = สัดส่วนน้ำหนักที่แก้ไขของขนาดที่อยู่ในส่วนหยาบ
- Y = สัดส่วนของน้ำหนักรจริงของขนาดที่อยู่ในส่วนหยาบ
- R = ปริมาณสัดส่วนของน้ำหนักรที่เก็บในส่วนหยาบ
- F = ปริมาณแร่ป้อน

สำหรับการหาขนาดที่ทำการคัด (Cut Size) ในที่นี้จะหมายถึงขนาด  $d_{50}$  ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรตามสมการดังต่อไปนี้

สมการ Dahlstrom ซึ่งเป็นที่รู้จักและใช้กันแพร่หลายในกรณีที่ใช้โคลนมีน้ำเป็นตัวกลาง และมีความหนาแน่นไม่เกิน 25% Solids

$$d_{50} = \frac{81(D_o D_i)^{0.68}}{(Gpm)_f^{0.53}} \left( \frac{1.73}{p_s - p_o} \right)^{0.5}$$

$$(Gpm) = 6(D_0 D_i)^{0.9} p^{0.5}$$

โดยที่  $d_{50}$  = ขนาดของอนุภาคเป็นไมครอน ( $\mu$ ) ซึ่ง 50% ไหลออกทาง Overflow (OF)

และ 50% ไหลออกทาง Underflow (UF)

$D_0$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของ OF (นิ้ว)

$D_i$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องป้อนเข้า (นิ้ว)

$G$  = ความสามารถของไซโคลนของน้ำที่ป้อนผ่านเข้าช่องป้อน

(แกลลอนต่อนาที)

$P$  = ความกดดัน (ฟุตของน้ำ)

$P_s$  = ความถ่วงจำเพาะของอนุภาค

$P_0$  = ความถ่วงจำเพาะของของเหลว

$D_0$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลนมีหน่วยเป็น (นิ้ว)

จากการออกแบบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดช่องต่างๆของไซโคลน ปรากฏว่า ไซโคลนจะทำงานได้ผลใกล้เคียงกับสูตร ควรจะมีขนาดดังนี้

$$\frac{D_c}{3} \geq D_0 \geq \frac{D_c}{4}$$

$$D_0 = 1.4 D_i$$

ในกรณีที่อนุภาคเป็นทรายมี ถ.พ. 2.70 และตัวกลางเป็นน้ำทำงานที่ความดัน 10 psig จะได้ว่า

$$D_0 = \frac{D_c}{3}$$

$$Gpmf = 2.87 D_c$$

$$d_{50} = 8.26 D_c$$

$$D_0 = \frac{D_c}{4}$$

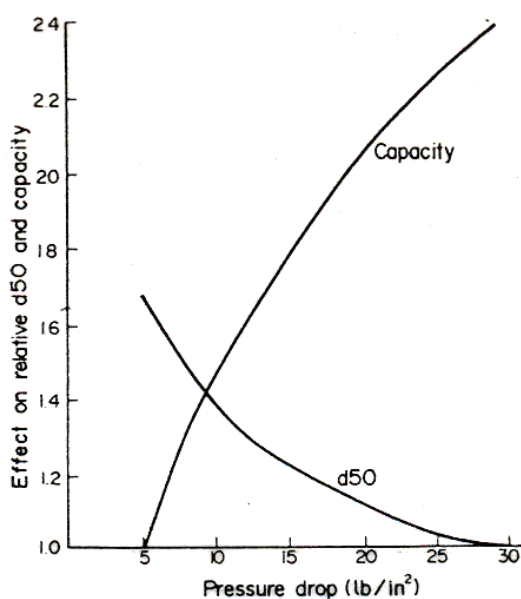
$$Gpmf = 1.71 D_c$$

$$d_{50} = 7.3 D_c$$

ในการปฏิบัติงานจริงๆ ประสิทธิภาพในการคัดขนาดนิยมใช้  $d_{95-99}$  เป็นตัวชี้แทน  $d_{50}$  คือหมายความว่า ประสิทธิภาพของไซโคลนซึ่งสามารถคัดขนาดของอนุภาคที่ต้องการได้ 95-99% ให้ไหลออกทาง Underflow

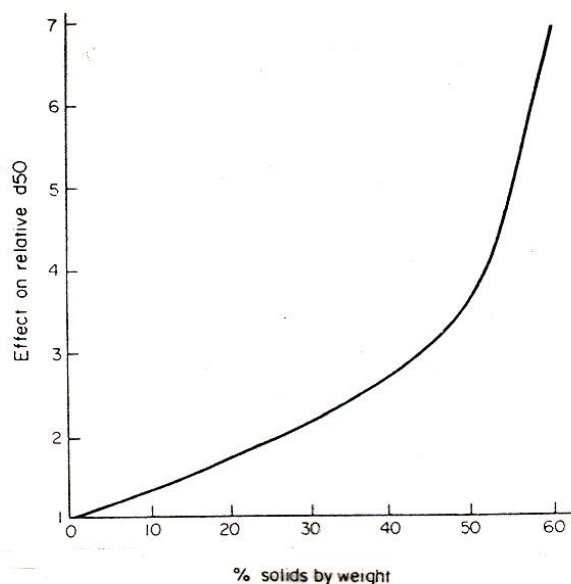
นอกจากนี้ยังมีสมการของ Mular Jall โดยการพัฒนาสมการซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่าง  $d_{50}$  กับตัวแปรต่างๆ เช่น ผลของความดัน ความหนาแน่น หรือ % Solids รูปร่างของอนุภาค เป็นต้น องค์ประกอบที่มีผลต่อ Capacity ของไซโคลน ขึ้นอยู่กับขนาดและสัดส่วนต่างๆ ของไซโคลนด้วย

สำหรับผลของความดันลด (Pressure Drop) ของแร่ป้อนที่มีผลต่อขนาดคัด ( $d_{50}$ ) ได้แสดงไว้ตามกราฟที่ 2.3 จะเห็นว่าเมื่อความดันลดมีค่าเพิ่มขึ้น จะเห็นว่าขนาดที่ทำการคัดสินแร่ได้จะเล็กลง แต่ความจุ (Capacity) ก็เพิ่มขึ้นเนื่องจากสามารถป้อนสินแร่ผสมน้ำเข้าไปในไฮโดรไซโคลนได้มากขึ้น



กราฟที่ 2.3 Effect of Pressure on Capacity and Cut-Point of Hydrocyclone (ภิญโญ มี  
ชำนาญ, 2551)

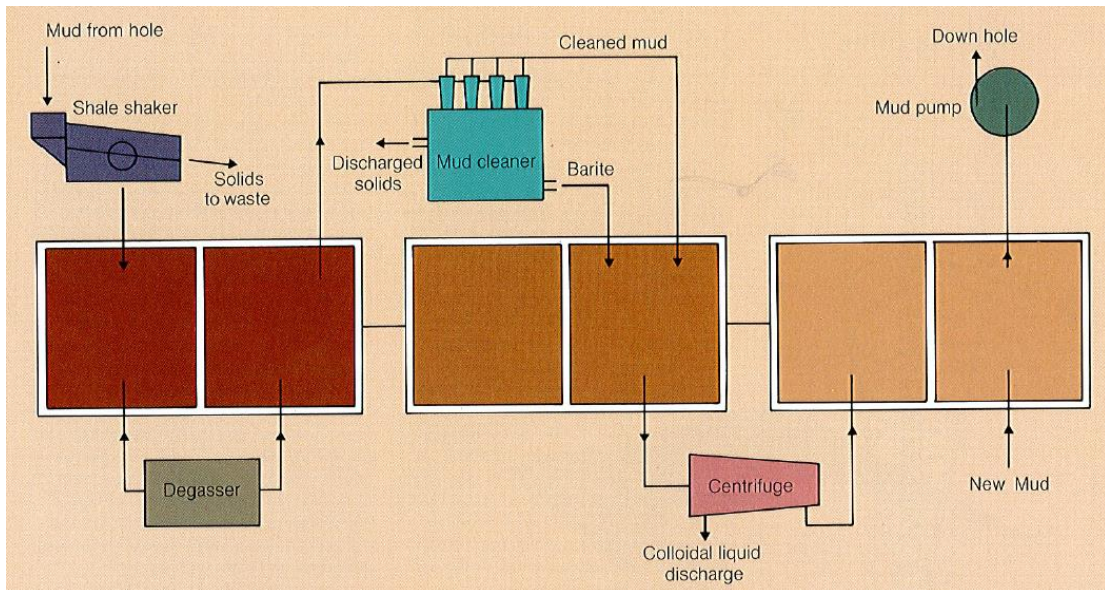
ส่วนความเข้มข้นของของผสมในแร่ป้อนจะมีผลต่อขนาดที่ตัด ( $d_{50}$ ) เช่น เข้ม กล่าวคือ หากความเข้มข้นของของผสมในแร่ป้อนเพิ่มสูงขึ้นก็จะทำให้ขนาดที่ตัดได้หยาบขึ้น ดังแสดงตามกราฟที่ 2.4



กราฟที่ 2.4 Effect of Solids Concentration on Cut-Point of Hydrocyclone (ภิญโญ มีชำนะ, 2551)

## 2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Thomas G., 1989, July) ได้นำเสนอการตรวจเช็คคุณภาพของโคลนเจาะในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเพื่อลดต้นทุนและยืดอายุการใช้งานของโคลนเจาะ โคลนเจาะที่ใช้กันจะมีแร่แบไรต์และแร่เบนทอนต์เป็นส่วนประกอบ ซึ่งแบไรต์จะมีขนาด 5-80 ไมครอน และเบนทอนต์จะมีขนาด 10 ไมครอนลงไป โดยวิธียืดอายุการใช้งานโคลนเจาะนั้นจะใช้อุปกรณ์ 3 ตัว คือ ตะแกรงสั่น (vibrating screen) mud cleaner และเครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) จากรูปที่ 2.9 เริ่มจากการคัดแยกอนุภาคขนาดทรายโดยใช้ตะแกรงสั่นที่มีขนาด 200 mesh จากนั้นโคลนเจาะซึ่งมีแบไรต์และเบนทอนต์จะถูกนำเข้าไปไฮโดรไซโคลน desanders ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-12 นิ้ว ส่วนโคลนเจาะที่มีอนุภาคเล็กจะถูกปั๊มเข้าสู่ไฮโดรไซโคลน desilters ขนาด 4 นิ้ว โดยสามารถคัดขนาดเล็กลงที่สุดที่ 15 ไมครอน ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคของเบนทอนต์เป็นส่วนใหญ่ ส่วนอนุภาคที่โตกว่า 15 ไมครอนจะถูกป้อนลงสู่ปากทางออกของขนาดหยาบเพื่อเข้าสู่ mud cleaner ซึ่งเป็นตะแกรงขนาดเล็กมาก โดยอนุภาคที่ค้างตะแกรงจะถูกแยกไว้ ส่วนแบไรต์ที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะผ่านตะแกรงจะถูกส่งไปที่เครื่องหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกเอาแบไรต์ออกแล้วจึงไปผสมกับโคลนเจาะใหม่ตามรูปที่ 2.6

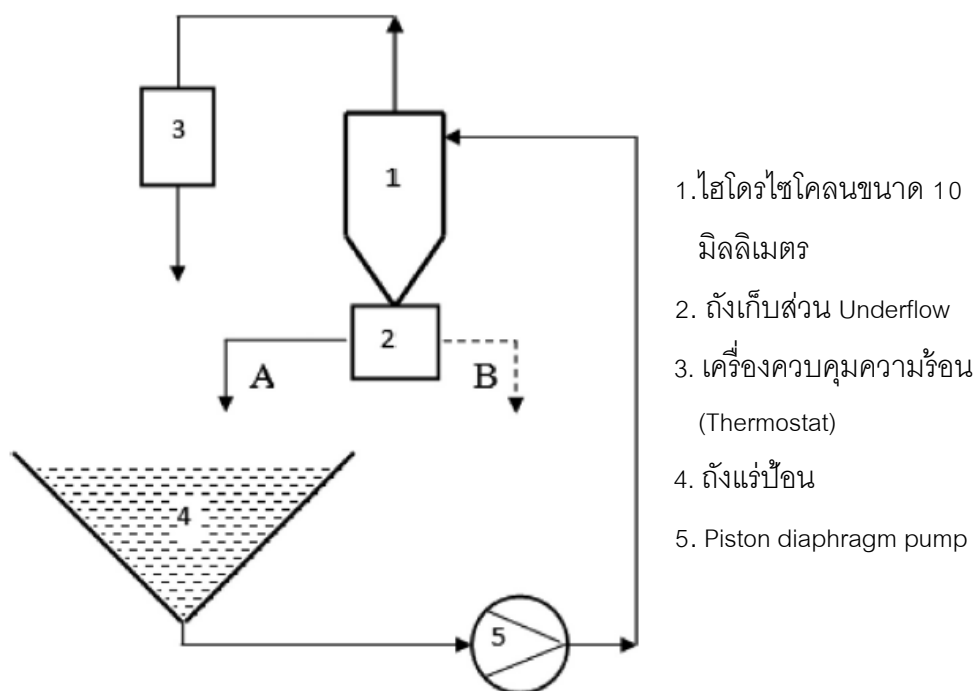


รูปที่ 2.6 ขั้นตอนในการทำความสะอาดโคลนเจาะในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม (Thomas G., 1989, July)

(Federation of piling specialists, 2006) ได้ให้ข้อมูลในการทำความสะอาดให้โคลนเจาะหลังจากการใช้งานแล้ว โดยหลังจากที่ได้รับการตรวจสอบว่าโคลนเจาะมีการปนของตะกอนและชั้นดินเกินร้อยละ 4 โคลนเบนทอนไนด์จะต้องถูกปั๊มขึ้นมาเพื่อนำไปคัดแยกด้วยตะแกรงเส้นขนาดตะแกรง 5 มิลลิเมตร หลังจากนั้นจะถูกลบโคลนเจาะจะถูกปั๊มสู่เครื่องไฮโดรไซโคลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 250-450 มิลลิเมตร ตะกอนขนาดทรายจะถูกคัดแยกออกทางปากทางด้านล่าง (Underflow) ซึ่งจะถูกลบไปผ่านตะแกรงเส้นที่มีขนาดตะแกรงละเอียดเพื่อแยกน้ำออก หลังจากนั้นจะถูกปั๊มเข้าสู่ไฮโดรไซโคลอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงเพื่อแยกอนุภาคขนาดแป้ง โดยโคลนเจาะที่ผ่านออกทางปากทางด้านบนซึ่งมีอนุภาคขนาดเล็กจะถูกลบไปใช้ได้ หากปริมาณความเข้มข้นของของผสมในแร่ป้อนสูงขึ้นหรือความหนืดของโคลนเจาะเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการคัดแยกให้ลดลง จึงอาจจะต้องนำไปคัดแยกด้วยไฮโดรไซโคลอนซ้ำ

(Neesse T, 2015, February) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการคัดขนาดของอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากๆ โดยใช้เครื่องไฮโดรไซโคลอนที่ความดันสูง ตัวอย่างที่นำมาคัดแยกคือสารละลายที่มีแบคทีเรียแขวนลอยอยู่ เครื่องไฮโดรไซโคลอนที่ใช้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความดันป้อน 5 – 50 bar อุณหภูมิของของไหลที่ 10 – 50 °C ความเข้มข้นที่ 150g/L โดยวิธีการทดลองแบ่งออกเป็น 2 แบบดังแสดงในรูปที่ 2.7 คือ แบบที่ 1 จะให้วงจรเป็นระบบปิดโดยที่ของไหลที่ได้จากส่วน overflow และ underflow

จะถูกปล่อยลงสู่แท็งก์แล้วปั๊มเข้าสู่ไฮโดรไซโคลอนอีกครั้ง โดยตัวอย่างที่เก็บได้ที่ความดัน 5 bar จะมีค่าคัตขนาด  $D_{50}$  ที่  $1 \mu\text{m}$  และเมื่อเพิ่มความดันป้อนจนถึง 50 bar ขนาดของอนุภาคลดลงเหลือ  $0.5 \mu\text{m}$  และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของของไหลจะส่งผลให้เกิดการคัตขนาดที่ตีขึ้นจาก  $0.7 \mu\text{m}$  ที่อุณหภูมิ  $10^\circ\text{C}$  เป็น  $0.5 \mu\text{m}$  ที่อุณหภูมิ  $50^\circ\text{C}$



รูปที่ 2.7 รูปแบบการทดลองโดยซีไฮโดรไซโคลอนขนาด 10 มิลลิเมตร (Neesse T, 2015, February)

ในส่วนการทดลองแบบที่ 2 จะให้ของไหลจากส่วน overflow ไหลกลับสู่ถังเก็บแล้วปั๊มเข้าสู่ไฮโดรไซโคลอนอีกครั้งไปเรื่อยๆ โดยจับเวลาตั้งแต่ 0 – 122 นาที และชักตัวอย่างตามเวลาที่ 0 นาที 21 นาที 42 นาที 64 นาที 96 นาที และ 122 นาที เพื่อเทียบหาขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปจากการศึกษาพบว่าเมื่อเวลาในการคัตขนาดหลายๆรอบของ overflow จะทำให้ขนาดของอนุภาคที่ได้เล็กลง แต่ปริมาณที่เก็บได้ก็จะลดลงตามไปด้วย

(ณรงค์ ทศนิพนธ์, 2557b) ได้นำเสนอข้อมูลของความก้าวหน้าทางเทคนิคของเสาเข็มเจาะลึกมากระบบเปียกที่ก่อสร้างในชั้นดินของกรุงเทพฯ ซึ่งมีชั้นดินตะกอน (silt) ปนอยู่ในชั้นดินเหนียว (clay) และชั้นดินทรายละเอียด (silty sand) ในการควบคุมคุณสมบัติของสารละลายเบนทอไนต์เป็นส่วนหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็ม โดยในช่วงปี พ.ศ.2520-2535 ซึ่งเป็นยุคแรกของการนำเสาเข็มเจาะระบบเปียกมาใช้ นั้นผู้ประกอบการยังไม่มีความรู้และไม่ได้ให้

ความสำคัญมากต่อการควบคุมคุณสมบัติของสารละลายเบนทอไนต์ โดยการทำความสะอาดสารละลายเบนทอไนต์จะทำโดยเครื่องทำความสะอาดสารละลายเบนทอไนต์ (desander unit) ซึ่งสามารถคัดแยกอนุภาคของดินทรายได้เท่านั้น ทำให้คุณสมบัติของสารละลายเสื่อม ต่อมาในปี พ.ศ. 2535 จึงมีการติดตั้ง desilter unit เพื่อคัดแยกอนุภาคนาขนาดแป้งของดินตะกอนออกจึงทำให้การควบคุมคุณภาพสารละลายเบนทอไนต์ดีขึ้น





### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 แผนการศึกษาวิจัย

โคลนเบนทอไนด์ที่นำมาทำการศึกษานี้มีปริมาณอนุภาคของทรายปนเปื้อนอยู่มากกว่าร้อยละ 21.96 ของน้ำหนักแร่ ซึ่งในทางการใช้งานในการขุดเจาะเสาเข็มระบบเปียกจะถือว่าไม่สามารถนำมาใช้งานได้อีกต่อไปกลายเป็นโคลนเจาะเหลือทิ้ง แต่เนื่องจากการเล็งเห็นถึงการใช้ทรัพยากรต่างๆให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเล็งเห็นถึงเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพเพื่อที่จะคัดแยกเอาอนุภาคของทรายออกจากโคลนเจาะเหลือทิ้งให้เหลือในปริมาณที่สามารถนำกลับไปใช้ได้ในการขุดเจาะเสาเข็มระบบเปียกเช่นเดิม ดังนั้นจึงต้องมีการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการคัดแยกอนุภาคของภาคของทรายเหล่านี้จากโคลนเจาะเหลือทิ้งโดยใช้ไฮโดรไซโคลนในห้องปฏิบัติการ เพื่อดูปัจจัยต่างๆที่เหมาะสมในการคัดแยกและคุณภาพของโคลนเจาะที่แยกได้ว่าสามารถนำกลับมาใช้ได้หรือไม่

การวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพและเงื่อนไขที่สามารถคัดแยกอนุภาคของทรายจากชั้นดินในบริเวณที่ทำการก่อสร้างรากฐานเพื่อให้มีปริมาณของทรายเป็นค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสม

### 3.2 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย

ตัวอย่างของโคลนเจาะเหลือทิ้งในงานวิจัยครั้งนี้ได้มาจากการสถานที่ที่มีการก่อสร้างรากฐานสำหรับรองรับอาคารสูงในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งชั้นทรายแน่นที่มีขนาดลึกลงไปจากผิวดินเป็นระยะทางประมาณ 40 เมตร

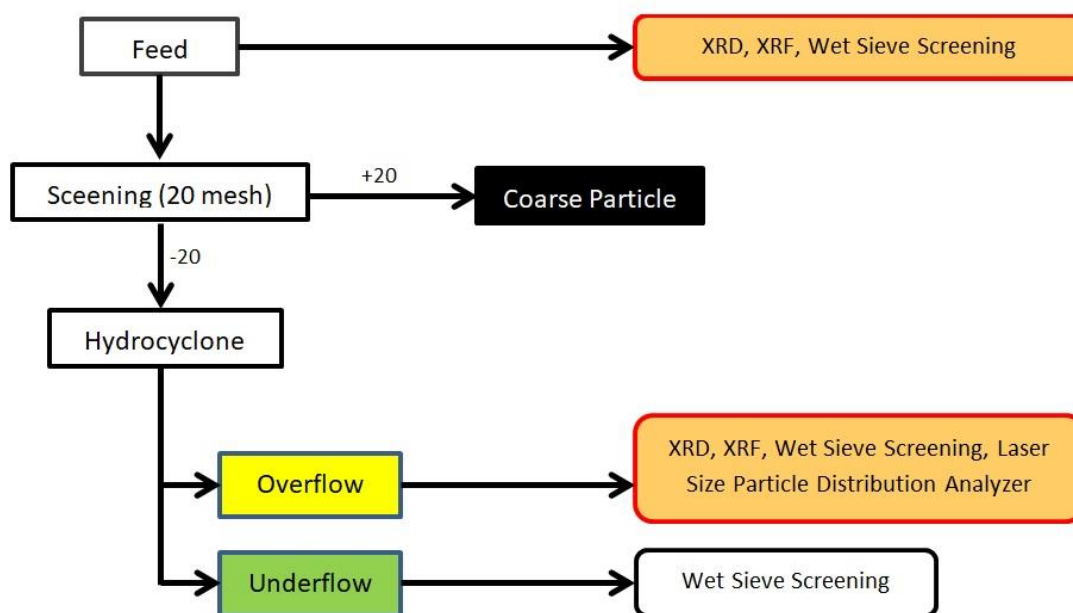
### 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) ของบริษัท Richard Mozley Limited
2. มาตรฐานวัดปริมาณของผสมในของไหล (Direct Reading Pulp Density Scale) ของบริษัท Sepor, Inc.

3. ตะแกรงมาตรฐาน (Sieve Screen) ขนาด 20 mesh 30 mesh 70 mesh 100 mesh 140 mesh 200 mesh และ 325 mesh
4. เครื่องคัดขนาดแบบสั่น (Laboratory Sieve Shaker) ของบริษัท Rigaku
5. เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer, XRD)
6. เครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray Fluorescence, XRF) ของบริษัท Rigaku
7. เครื่องมือวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาค (Laser Particle Size Distribution Analyzer) ยี่ห้อ Mastersizer Hydro
8. เตาอบ (Oven)
9. บีกเกอร์ ขนาด 2000 มิลลิลิตร
10. เครื่องชั่ง
11. นาฬิกา

### 3.4 วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองประกอบไปด้วยการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของการใช้โคลนเบนทอไนต์ในการขุดเจาะเสาเข็มระบบเปียก คุณสมบัติของผงเบนทอไนต์และสารละลายเบนทอไนต์ที่เหมาะสมในการใช้งาน ศึกษาองค์ประกอบความรู้ทางด้านการคัดแยกของอนุภาคด้วยการใช้เครื่องไฮโดรไซโคลอน และศึกษาตัวอย่างของโคลนเบนทอไนต์เหลือทิ้งจากการขุดเจาะเสาเข็มระบบเปียก รวมถึงการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคโดยใช้วิธี Wet Sieve Screening องค์ประกอบของแร่โดยการใช้เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค (XRF) หลังจากนั้นจึงนำโคลนเหลือทิ้งมาคัดขนาดและทำการคัดแยกอนุภาคของทรายออกจากโคลนเบนทอไนต์เหลือทิ้งโดยการใช้เครื่องไฮโดรไซโคลอน ซึ่งจะได้หัวแร่ (Concentration) จากทางฝั่งปากทางน้ำ (Overflow) และหางแร่ (Tailing) จากฝั่งปากทางน้ำ (Underflow) ซึ่งหัวแร่จะถูกนำไปศึกษาและวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคโดยเครื่อง Laser Size Particle Analyzer องค์ประกอบของแร่โดยการใช้เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค (XRF) ในส่วนของหางแร่จะทำการวิเคราะห์หาขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคโดยการทำ wet sieve screening โดยนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาสรุปและอ้างอิงจากเอกสารที่เกี่ยวข้องดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการทดลองในการศึกษาการใช้เครื่องไฮโดรไซโคลนเพื่อคัดแยกเบนโทนไนด์จากโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการขุดเจาะเสาเข็มระบบเปียก

#### 3.4.1 การวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของตัวอย่างโดยใช้วิธี Wet Sieve Screening

โคลนเจาะเหลือทิ้งจะถูกนำไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน แล้วถูกซีกตัวอย่างโดยใช้ Jones Riffle เพื่อให้ได้ตัวอย่างปริมาณ 100 กรัม จากนั้นนำตัวอย่างไปคัดแยกด้วยชุดตะแกรงมาตรฐานขนาด 20 30 70 100 140 200 325 mesh เรียงตามลำดับดับ โดยขณะทำการคัดแยกจะได้น้ำเพื่อช่วยโคลนที่จับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่แตกตัวและผ่านตะแกรงได้ จากนั้นนำแร่ตัวอย่างที่ค้างตะแกรงในแต่ละชั้นไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง แล้วจึงบันทึกผล

#### 3.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)

ตัวอย่างของโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการขุดเจาะเสาเข็มระบบเปียกและผงเบนโทนไนด์จะถูกทำการซีกตัวอย่างโดยใช้ Jones Riffle จากนั้นตัวอย่างอย่างละ 10 กรัม จะถูกบดด้วยเครื่อง

Cup Mill ให้ได้ขนาด 200 mesh แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) โดยเริ่มต้นที่มุม 5 องศา จนถึง 70 องศา ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อได้ผลวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของตัวอย่างพร้อมบันทึกผล

### 3.4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF)

ตัวอย่างของโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการขุดเจาะเสาเข็มระบบเปียกและผงเบนทอไนต์จะถูกทำการชั่งตัวอย่างโดยใช้ Jones Riffle จากนั้นตัวอย่างอย่างละ 10 กรัม จะถูกบดด้วยเครื่อง Cup Mill ให้ได้ขนาด 200 mesh ตัวอย่างที่ได้จะถูกอัดเป็นแผ่นในถ้วยอลูมิเนียมและถูกอัดด้วยเครื่องอัดระบบไฮดรอลิกด้วยแรงขนาด 20 ตัน เวลา 1 นาที จนได้แผ่นแบนสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีจะถูกระบุด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF) แล้วบันทึกผล

### 3.4.4 การทดลองคัดแยกเบนทอไนต์จากโคลนเจาะเสาเข็มระบบเปียกเหลือทิ้งโดยใช้เครื่องไฮโดรไซโคลน

โคลนเจาะเหลือทิ้งจะถูกคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด 20 mesh เพื่อคัดแยกอนุภาคขนาดใหญ่ เช่น กรวด หิน ซึ่งสามารถทำอันตรายต่อเครื่องปั๊มของไฮโดรไซโคลนได้ จากนั้นจะนำโคลนเจาะเหลือทิ้งผสมกับน้ำสะอาดเพื่อให้ได้ปริมาณของแข็งในสารละลาย (Solid Percentage) ตามที่กำหนดไว้ในตัวแปรโดยใช้มาตรวัดปริมาณของแข็งในน้ำ (Direct Reading Pulp Density Scale) ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองการคัดแยกเบนทอไนต์จากโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการขุดเสาเข็มระบบเปียกโดยใช้เครื่องไฮโดรไซโคลน

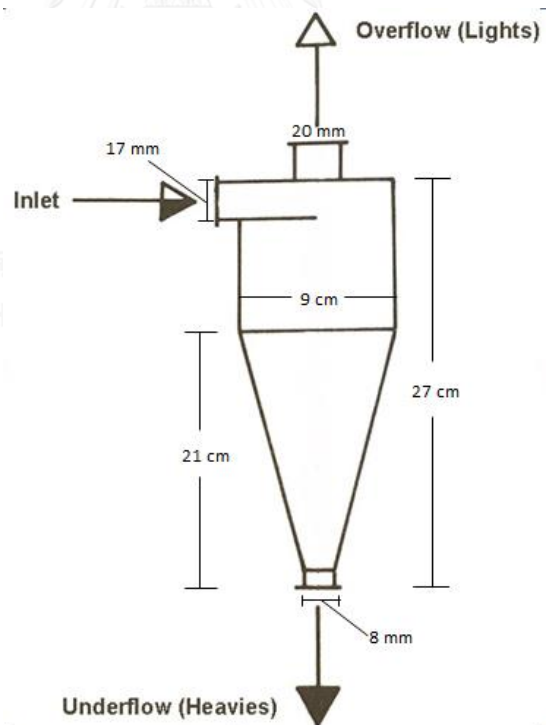
ตัวแปรในการทดลอง				
ปริมาณของแข็งในน้ำ (% Solid, %)	5	10	15	
ความดันป้อน (Feed Pressure, bar)	0.5	1.0	1.5	2.0

เครื่องไฮโดรไซโคลนที่ใช้เป็นเครื่องของบริษัท Richard Mozley Limited โดยขนาดถังของไซโคลนสามารถบรรจุของไหลได้ประมาณ 50 ลิตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอโคน 9 เซนติเมตร ปากทางป้อนวัสดุเข้าขนาด 17 มิลลิเมตร ปากทางออกส่วนละเอียดในส่วนล่าง

(overflow) ขนาด 20 มิลลิเมตร และปากทางออกส่วนหยาบในส่วนล่าง (apex) ขนาด 8 มิลลิเมตร ดังแสดงอยู่ตามรูปที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.2 เครื่องไฮโดรไซโคลนของบริษัท Richard Mozley Limited



รูปที่ 3.3 ขนาดของไฮโดรไซโคลนยี่ห้อ Mozlay ที่ใช้ในการทดลองแยกเบนทอนไนต์ออกจากโคลน  
เจาะเหลือทิ้ง

### 3.4.5 วิธีการแยกเบนทอนต์ด้วยไฮโดรไซโคลอน

1. ผสมโคลนเหลืองที่ผ่านการกรองด้วยตะแกรงขนาด 20 mesh กับน้ำสะอาดเพื่อให้ได้ปริมาณของแข็งในน้ำที่ร้อยละ 5 ของน้ำหนักรวม ให้ได้ปริมาณ 30 ลิตร
2. ชั่งน้ำหนักธาตุอลูมิเนียมแล้วบันทึกไว้
3. เทตัวอย่างลงในแท็งค์ของไฮโดรไซโคลอน
4. เปิดเครื่องไฮโดรไซโคลอนให้เครื่องทำงานเป็นเวลา 5 นาที โดยที่ท่อของส่วน Underflow ปล่อยลงสู่แท็งค์
5. ปรับความดันป้อน (Feed Pressure) ของไฮโดรไซโคลอนที่ 0.5 bar
6. นำธาตุอลูมิเนียม 2 ภาดไปรองไว้ที่ Overflow และ Underflow จับเวลา 10 วินาที แล้วจึงชักธาตุอลูมิเนียมออกทันที
7. ทำซ้ำข้อ 5-6 โคนปรับความดันที่ 1.0 1.5 และ 2.0 bar ตามลำดับ
8. ผสมโคลนเหลืองที่ให้ได้ปริมาณของแข็งในน้ำที่ร้อยละ (Percent Solid) ที่ร้อยละ 10 และ 15 จากนั้นทำตามตั้งแต่ข้อ 1-7 โดยหัวแร่ (Overflow) และหางแร่ (Underflow) ที่ได้จะเป็นไปตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงการทดลองตามตัวแปรที่เปลี่ยนแปลง

% Solid (%)	Feed Pressure (bar)	Product	Sample
5	0.5	Overflow	ตัวอย่าง OF-1
		Underflow	ตัวอย่าง UF-1
	1.0	Overflow	ตัวอย่าง OF-2
		Underflow	ตัวอย่าง UF-2
	1.5	Overflow	ตัวอย่าง OF-3
		Underflow	ตัวอย่าง UF-3
	2.0	Overflow	ตัวอย่าง OF-4
		Underflow	ตัวอย่าง UF-4
10	0.5	Overflow	ตัวอย่าง OF-5
		Underflow	ตัวอย่าง UF-5
	1.0	Overflow	ตัวอย่าง OF-6
		Underflow	ตัวอย่าง UF-6
	1.5	Overflow	ตัวอย่าง OF-7
		Underflow	ตัวอย่าง UF-7
	2.0	Overflow	ตัวอย่าง OF-8
		Underflow	ตัวอย่าง UF-8
15	0.5	Overflow	ตัวอย่าง OF-9
		Underflow	ตัวอย่าง UF-9
	1.0	Overflow	ตัวอย่าง OF-10
		Underflow	ตัวอย่าง UF-10
	1.5	Overflow	ตัวอย่าง OF-11
		Underflow	ตัวอย่าง UF-11
	2.0	Overflow	ตัวอย่าง OF-12
		Underflow	ตัวอย่าง UF-12

นำโคลนที่แยกได้จากไฮโครไซโคลนทั้งหมดไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จนกระทั่งแห้ง แล้วจึงชั่งน้ำหนักและบันทึกผล จากนั้นจะนำผลของหัวแร่ที่ได้จาก Overflow ไปทำการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคด้วยชุดตะแกรงมาตรฐานและเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer องค์ประกอบของแร่ เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF) ต่อไป

### 3.4.6 การศึกษาขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของตัวอย่างที่ได้จากการคัดแยกด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลอน โดยการใช้เครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer

เป็นการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคเพื่อเปรียบเทียบกับโคลนเจาะเหลือทิ้งที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคัดแยกเอาอนุภาคของทรายที่ปนเปื้อนกับหัวแร่และหางแร่ที่ได้หลังจากผ่านเครื่องไฮโดรไซโคลอนแล้ว ซึ่งผลที่ได้จะสามารถใช้เลือกตัวแปรที่เหมาะสมในการคัดแยกเอาอนุภาคของทรายออกได้มากที่สุด โดยนำตัวอย่างที่อบแห้งปริมาณ 100 กรัม ไปทำการคัดขนาดด้วยชุดตะแกรงขนาด 30 70 100 150 200 325 mesh ตามลำดับ โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายโคลนที่จับตัวเป็นก้อน แล้วจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 36 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักของแร่ค้ำตะแกรงแต่ละชั้น บันทึกผล

ส่วนหัวแร่ที่ได้จากส่วน Overflow ให้นำแร่ที่ผ่านตะแกรงขนาด 325 mesh ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser Particle Size Analyzer ที่มุม 5 องศา จนถึง 70 องศา ในอุณหภูมิห้อง แล้วจึงบันทึกผล

### 3.4.7 การศึกษาองค์ประกอบของแร่จากหัวแร่ของโคลนเจาะเสาเข็มระบบเปียกเหลือทิ้งที่ผ่านการคัดแยกด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลอนโดยใช้เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)

การศึกษาองค์ประกอบของหัวแร่ที่ได้จากการคัดแยกผ่านเครื่องไฮโดรไซโคลอนเพื่อทำการเปรียบเทียบองค์ประกอบของแร่ก่อนผ่านเครื่องไฮโดรไซโคลอนและผงเบนทอนต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยเลือกวิเคราะห์เฉพาะหัวแร่ที่มีปริมาณควอตซ์ ( $\text{SiO}_2$ ) ต่ำที่สุด โดยนำตัวอย่างของหัวแร่ปริมาณ 10 กรัมไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่อง cup mill แล้วคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด 200 mesh ส่วนของหัวแร่ที่ผ่านตะแกรงจะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)

### 3.4.8 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของหัวแร่ของโคลนเจาะเสาเข็มระบบเปียกเหลือทิ้งที่ผ่านการคัดแยกด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลอน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของหัวแร่ที่ผ่านเครื่องไฮโดรไซโคลอนกับโคลนเจาะเหลือทิ้ง และผงเบนทอนต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยเน้นไปที่การวิเคราะห์ปริมาณแร่ เช่น  $\text{SiO}_2$   $\text{Al}_2\text{O}_3$   $\text{MgO}$   $\text{CaO}$   $\text{Na}_2\text{O}$   $\text{TiO}_2$  และ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของแรมอนโมริโลไนท์ เพื่อศึกษาถึงคุณภาพของหัวแร่ที่ได้ โดยนำ



ตัวอย่างของหัวแร่ปริมาณ 10 กรัมไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่อง cup mill แล้วคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด 200 mesh ตัวอย่างที่ได้จะถูกอัดเป็นแผ่นในถ้ำยอลูมิเนียมและถูกอัดด้วยเครื่องอัดระบบไฮดรอลิกด้วยแรงขนาด 20 ตัน เวลา 1 นาที จนได้แผ่นแบนสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF) แล้วจึงบันทึกผล



## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

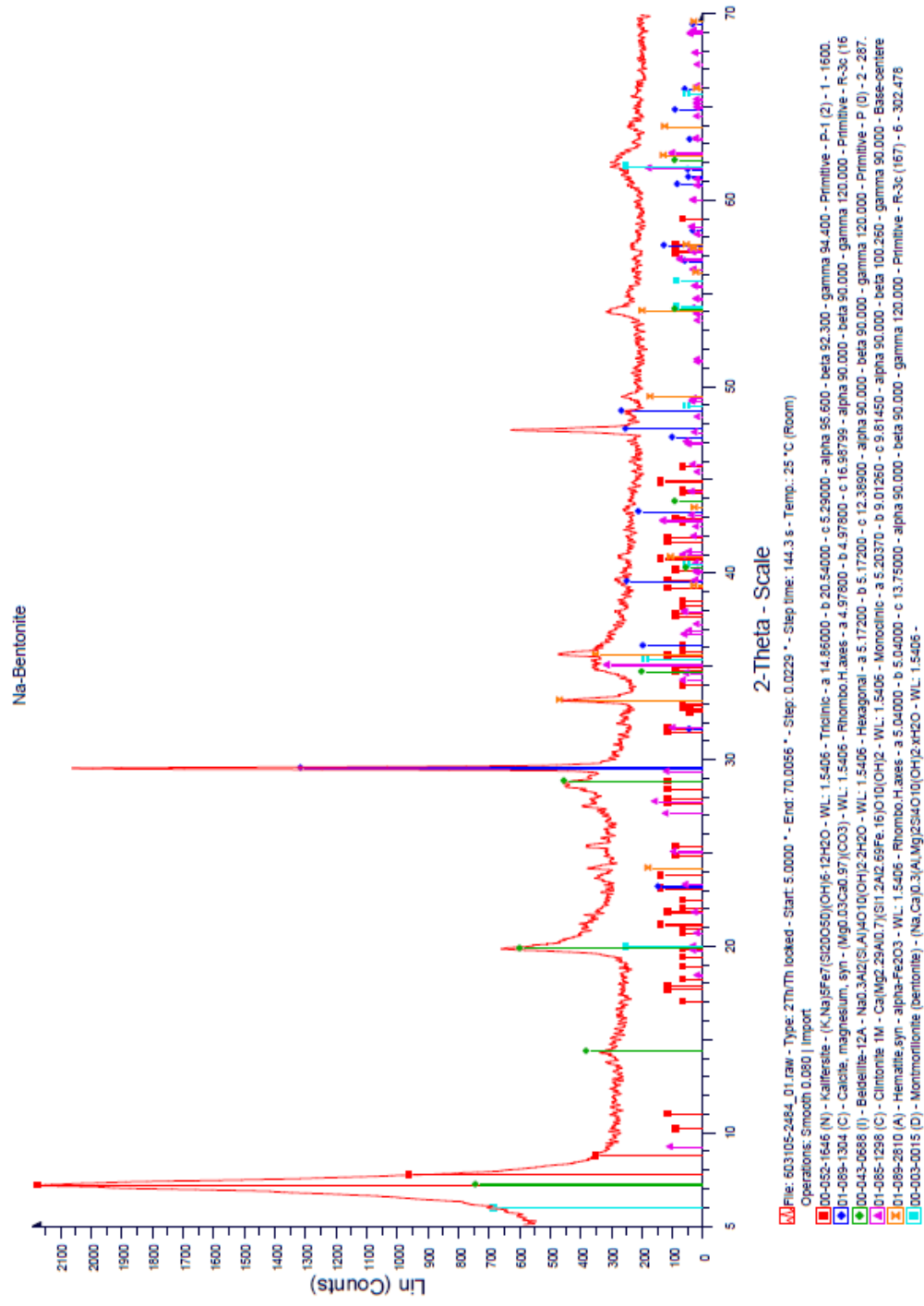
ผลการศึกษาการตัดแยกเบนทอไนต์จากเครื่องไฮโดรไซโคลนจะถูกชักตัวอย่างจากปากทางออกส่วนละเอียดในส่วนล่างซึ่งเป็นหัวแร่ และหางแร่ที่ปากทางออกส่วนหยาบในส่วนล่าง ซึ่งจะถูกนำไปวิเคราะห์ทางด้านการกระจายตัวอนุภาคด้วย องค์ประกอบของแร่ และองค์ประกอบทางเคมี เพื่อนำมาพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการตัดแยกเบนทอไนต์จากโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการเจาะเสาเข็มระบบเปียก

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของผงเบนทอไนต์ใหม่โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)

การศึกษาองค์ประกอบแร่จากการวิเคราะห์ของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ทำให้สามารถทราบองค์ประกอบของแร่ก่อนมีการนำไปใช้งานในการขุดเจาะเสาเข็มระบบเปียก เพื่อสามารถนำไปเปรียบเทียบองค์ประกอบของแร่กับโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการใช้งานขุดเจาะเสาเข็มระบบเปียก และเบนทอไนต์ที่ได้รับการตัดแยกด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลน โดยผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของผงเบนทอไนต์จะแสดงตามกราฟที่ 4.1

จากกราฟที่ 4.1 จะทำให้ทราบว่าผงเบนทอไนต์ใหม่จะมีองค์ประกอบแร่มอนต์มอริลโลไนต์ซึ่งเป็นแร่ที่เป็นองค์ประกอบหลักของเบนทอไนต์ ซึ่งจะมีแผ่นระนาบของอะลูมิเนียมไฮดรอกซิลแบบแปดระนาบอยู่ตรงแกนกลางและชนาบด้วยระนาบซิลิคอนไดออกไซด์ซึ่งมีโมเลกุลเป็นสี่เหลี่ยมพีระมิด โดยอะตอมของอะลูมิเนียมจะถูกแทนที่ด้วยแมกนีเซียมหรือเหล็กเพื่อสร้างประจุลบในระนาบของแผ่นซิลิคอนไดออกไซด์ อีกทั้งยังมีการแลกเปลี่ยนประจุกับแผ่นซิลิคอนไดออกไซด์ที่อยู่ติดกันอีกด้วย ซึ่งการแลกเปลี่ยนนี้ทำให้ความสามารถในการบวมตัวของเบนทอไนต์มีสูง โดยจะเป็นและยังพบแร่อื่นๆ เช่น คาลิเฟอไซต์ (Kalifersite) แคลไซต์ (Calcite) ไบเดลไลต์ (Beidellite) คลินโทไนต์ (Clintonite) และฮีมาไทต์ (Hematite)

กราฟที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของผงเบนทอนใหม่จากเครื่องวิเคราะห์รังสีเอกซ์ (XRD)



#### 4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงเบนทอไนต์ใหม่โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF)

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงเบนทอไนต์ใหม่จะทำให้ทราบถึงธาตุต่างๆที่อยู่ในผงเบนทอไนต์ใหม่และปริมาณของธาตุเหล่านั้น เพื่อเป็นข้อมูลที่สามารถเปรียบเทียบกับโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการขุดเจาะเสาเข็มระบบเปียก และเบนทอไนต์ที่ได้ทำการคัดแยกโดยเครื่องไฮโดรไซโคลนได้

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณของผงเบนทอไนต์ใหม่

สารประกอบ ออกไซด์	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
SiO <sub>2</sub>	44.6570
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.1184
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.6626
CaO	4.4086
MgO	2.9170
Na <sub>2</sub> O	2.8619
TiO <sub>2</sub>	2.2930
K <sub>2</sub> O	0.8378
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.4638

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงเบนทอไนต์ใหม่ตามตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ชัดว่าซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO<sub>2</sub>) มีปริมาณมากที่สุด คือ ร้อยละ 44.6570 และตามมาด้วยองค์ประกอบรอง เช่น Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ร้อยละ 17.1184 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ร้อยละ 10.6626 CaO ร้อยละ 4.4086 MgO ร้อยละ 2.9170 Na<sub>2</sub>O ร้อยละ 2.8619 TiO<sub>2</sub> ร้อยละ 2.2930 K<sub>2</sub>O ร้อยละ 0.8378 และ P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ร้อยละ 0.4638 ซึ่งปริมาณของซิลิคอนไดออกไซด์นั้นมาจากแร่มอนต์มอริลโลไนต์ที่เป็นแผ่นโมเลกุลแบบสี่เหลี่ยมพีระมิด ซึ่งเรียงตัวขนานแผ่นโมเลกุลของอะลูมิเนียมออกไซด์แบบแปดระนาบ ซึ่งปริมาณซิลิคอนไดออกไซด์มีมากจะหมายถึงจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลบที่สูงขึ้น ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพนั้นคือความบวมตัวของแร่ที่สูงด้วย

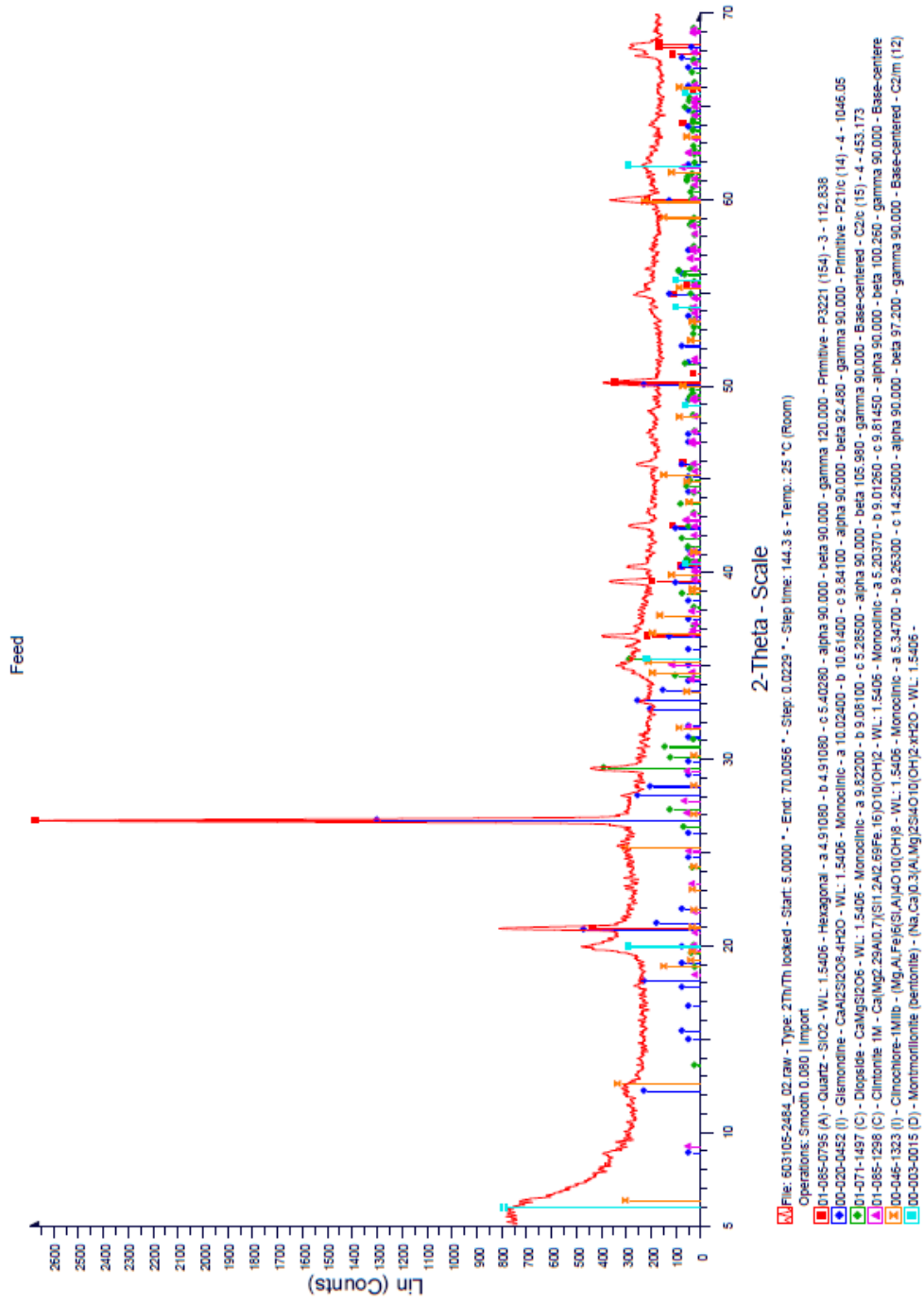
#### 4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของตัวอย่างโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการขุดเจาะเสาเข็มระบบเปียกโดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)

ข้อมูลที่ได้จากผลวิเคราะห์จากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) สามารถบ่งบอกถึงองค์ประกอบของแร่ของโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการเจาะเสาเข็มระบบเปียก เพื่อให้ทราบว่าองค์ประกอบแร่ของตัวอย่างมีแร่มอนโมริลโลไนท์อยู่ในโคลนเจาะเหลือทิ้งซึ่งจะนำมาศึกษาในการตัดแยกอนุภาคของทรายที่ปนเปื้อนอยู่หรือไม่ โดยข้อมูลองค์ประกอบของแร่ของโคลนเจาะเหลือทิ้งแสดงดังกราฟที่ 4.2

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของโคลนเจาะเหลือทิ้งโดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ทำให้ทราบว่าโคลนเจาะเหลือทิ้งมีองค์ประกอบแร่ คือ ควอตซ์ (Quartz) กิสมอนไดน์ (Gismondine) ไดออปไซด์ (Diopside) ไคลทอนไนต์ (Clintonite) ไคลโนคลอร์ (Clinochlore) และมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) ซึ่งการพบแร่มอนต์มอริลโลไนต์เป็นแร่ที่เป็นองค์ประกอบหลักของแร่เบนทอนไนต์

จากผลการศึกษาองค์ประกอบแร่จากของโคลนเจาะเหลือทิ้งโดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) นี้ทำพิจารณาได้ว่ายังมีแร่มอนต์มอริลโลไนต์เหลืออยู่ หากแต่มีควอตซ์ปนเข้ามาจากชั้นดินทรายที่อยู่ในชั้นดินที่เกิดจากตะกอนพัดพามาทับถมในเขตของกรุงเทพมหานคร ส่งผลให้คุณสมบัติของโคลนเจาะไม่ได้มาตรฐาน ดังนั้นจึงควรพิจารณาถึงการคัดแยกโคลนเบนทอนไนต์อย่างเหมาะสมเพื่อลดปริมาณของควอตซ์ที่มีอยู่ อีกทั้งยังมีการนำโคลนเจาะเหลือทิ้งนี้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF) ต่อไป

กราฟที่ 4.2 องค์ประกอบแร่ของโคลนเจาะเหลือที่งโดยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)



#### 4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการขุดเจาะเสาเข็มระบบเปียกโดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF)

การศึกษารวบรวมองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโคลนเจาะเหลือทิ้งเพื่อให้ทราบถึงองค์ประกอบทางเคมีที่มีธาตุใดและปริมาณของธาตุเหล่านั้นที่มีอยู่ในตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการเจาะเสาเข็มระบบเปียกพบว่าองค์ประกอบหลักคือ  $\text{SiO}_2$  ร้อยละ 52.2002 ตามมาด้วย  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 18.4323  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 7.3543  $\text{CaO}$  ร้อยละ 3.6770  $\text{MgO}$  2.3864  $\text{K}_2\text{O}$  ร้อยละ 1.7298  $\text{TiO}_2$  ร้อยละ 0.8109  $\text{Na}_2\text{O}$  ร้อยละ 0.4485 และ  $\text{P}_2\text{O}_5$  ร้อยละ 0.0807

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณของโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการเจาะเสาเข็มระบบเปียก

สารประกอบ ออกไซด์	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
$\text{SiO}_2$	52.2002
$\text{Al}_2\text{O}_3$	18.4323
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	7.3543
$\text{CaO}$	3.6770
$\text{MgO}$	2.3864
$\text{K}_2\text{O}$	1.7298
$\text{TiO}_2$	0.8109
$\text{Na}_2\text{O}$	0.4485
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.0807

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าปริมาณของ  $\text{SiO}_2$  เพิ่มขึ้นจากผงเบนทอนไต์ใหม่ร้อยละ 7.5432 ซึ่งสามารถคิดเป็นร้อยละ 16.89 ของปริมาณที่เพิ่มขึ้น โดยคาดว่า การเพิ่มขึ้นของ  $\text{SiO}_2$  ที่เพิ่มขึ้นนี้มาจากการปนเปื้อนของควอตซ์จากชั้นดินในบริเวณที่มีการขุดเจาะเสาเข็มซึ่งมีการพบองค์ประกอบของ

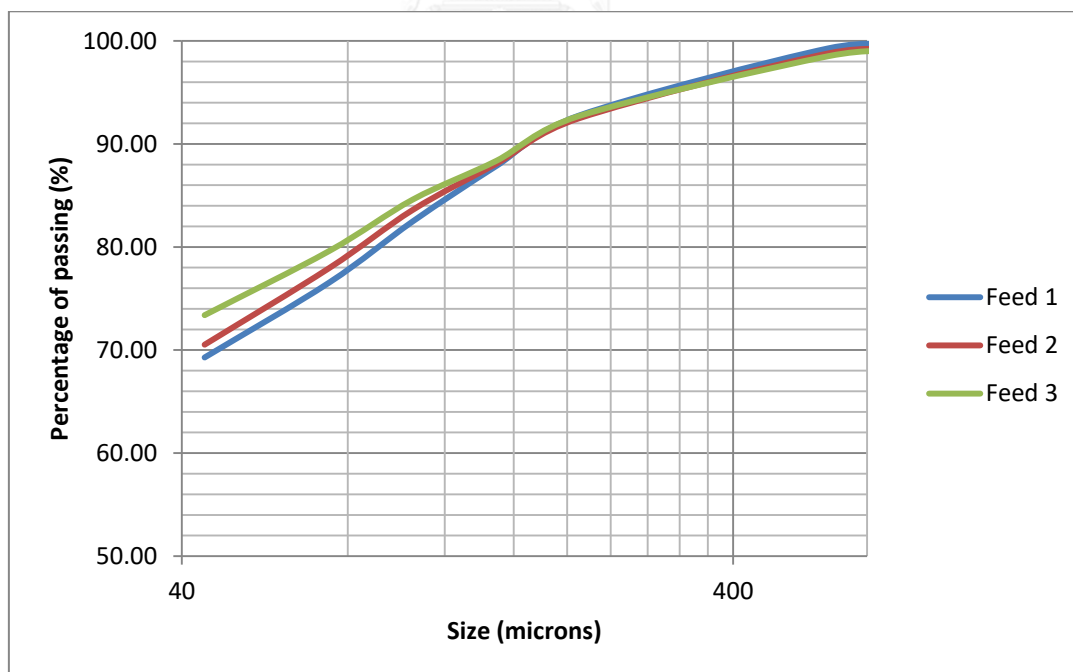
ควอตซ์อีกด้วย ทำให้โคลนเจาะนี้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ต่อไปเนื่องจากมีปริมาณของทรายมากกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

#### 4.5 ผลการวิเคราะห์ขนาดของโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการเจาะเสาเข็มระบบเปียกด้วยตะแกรงมาตรฐาน

การวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการเจาะเสาเข็มระบบเปียก เพื่อให้ทราบถึงขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการใช้งานสารละลายเบนทอไนต์

การศึกษานี้ทำโดยการคัดขนาดแบบเปียกด้วยชุดตะแกรงมาตรฐานขนาด 20 mesh 30 mesh 70 mesh 100 mesh 140 mesh 200 mesh และ 325 mesh เป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยผลของการกระจายตัวเฉลี่ยของโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการเจาะเสาเข็มระบบเปียกแสดงดังกราฟที่ 4.3

กราฟที่ 4.3 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการเจาะเสาเข็มระบบเปียก



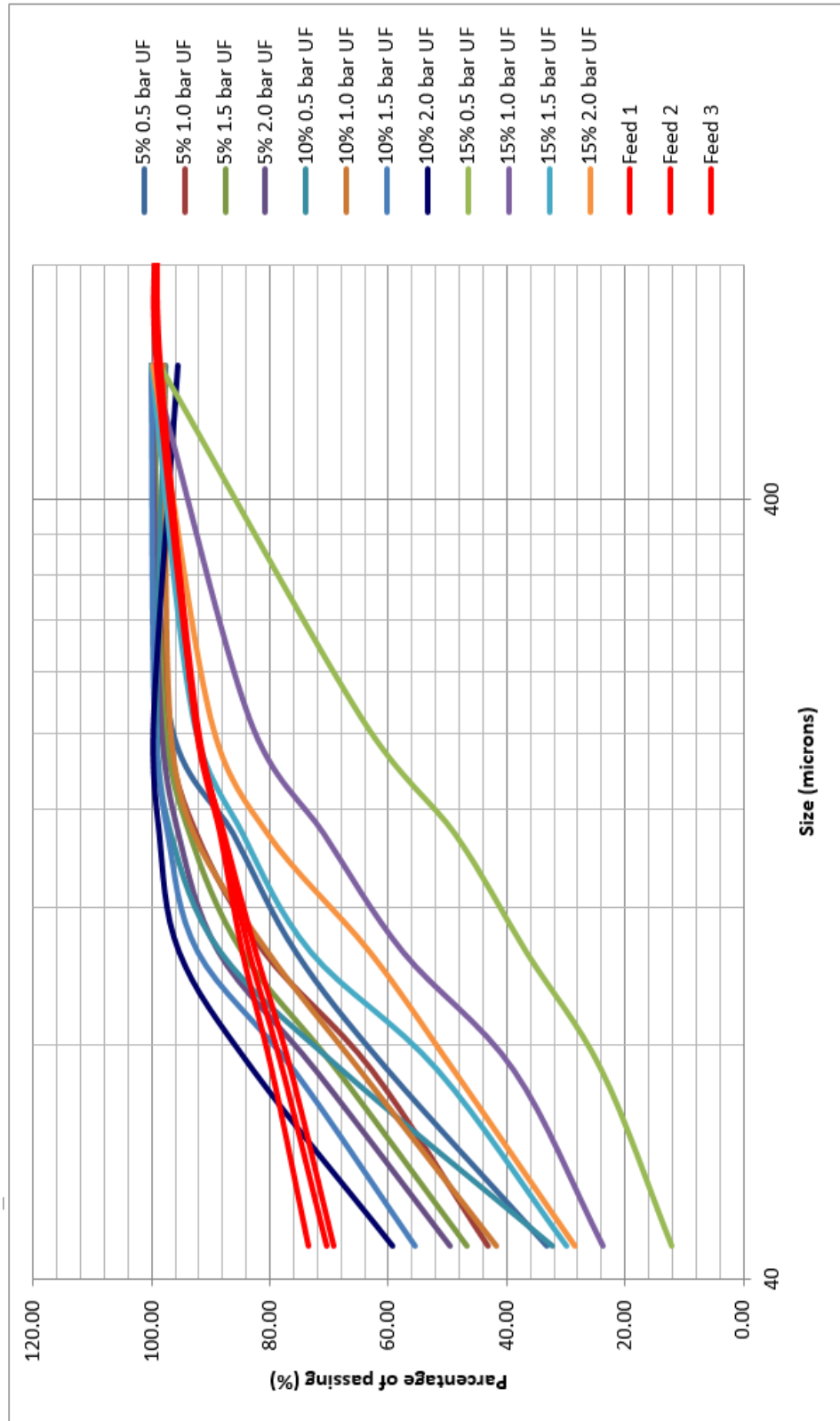


ผลการศึกษาระบายตัวของขนาดของโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการเจาะเสาเข็มแบบเปียกร้อยละ 90 จะมีขนาด 73 ไมครอน ซึ่งมีขนาดโตกว่าผงเบนทอไนต์ใหม่ที่ไม่ได้นำไปใช้งานซึ่งมีขนาดเพียงแค่ 18.53 ไมครอน โดยคาดว่า การเพิ่มขึ้นของขนาดอนุภาคมาจากชั้นดินที่ถูกขุดในหลุมนั้น

#### 4.6 ผลการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างที่ได้จากการคัดแยกโดยเครื่องไฮโดรไซโคลนด้วยตะแกรงมาตรฐานและเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer

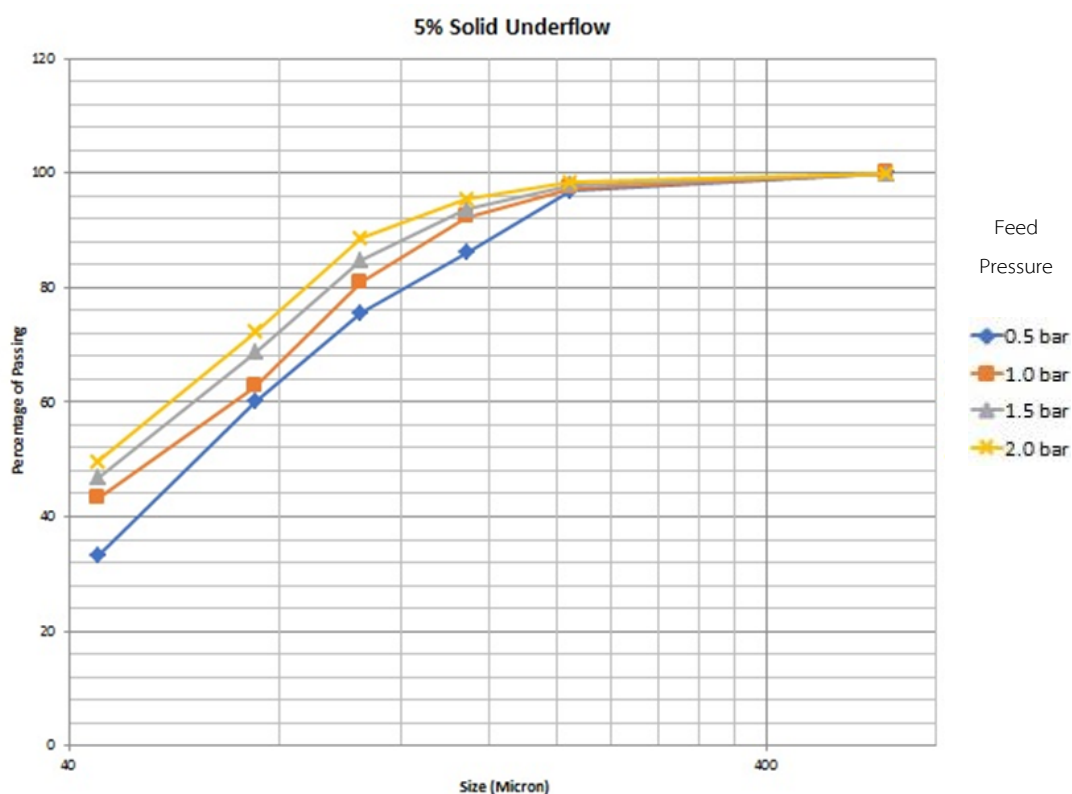
ผลจากการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของตัวอย่างที่ได้รับการคัดแยกจากเครื่องไฮโดรไซโคลน ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้พิจารณาถึงตัวแปรที่ดีที่สุดในการคัดแยกแร่เบนทอไนต์ให้มีขนาดเล็กที่สุด ซึ่งเครื่องไฮโดรไซโคลนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับคัดแยกอนุภาคที่แตกต่างกันภายในของไหลโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางด้วยความเร็วระดับหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า Centrifugal Force และแรงลาก (Drag Force) ในแนวรัศมี โดยตัวอย่างสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชุด คือ หั่วแร่ที่ได้มาจากปากทางออกส่วนละเอียดในส่วนล้น (Overflow) และหั่วแร่ที่ได้จากส่วนปากทางออกส่วนหยาบในส่วนล่าง (Underflow) ตัวอย่างทั้งหมดจะถูกทำการคัดขนาดแบบเปียกด้วยชุดตะแกรงมาตรฐาน ซึ่งมีขนาด 30 mesh 70 mesh 100 mesh 140 mesh 200 mesh และ 325 mesh ตามลำดับ โดยผลของการคัดขนาดเป็นดังกราฟที่ 4.4 และ 4.12

กราฟที่ 4.4 การกระจายตัวของอนุภาคของทางแร่ (Underflow) ที่มีปริมาณร้อยละของแข็งในน้ำ (Solid Percentage) และความดันต้นป้อน (Feed Pressure) ต่างกัน



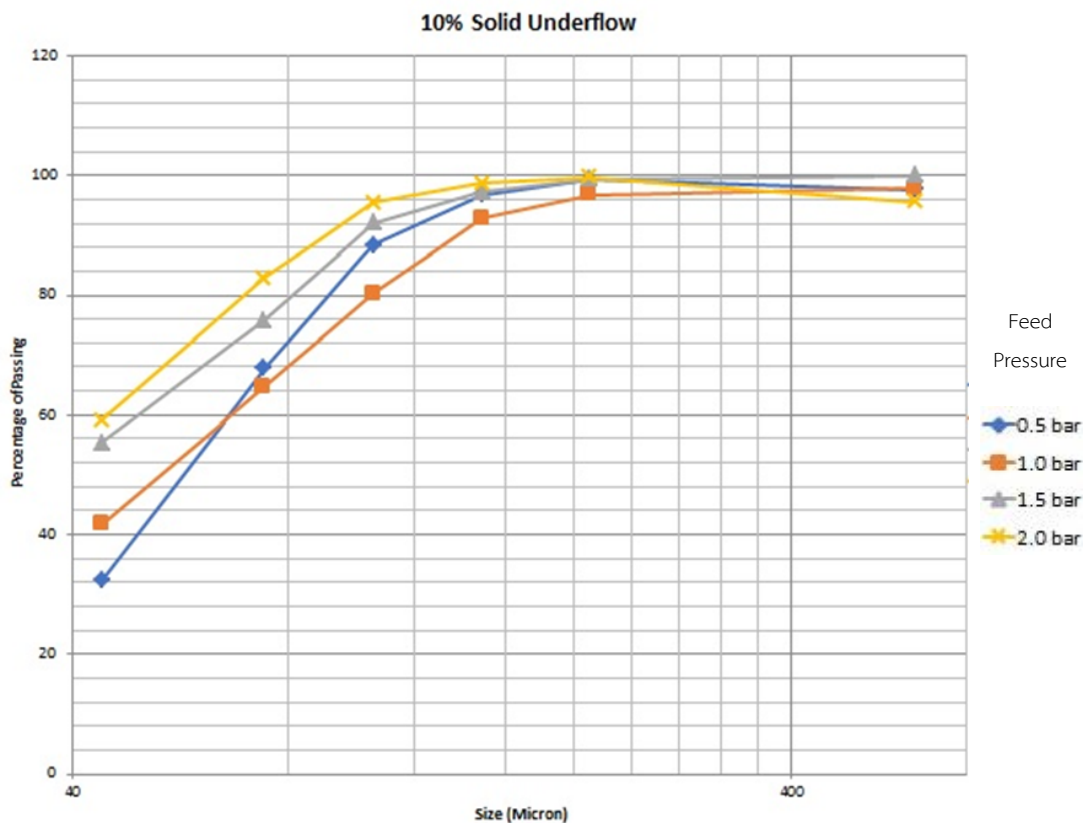
จากกราฟที่ 4.4 การกระจายตัวของอนุภาคของหางแร่ (Underflow) ที่ร้อยละ 50 นั้นมีขนาดใหญ่กว่าโคลนเจาะเหลือทิ้งมาก โดยโคลนเจาะเหลือทิ้งมีขนาดของอนุภาคเล็กกว่า 40 ไมครอน ซึ่งเมื่อพิจารณาโดยดูจากปริมาณร้อยละของของผสมในแร่ป้อนเป็นตัวแปรที่คงที่แล้วนั้นความดันป้อนที่ 2.0 bar มีแนวโน้มที่สามารถคัดแยกได้สินแร่ที่มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด ดังกราฟที่ 4.5

กราฟที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดกับความดันป้อนของตัวอย่าง underflow ที่ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 5 โดยปริมาตร



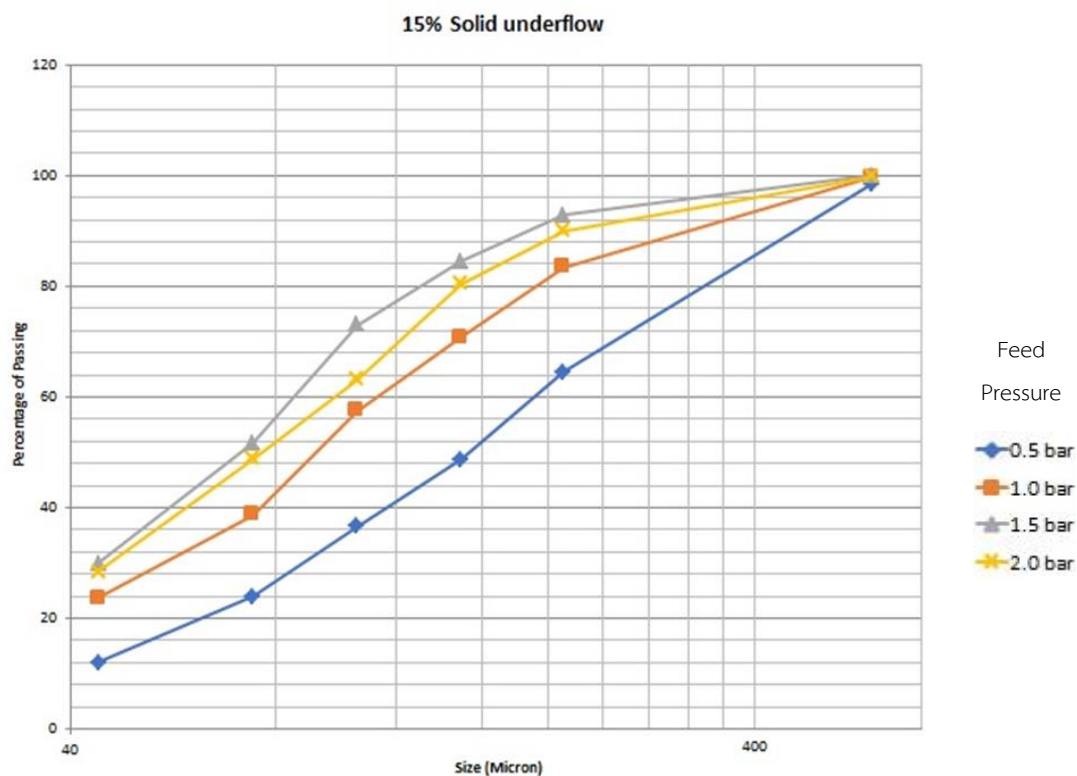
ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดกับความดันป้อนของตัวอย่าง ที่ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 5 โดยปริมาตรดังกราฟที่ 4.5 การกระจายอนุภาคของแร่ป้อนที่ความดัน 0.5 bar มีขนาดโตสุดโดยมีขนาด  $D_{50}$  ที่ 46 ไมครอน เมื่อความดันแร่ป้อนเพิ่มขึ้นที่ 1.0 bar ขนาดของ  $D_{50}$  ลดลงเป็น 44 ไมครอน และลดลงอีกครั้งเมื่อเพิ่มความดันป้อนเป็น 1.5 bar ที่ขนาด 42 ไมครอน และ ขนาดเล็กสุดเมื่อเพิ่มความดันเป็น 2.0 bar ที่ขนาด 41 ไมครอน ในขณะที่ขนาดคัด  $D_{90}$  นั้นแต่ละการกระจายอนุภาคมีความแตกต่างกันมากขึ้น ซึ่งขนาดเรียงกันที่ 75 ไมครอน 65 ไมครอน 62 ไมครอน และ 58 ไมครอน ตามลำดับ

กราฟที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดกับความดันป้อนของตัวอย่าง underflow ที่ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 10 โดยปริมาตร



จากกราฟที่ 4.6 การกระจายขนาดของอนุภาคที่  $D_{50}$  ของตัวอย่างจากส่วน underflow ซึ่งมีปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 10 โดยปริมาตรจะมีขนาดลดลงเมื่อความดันป้อนเพิ่มขึ้น โดยขนาดของอนุภาคที่ 0.5 bar 1.0 bar 1.5 bar และ 2.0 bar คือ 45 ไมครอน 44 ไมครอน 40 ไมครอน และ 38 ไมครอน และขนาดคัดที่  $D_{90}$  มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในส่วนของความดันป้อนที่ 1.0 bar กลับมีขนาดโตสุดที่ 65 ไมครอน ตามมาด้วย ความดันป้อน 0.5 bar ที่ 58 ไมครอน ความดันป้อน 1.5 bar ที่ 55 ไมครอน และ ความดันป้อน 2.0 bar มีขนาดเล็กสุดที่ 53 ไมครอน

กราฟที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดกับความดันป้อนของตัวอย่าง underflow ที่ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 15 โดยปริมาตร

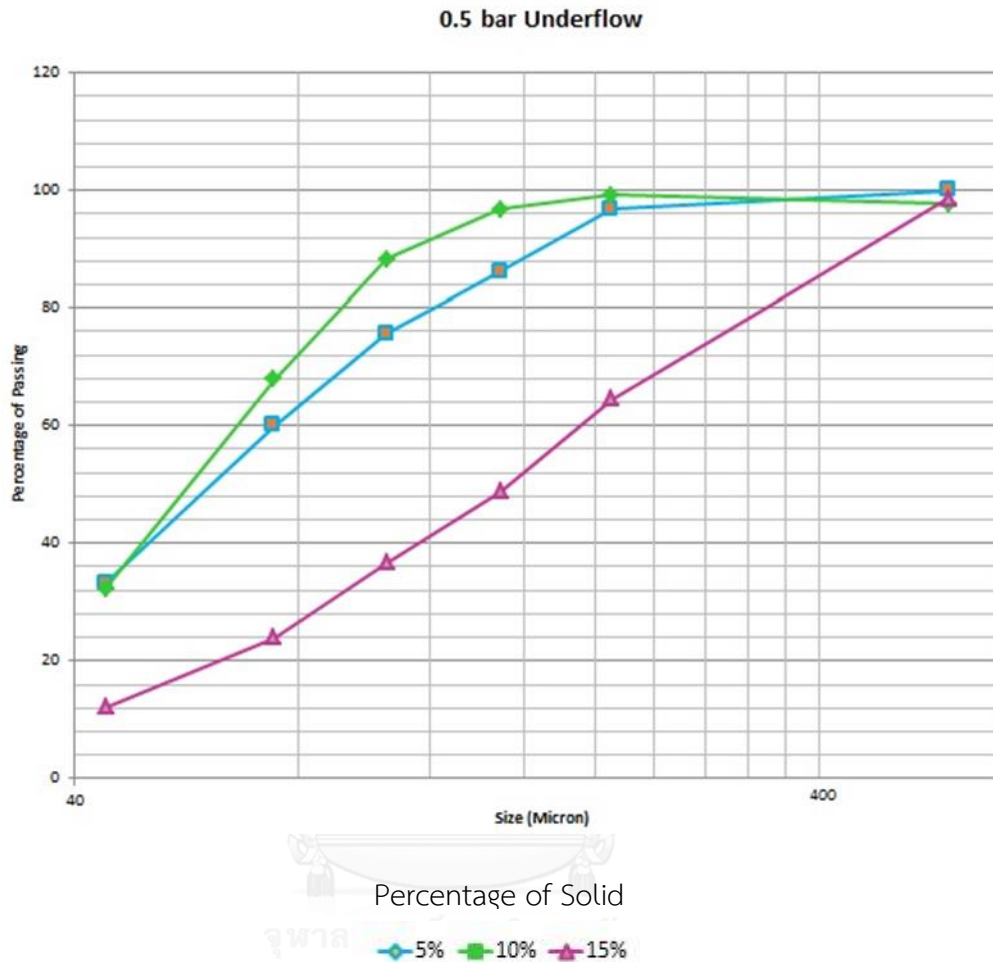


จากกราฟที่ 4.7 จะเห็นว่าขนาดของอนุภาคของตัวอย่าง underflow ที่ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 15 โดยปริมาตร จะเรียงขนาดจากความดันป้อนที่ 0.5 bar ซึ่งมีขนาดโตสุดที่  $D_{50}$  ซึ่งมีขนาดที่ 68 ไมครอน ตามมาด้วย 1.0 bar มีขนาด 53 ไมครอน 1.5 bar มีขนาด 43 ไมครอน และ 2.0 bar ที่ขนาด 42 ไมครอนซึ่งมีขนาดเล็กสุด และเมื่อเปรียบเทียบขนาดคัดที่  $D_{90}$  การกระจายของอนุภาคที่โตที่สุดคือความดันป้อน 0.5 bar มีขนาด 430 ไมครอน และขนาดเล็กลงเมื่อมีความดันป้อนเพิ่มขึ้นที่ 1.0 bar มีขนาด 250 ไมครอน 1.5 bar มีขนาด 83 ไมครอน และ 2.0 bar มีขนาด 76 ไมครอน ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของการกระจายตัวของอนุภาคของหางแร่ (Underflow) และความดันป้อนจะพบว่าเมื่อความดันป้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้อนุภาคที่ถูกขัดขนาดออกมาทางปากทางออกส่วนหยาบในส่วนล่างมีขนาดเล็กลงเมื่อปริมาณของของผสมในแร่ป้อนมีค่าเท่ากัน

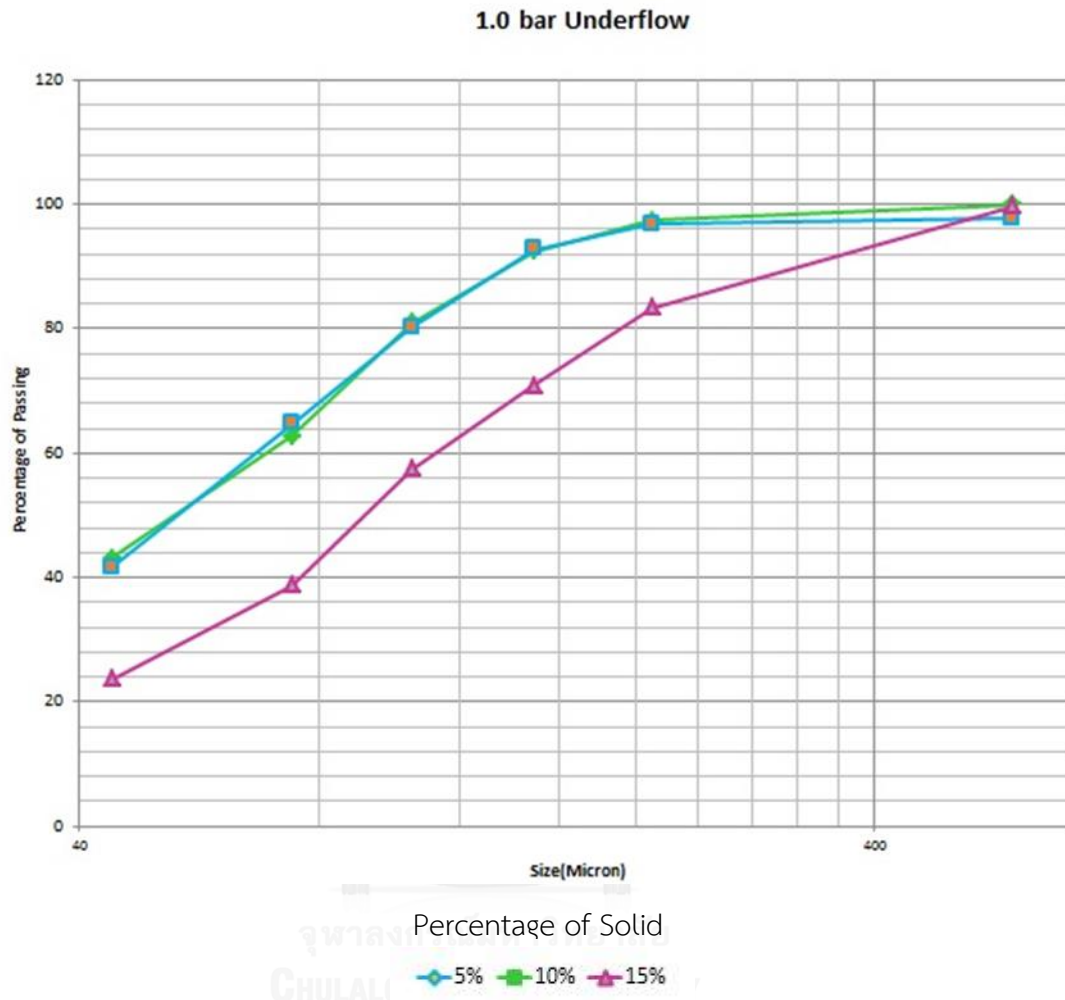
ในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของอนุภาคของหางแร่ (Underflow) และปริมาณของของผสมในแร่ป้อนสามารถพิจารณาได้จากกราฟที่ 4.8 - 4.11

กราฟที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดของตัวอย่าง underflow กับปริมาณของของผสมใน  
 แร่ป้อน ที่ความดันป้อนคงที่ 0.5 bar



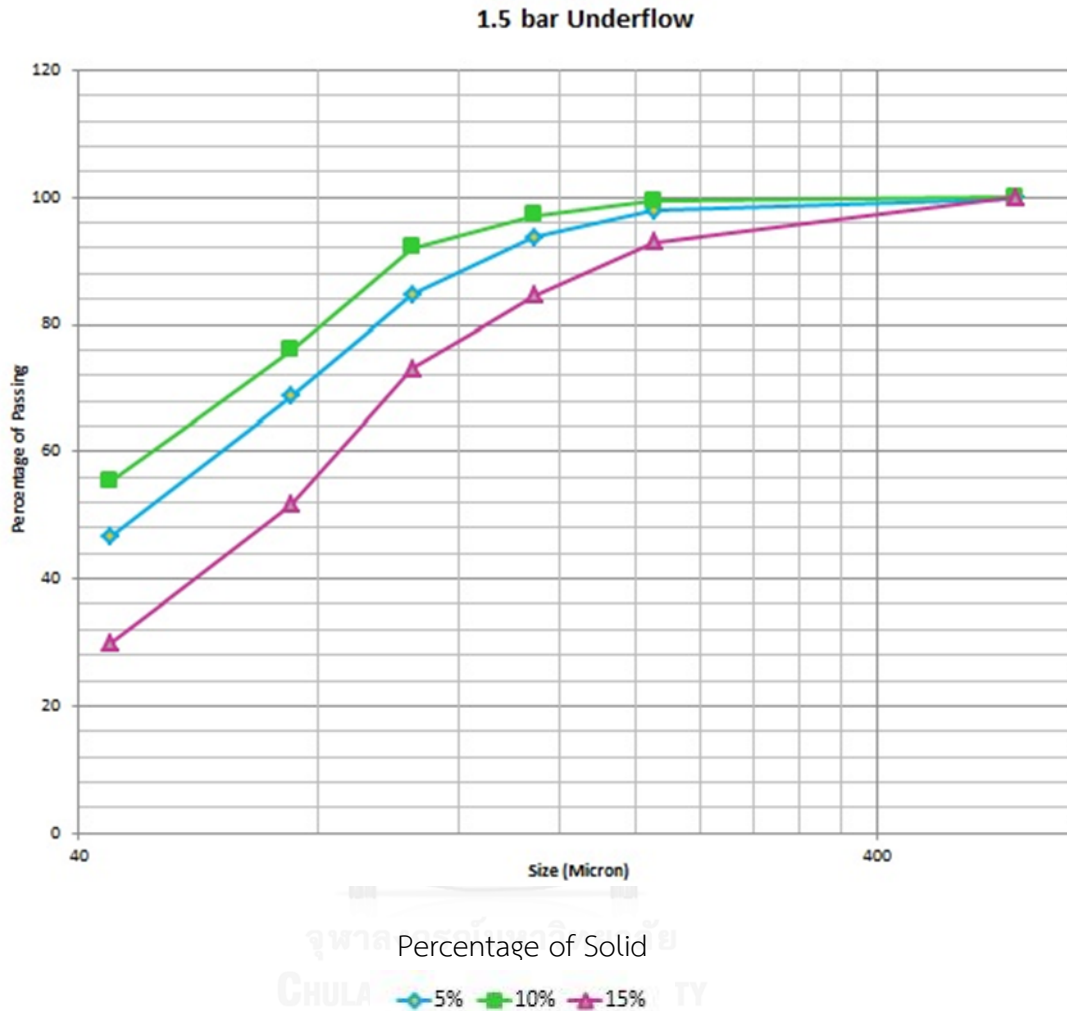
ผลการศึกษาจากกราฟที่ 4.8 เมื่อป้อนแร่ที่ความดัน 0.5 bar ขนาดของอนุภาคมีขนาดโตสุดที่ ปริมาตรของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 15 โดยปริมาตร ซึ่งมีขนาดคัดที่  $D_{50}$  คือ 68 ไมครอน และ  $D_{90}$  ที่ 420 ไมครอน และขนาดเล็กลงเมื่อลดปริมาตรของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 5 โดยปริมาตร มี ขนาดคัด  $D_{50}$  ที่ 46 ไมครอน และ  $D_{90}$  ที่ 72 ไมครอน และขนาดที่เล็กสุดเมื่อมีปริมาตรของของผสม ในแร่ป้อนที่ ร้อยละ 10 โดยปริมาตร ซึ่งมีขนาดคัด  $D_{50}$  ที่ 45 ไมครอน และ  $D_{90}$  ที่ 59 ไมครอน

กราฟที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดของตัวอย่าง underflow กับปริมาณของของผสมใน  
 แร่ป้อน ที่ความดันป้อนคงที่ 1.0 bar



เมื่อป้อนแร่ที่ความดัน 1.0 bar ขนาดการกระจายของอนุภาคมีขนาดใหญ่ที่สุดที่ปริมาตรของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 15 โดยปริมาตร มีขนาดที่  $D_{50}$  ที่ 53 ไมครอน และ  $D_{90}$  ที่ 240 ไมครอน และขนาดของแร่ที่มีปริมาตรของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 5 และร้อยละ 10 โดยปริมาตรซึ่งมีขนาด  $D_{50}$  ที่ 44 ไมครอน และ  $D_{90}$  ที่ 65 ไมครอน ดังแสดงในกราฟที่ 4.9

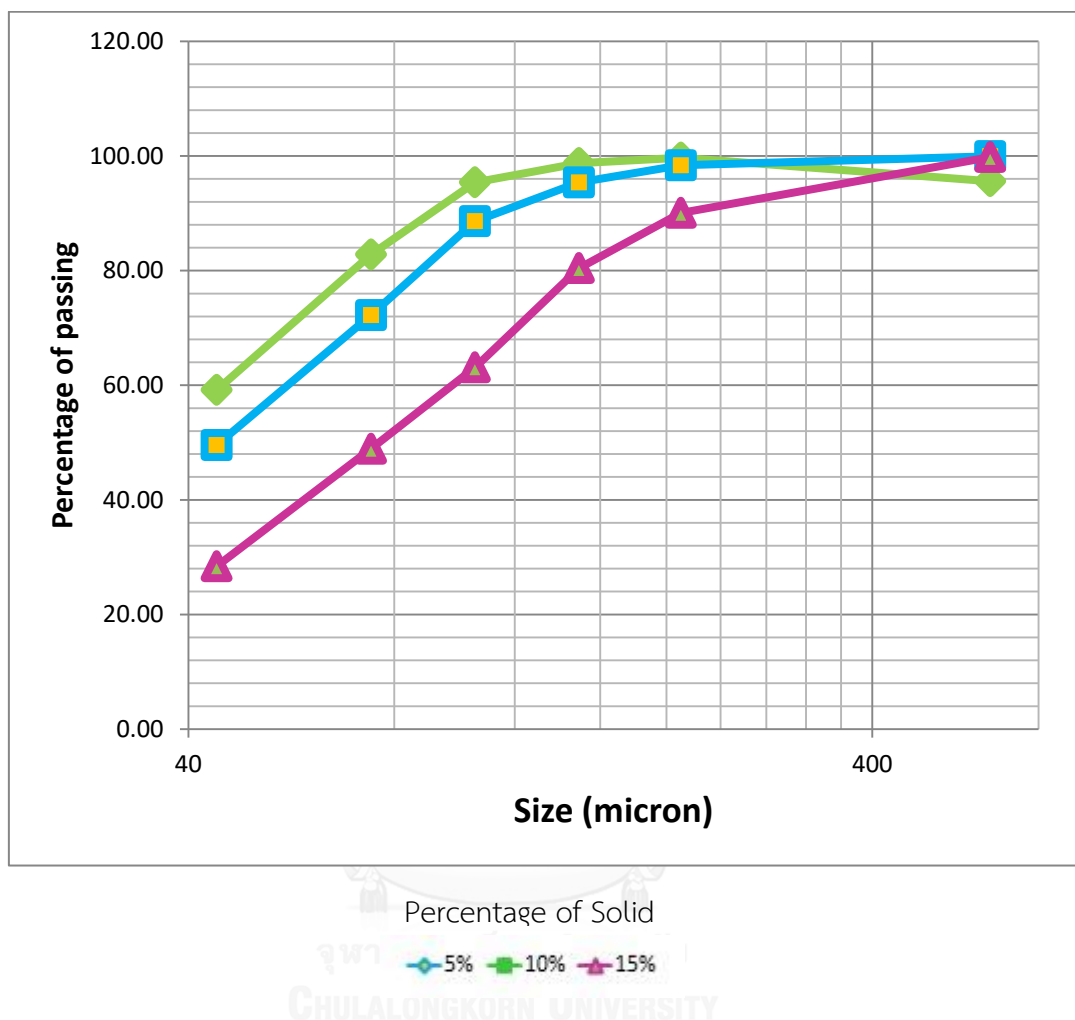
กราฟที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดของตัวอย่าง underflow กับปริมาณของของผสมในแร่ป้อน ที่ความดันป้อนคงที่ 1.5 bar



เมื่อความดันของแร่ป้อนคือ 1.5 bar ขนาดของอนุภาคจากส่วน underflow ที่ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนที่ร้อยละ 15 โดยปริมาตร โดยมีขนาดอนุภาคที่  $D_{50}$  คือ 48 ไมครอน และ  $D_{90}$  คือ 75 ไมครอน ขนาดเล็กลงมาเมื่อมีปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 5 โดยปริมาตร คือ  $D_{50}$  ที่ 43 ไมครอน และ  $D_{90}$  ที่ 68 ไมครอน และขนาดเล็กลงมาเมื่อมีปริมาณของของผสมในแร่ป้อนที่ร้อยละ 10 โดยปริมาตร ซึ่งมีขนาด  $D_{50}$  ที่ประมาณ 40 ไมครอน และ  $D_{90}$  ที่ 56 ไมครอน ดังกราฟที่ 4.10



กราฟที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดของตัวอย่าง underflow กับปริมาณของของผสมในแร่ป้อน ที่ความดันป้อนคงที่ 2.0 bar



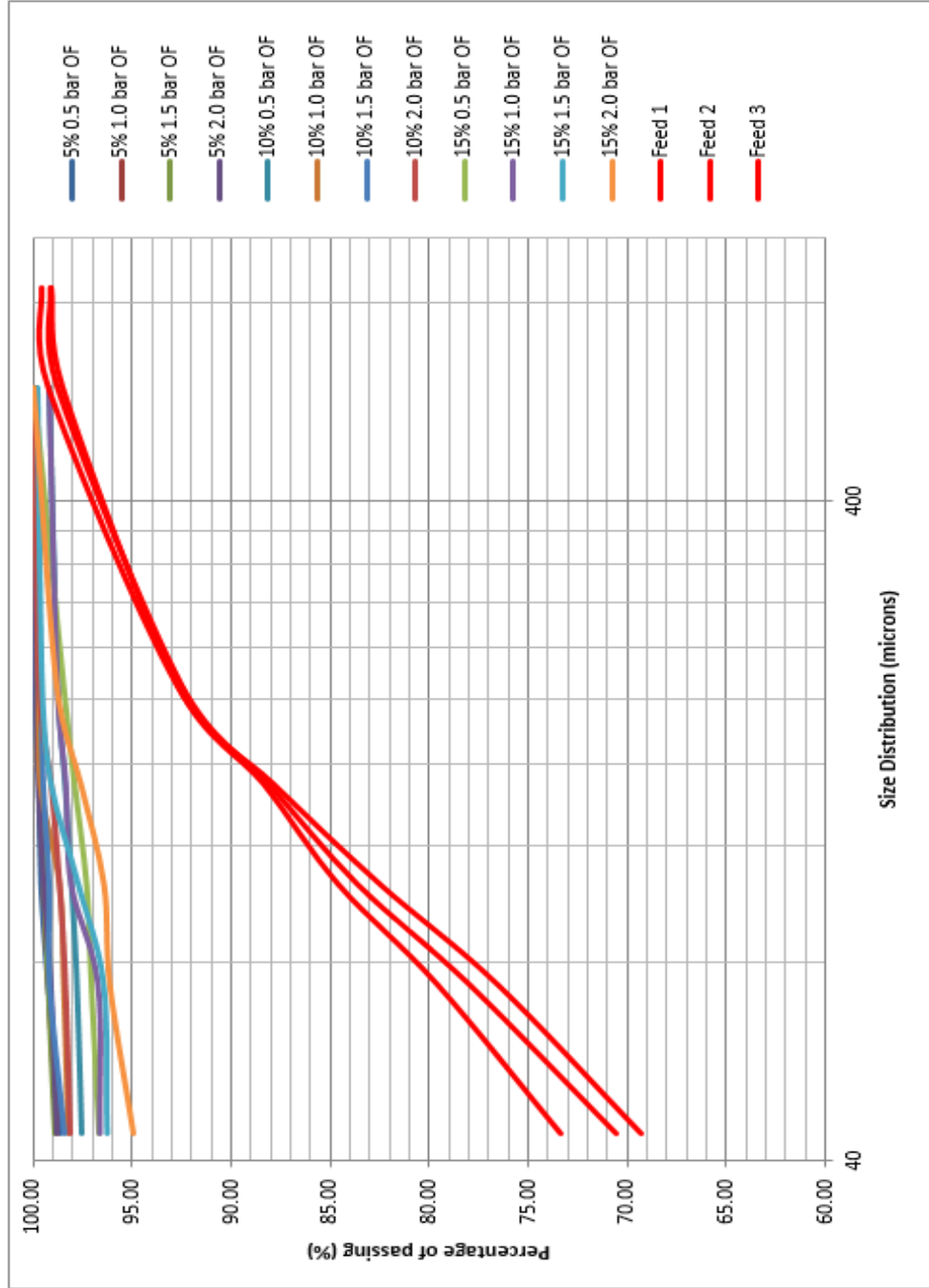
จากกราฟที่ 4.11 ขนาดที่คัดได้จากปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 15 โดยปริมาตรจะมีขนาดใหญ่สุดที่  $D_{50}$  49 ไมครอน  $D_{90}$  ที่ 85 ไมครอน ขนาดเล็กลงเมื่อมีปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 5 โดยปริมาตรที่  $D_{50}$  41 ไมครอน  $D_{90}$  ที่ 59 ไมครอน และมีขนาดเล็กสุดที่ ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 10 โดยปริมาตรที่  $D_{50}$  ต่ำกว่า 40 ไมครอน  $D_{90}$  ที่ 53 ไมครอน

จากผลการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคในทางแร่ underflow มีแนวโน้มที่ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนสูงขึ้นขนาดที่คัดได้จะมีขนาดสูงขึ้น อย่างไรก็ตามผลการทดลองสำหรับ แร่ป้อนที่ปริมาณของของผสมร้อยละ 5 และร้อยละ 10 โดยปริมาตรมีผลในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งไม่เป็นไปตามทฤษฎี

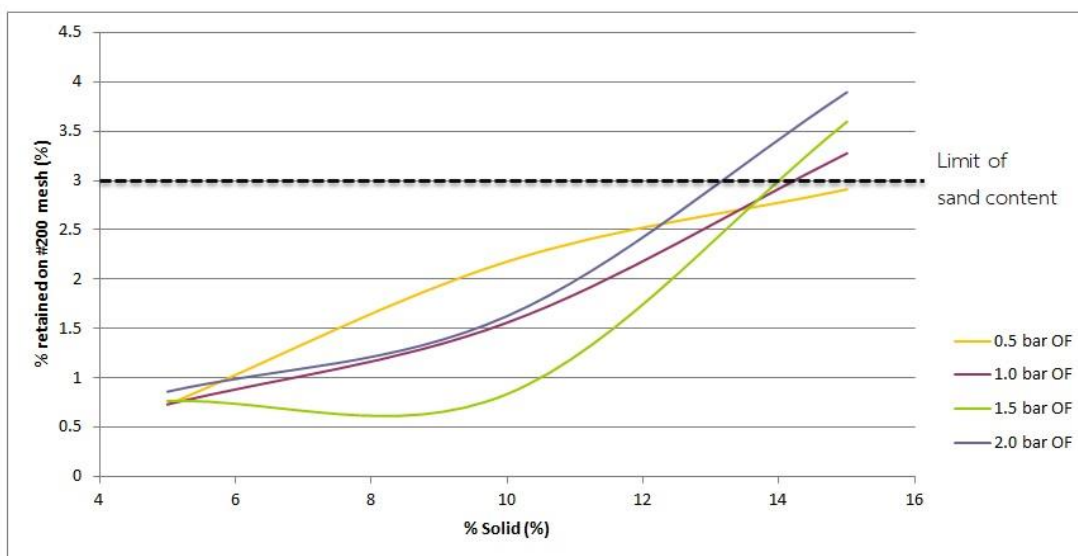
ในส่วนของหัวแร่ (Overflow) การวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคไม่สามารถทำได้ด้วยวิธีการคัดขนาดด้วยชุดตะแกรงมาตรฐานเพียงอย่างเดียว เนื่องจากปริมาณของอนุภาคมากกว่าร้อยละ 95 ของปริมาตรมีอนุภาคเล็กกว่า 50 ไมครอน ดังกราฟที่ 4.12 จึงต้องนำตัวอย่างที่ได้จากส่วน Overflow ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาค (Laser Particle Size Distribution Analyzer)

ข้อมูลจากการวิเคราะห์การคัดขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐานสามารถนำมาพิจารณาถึงปริมาณของทราย โดยพิจารณาผลรวมของอนุภาคที่ค้างตะแกรงซึ่งสามารถนำข้อมูลของปริมาณแร่ป้อนที่ค้างตะแกรงที่ขนาด 200 mesh หรือมีขนาดโตกว่า 75 ไมครอน ขึ้นไป ซึ่งคาดว่าเป็นอนุภาคของทรายที่เจือปนมาจากชั้นดินที่บริเวณหลุมเจาะ จากกราฟที่ 4.13 จะพบว่าประมาณของทรายจะมีปริมาณน้อยกว่าข้อกำหนดนั้นคือต้องมีปริมาณทรายไม่เกินร้อยละ 3 โดยเมื่อมีปริมาณของของผสมในแร่ป้อนตั้งแต่ ร้อยละ 5 จนถึงร้อยละ 13 ความดันป้อนที่ 0.5 bar จะมีปริมาณทรายอยู่มากที่สุดแต่ต่ำกว่าปริมาณที่กำหนดไว้ ตามมาด้วยความดันป้อนที่ 2.0 bar 1.0 bar และ 1.5 bar เมื่อปริมาณของของผสมในแร่ป้อนสูงกว่าร้อยละ 13 จนถึงร้อยละ 15 ความดันป้อนที่ 0.5 bar ยังคงมีปริมาณทรายอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดเพียงความดันป้อนเดียว ส่วนความดันแร่ป้อนที่มากกว่า 0.5 bar จะมีปริมาณทรายสูงกว่ามาตรฐานทั้งหมด

กราฟที่ 4.12 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของหัวแร่ (Overflow) โดยใช้การคัดขนาดจากชุดตะแกรงมาตรฐาน



กราฟที่ 4.13 ปริมาณของอนุภาคที่ค้างตะแกรง 200 mesh



การศึกษาขนาดและการกระจายตัวของหัวแร่ (Overflow) ที่มีขนาดเล็กมากนั้นจึงต้องมีการใช้เครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer โดยหัวแร่จะถูกวิเคราะห์ 3 ครั้ง แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย จากการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ที่ส่งผลต่อการคัดขนาดด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลอนมี 2 แบบ คือ

#### 4.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดกับปริมาณของของผสมในแร่ป้อน

จากการพิจารณาผลการศึกษาแร่ในส่วนละเอียด (Overflow) ด้วยเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer ถึงความสัมพันธ์ของการคัดขนาดกับปริมาณของของผสมในแร่ป้อนจะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณของของผสมในแร่ป้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการคัดขนาดให้มีประสิทธิภาพลดลง จากกราฟที่ 4.14 เมื่อปริมาณของของผสมในแร่ป้อนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 โดยปริมาตร เป็นร้อยละ 15 โดยปริมาตร ขนาดของอนุภาคเพิ่มขึ้นในทุกๆความดันป้อน

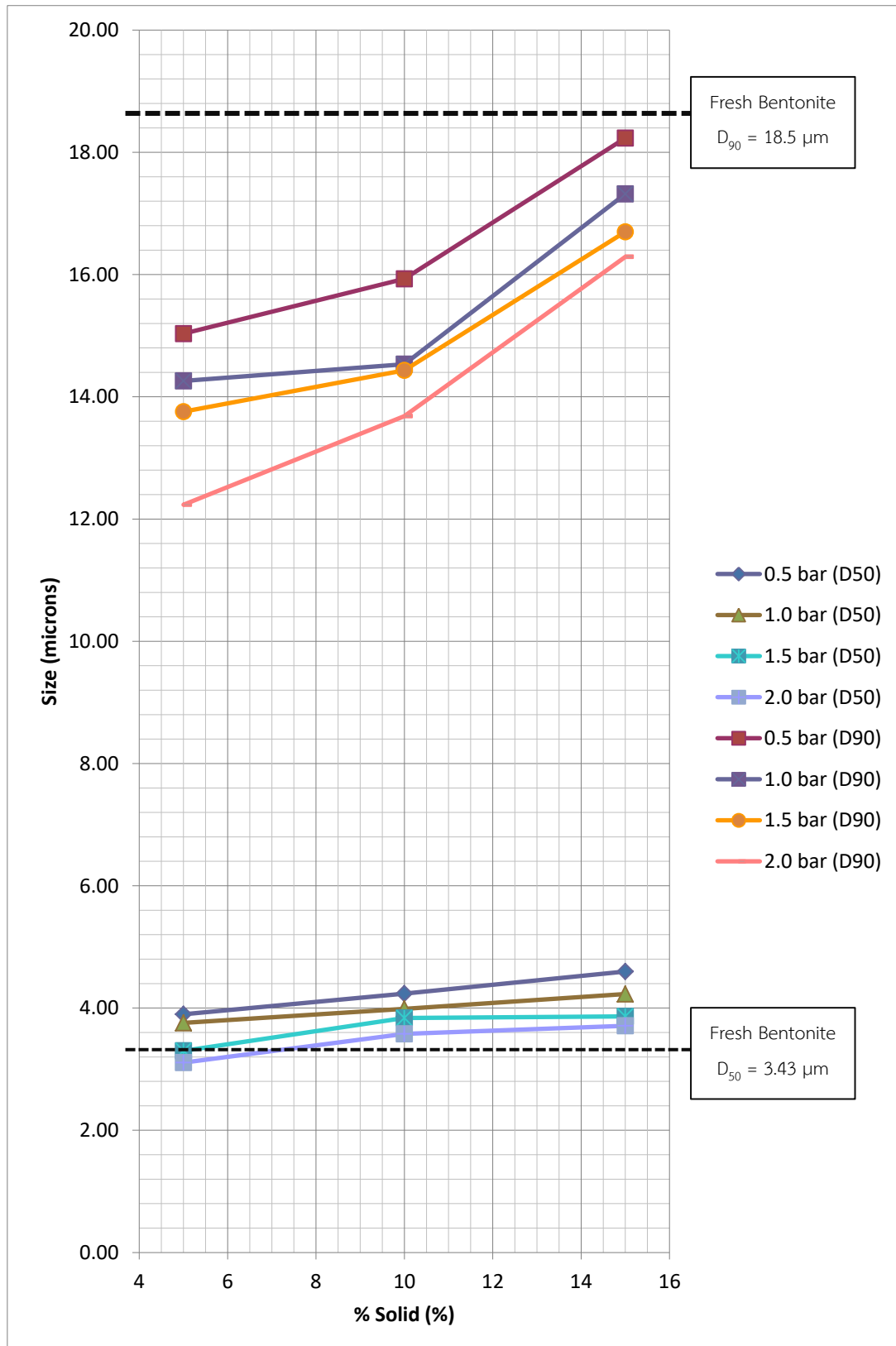
โดยขนาดคัดที่  $D_{50}$  ความดันป้อนที่ 0.5 bar 1.0 bar 1.5 bar และ 2.0 bar ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 5 จะมีขนาดที่ 3.9 ไมครอน 3.76 ไมครอน 3.30 ไมครอน และ 3.11 ไมครอน ตามลำดับ จะมีขนาดของอนุภาคเพิ่มขึ้น 4.60 ไมครอน 4.23 ไมครอน 3.86 ไมครอน และ 3.71 ไมครอน เมื่อปริมาณของของผสมในแร่ป้อนถูกเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 15 โดยปริมาตร

ที่ขนาดคัต D<sub>90</sub> ความดันป้อนที่ 0.5 bar 1.0 bar 1.5 bar และ 2.0 bar ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 5 จะมีขนาดที่ 15.03 ไมครอน 14.26 ไมครอน 13.76 ไมครอน และ 12.23 ไมครอน ตามลำดับ จะมีขนาดของอนุภาคเพิ่มขึ้น 18.23 ไมครอน 17.23 ไมครอน 16.70 ไมครอน และ 16.26 ไมครอน เมื่อปริมาณของของผสมในแร่ถูกเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 15 โดยปริมาตร

เมื่อพิจารณาขนาดของอนุภาคที่ D<sub>50</sub> โดยเปรียบเทียบระหว่างขนาดอนุภาคที่ได้จากส่วน overflow และเบนทอไนต์ใหม่ซึ่งมีขนาด 3.43 ไมครอน จะพบว่าเมื่อปริมาตรของของผสมในแร่ป้อนไม่เกินร้อยละ 6 ขนาดของอนุภาคเมื่อความดันป้อน 1.5 bar จะมีขนาดที่เล็กกว่าผงเบนทอไนต์ใหม่ และปริมาตรแร่ป้อนของของผสมไม่เกินร้อยละ 7.5 ขนาดของอนุภาคเมื่อความดันป้อนที่ 2.0 bar จะมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า 3.43 ไมครอน ส่วนแร่ที่ความดันป้อน 0.5 bar และ 1.0 bar จะมีขนาดโตกว่าขนาดคัตของผงเบนทอไนต์ใหม่ในทุกปริมาตรของของผสมในแร่ป้อน

เมื่อพิจารณาขนาดคัตที่ D<sub>90</sub> ของผงเบนทอไนต์ใหม่ซึ่งมีขนาด 18.5 ไมครอนจะพบว่าขนาดคัตของแร่ overflow มีขนาดที่เล็กกว่าเล็กน้อยในทุกปริมาณของของผสมในแร่ที่เปลี่ยนไป โดยปริมาณของของผสมในแร่ร้อยละ 15 จะมีปริมาณโตสุดและขนาดที่ใกล้เคียงขนาดของผงเบนทอไนต์ใหม่มากที่สุดจะอยู่ที่ความดันป้อน 0.5 bar และขนาดจะเล็กและห่างจากผงเบนทอไนต์ใหม่มากที่สุดเมื่อปริมาณของของผสมในแร่ป้อนที่ร้อยละ 5

กราฟที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลอนและปริมาณของของผสมใน  
แร่ป้อน



#### 4.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดและความดันป้อน

จากผลการศึกษารูปที่ 4.15 จะสามารถพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดและความดันป้อนซึ่งเมื่อความดันป้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการคัดขนาดทำให้สามารถคัดขนาดโคลนเจาะเหลือทิ้งได้อนุภาคที่เล็กลงเมื่ออัตราความเข้มข้นของของผสมในแร่ป้อนมีปริมาณเท่ากัน

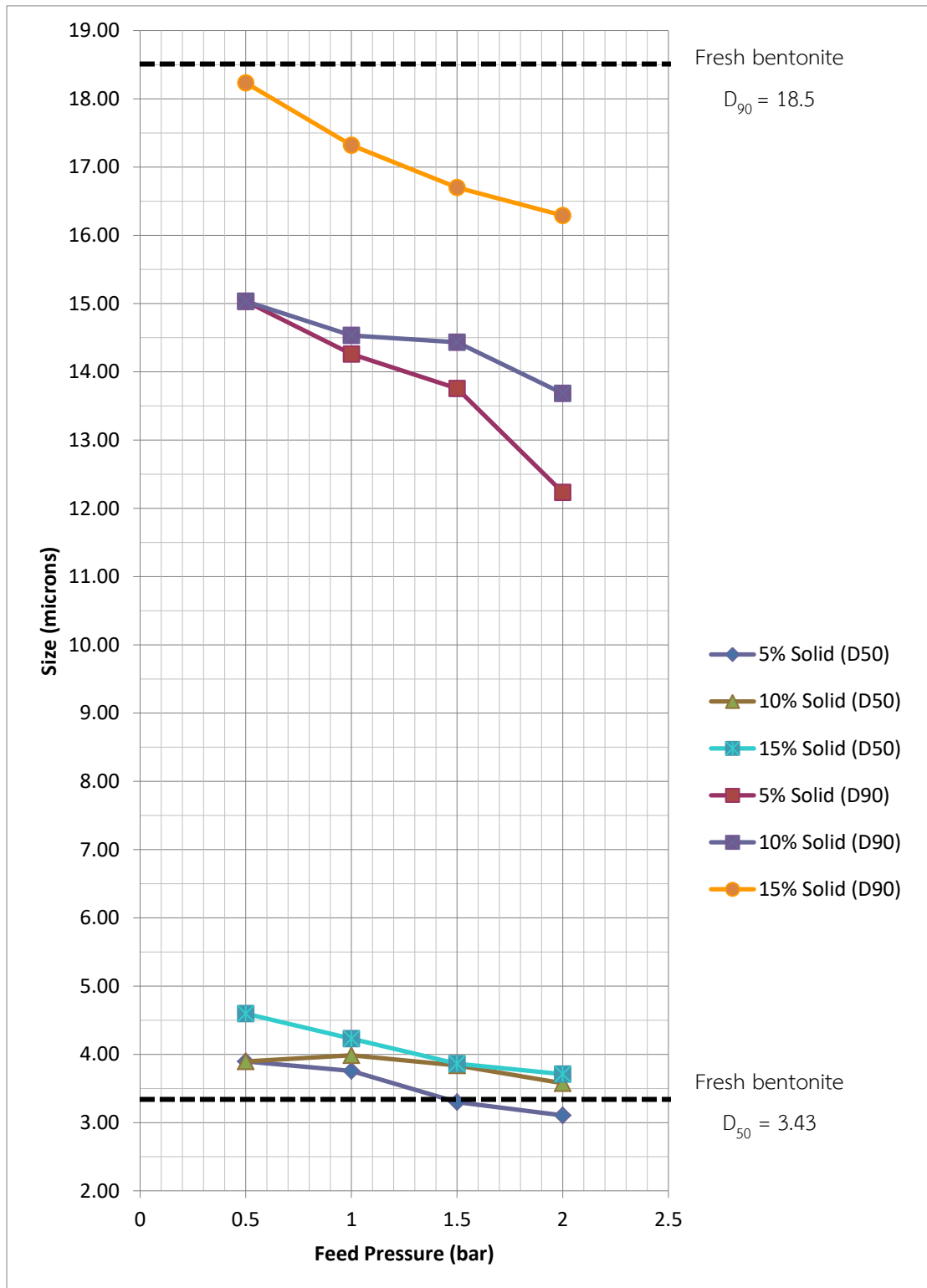
โดยขนาดคัดที่  $D_{50}$  ที่ความดันป้อนเริ่มต้น 0.5 bar จนถึง 2.0 bar จะมีขนาดอนุภาคของโคลนเจาะที่ลดลงเล็กน้อยจาก 3.9 ไมครอน 3.9 ไมครอน และ 4.6 ไมครอน เป็น 3.11 ไมครอน 3.58 ไมครอน และ 3.71 ไมครอน ที่อัตราความเข้มข้นของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 5 ร้อยละ 10 และร้อยละ 15 โดยปริมาตรตามลำดับ

ขนาดของอนุภาคมีความแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อความดันป้อนเริ่มต้น 0.5 bar จนถึง 2.0 bar ที่ขนาดคัดที่  $D_{90}$  โดยจะมีขนาดของอนุภาคที่ 15.03 ไมครอน 15.03 ไมครอน และ 18.23 ไมครอน ที่ความดัน 0.5 bar และขนาดของอนุภาคลดลงที่ความดัน 2.0 bar คือ 12.23 ไมครอน 13.68 ไมครอน และ 16.29 ไมครอน ที่อัตราความเข้มข้นของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 5 ร้อยละ 10 และร้อยละ 15 โดยปริมาตรตามลำดับ

เมื่อพิจารณาขนาดของผงเบนทอไนต์ใหม่เปรียบเทียบกับความดันป้อนที่เปลี่ยนไปจะพบว่าความดันป้อนที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ขนาดของอนุภาคคัดที่  $D_{50}$  ขนาดมีขนาดใกล้เคียงกับผงเบนทอไนต์ โดยแร่ overflow ที่ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 5 จะมีขนาดใกล้เคียงมากที่สุดในทุกความดันป้อน ซึ่งขนาดเล็กที่สุดคือ 3.4 ไมครอน ที่ความดันป้อน 1.5 bar จากนั้นขนาดจะเล็กกว่าผงเบนทอไนต์ใหม่เมื่อความดันป้อนปรับเพิ่มขึ้นไปที่ 2.0 bar โดยมีขนาด 3.1 ไมครอน

ในขณะที่  $D_{90}$  ของแร่จาก overflow จะมีขนาดที่เล็กกว่าผงเบนทอไนต์ใหม่ ซึ่งมีขนาดที่ 18.5 ไมครอน โดยแร่ที่มีขนาดใกล้เคียงมากที่สุดคือแร่ที่ความดันป้อน 0.5 bar และปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 15 โดยมีขนาด 18.25 ไมครอน และเมื่อความดันป้อนเพิ่มสูงขึ้นขนาดอนุภาคจะเล็กลง 17.4 ไมครอน 16.7 ไมครอน และ 16.3 ไมครอน ที่ความดันป้อน 1.0 bar 1.5 bar 2.0 bar ตามลำดับ

กราฟที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างการคัดขนาดด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลนและความดันป้อน





#### 4.6.3 การวิเคราะห์การเก็บกลับคืนเบนทอไนต์จากโคลนเจาะเหลือทิ้งโดยใช้เครื่องไฮโดรไซโคลน

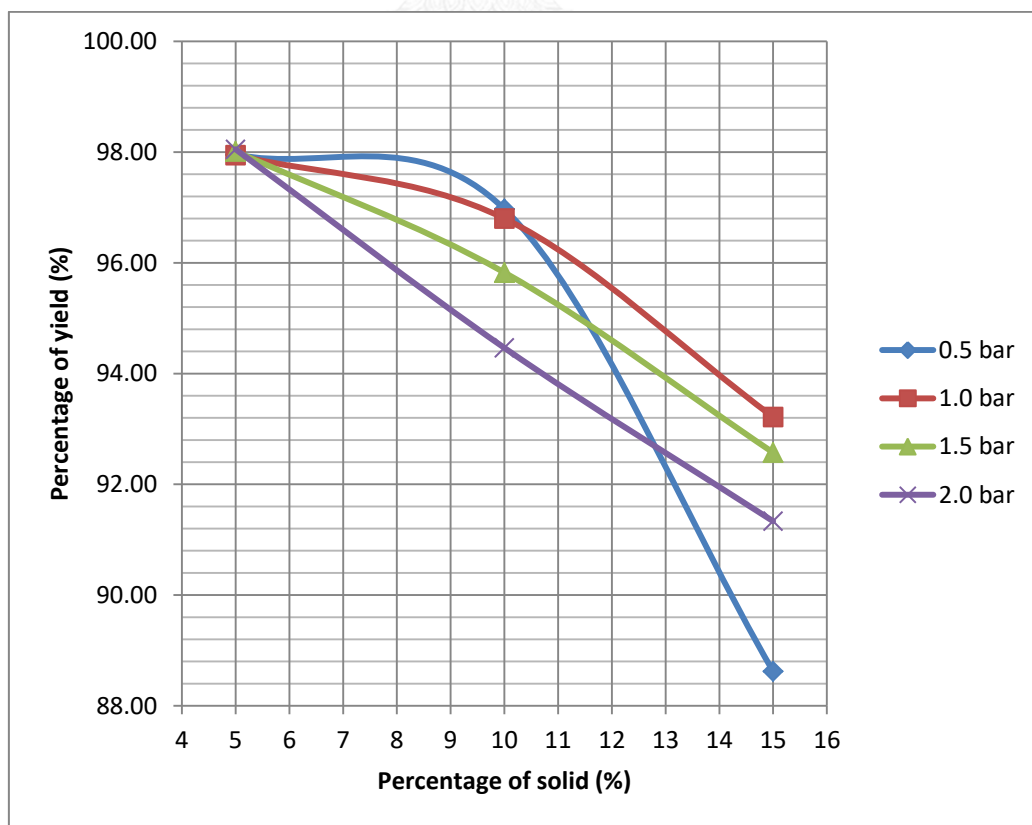
การวิเคราะห์การเก็บกลับคืนเบนทอไนต์ที่ได้จากการคัดแยกอนุภาคของทรายด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลนจะถูกนำมาพิจารณาโดยใช้มวลรวมของแร่ขนาดละเอียด overflow แร่ขนาดหยาบ underflow และแร่ป้อนซึ่งถูกแทนลงในสูตร

$$\% \text{ Yield} = \frac{\text{Mass of Concentration}}{\text{Mass of Feed}} \times 100$$

โดยที่ Mass of Concentration คือ มวลของของไหลที่ฝั่ง overflow x ปริมาณของของผสมในแร่ป้อน (ตัน/ชั่วโมง)

Mass of Feed คือ มวลรวมของของไหลจาก overflow และ underflow x ปริมาณของของผสมในแร่ป้อน (ตัน/ชั่วโมง)

กราฟที่ 4.16 ปริมาณการเก็บกลับคืนเบนทอไนต์จากการคัดแยกด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลน



ซึ่งการคำนวณหาประสิทธิภาพของการเก็บกลับคืนแร่เบนทอไนต์จากโคลนเจาะเหลือทิ้ง แสดงดังกราฟที่ 4.16 โดยสามารถพิจารณาได้ว่าเมื่อปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 5 ใน ทุกๆความดันป้อนจะมีประสิทธิภาพในการเก็บกลับคืนสูงสุดใกล้เคียงกันคือ ร้อยละ 97.96 ร้อย ละ 97.95 ร้อยละ 98.01 และร้อยละ 98.05 จากความดันป้อน 0.5 bar 1.0 bar 1.5 bar และ 2.0 bar เมื่อปริมาณของของผสมในแร่ป้อนเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพของการเก็บกลับคืนจะลดลงโดย ที่ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 10 จะมีประสิทธิภาพการกลับคืน ร้อยละ 96.97 ร้อยละ 96.80 ร้อยละ 95.83 และร้อยละ 94.46 และลดลงสูงสุดเมื่อปริมาณของของผสมในแร่ป้อนเพิ่ม เป็นร้อยละ 15 จะมีประสิทธิภาพการกลับคืน ร้อยละ 88.62 ร้อยละ 93.22 ร้อยละ 92.57 และ ร้อยละ 91.33

จากผลการศึกษาปริมาณการเก็บกลับคืนเบนทอไนต์จากโคลนเจาะเหลือทิ้งจะเห็นว่าเมื่อ ปริมาณของของผสมเพิ่มขึ้นจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการเก็บกลับคืนที่ลดลง และความดัน ป้อนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการเก็บกลับคืนที่ลดลงเช่นกัน แต่จากการทดลองไม่ เป็นไปตามทฤษฎีเนื่องจากที่ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนที่ร้อยละ 5 จนถึงร้อยละ 10 การเก็บ กลับคืนเบนทอไนต์จะมีปริมาณสูงสุดที่ความดัน 0.5 bar หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการเก็บ กลับคืนกลับลดลงจนต่ำกว่าความดันป้อนอื่นเมื่อปริมาณของของผสมในแร่ป้อนเพิ่มขึ้นเป็นร้อย ละ 15 สาเหตุอาจมาจากการตรวจสอบปริมาณของของผสมที่ไม่ดีพอในขณะที่เริ่มต้นการปรับ ความดันที่ 0.5 bar และไม่ได้เดินเครื่องไฮโดรไซโคลนให้มีการหมุนเวียนของโคลนเจาะในถังเก็บ และในปีที่สมดุล ทำให้การกระจายของแร่ป้อนไม่สมดุลจนทำให้ปริมาณการเก็บกลับคืนของแร่ อนุภาคละเอียดได้น้อยจนเกินไปซึ่งส่งผลกระทบต่อความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

#### 4.7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของตัวอย่างที่ได้จากการคัดแยกโดยเครื่องไฮโดรไซโคลนการ เจาะเสาเข็มระบบเปียกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)

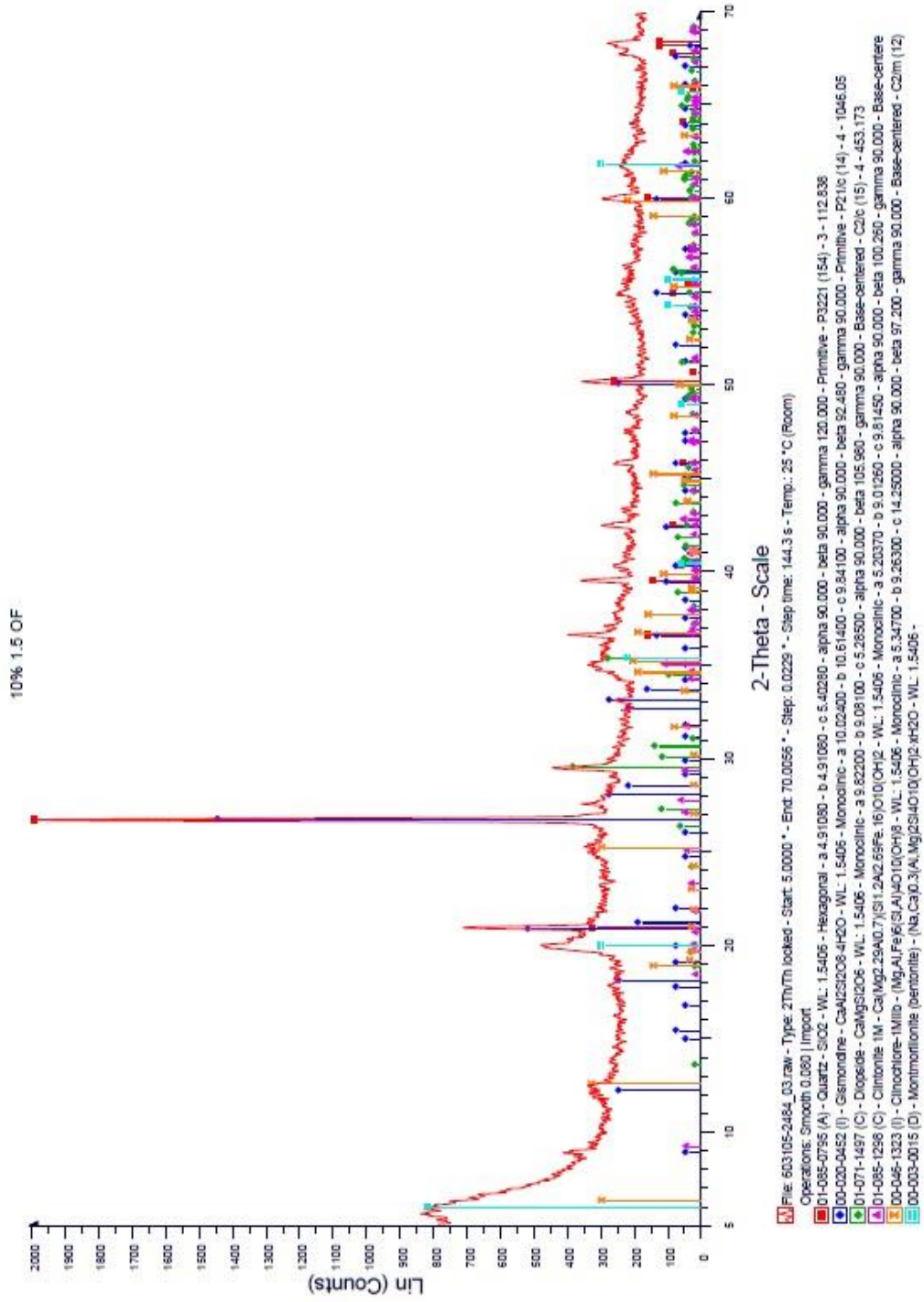
การศึกษาองค์ประกอบแร่ของหัวแร่ที่ได้จากการคัดแยกโดยเครื่องไฮโดรไซโคลนเพื่อพิจารณาถึง องค์ประกอบของแร่ที่มีอยู่หลังจากได้ทำการคัดแยกเอาอนุภาครายออกไป ซึ่งผลของการวิเคราะห์ แสดงดังกราฟที่ 4.17

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของหัวแร่ overflow ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของ รังสีเอกซ์ (XRD) พบว่ายังมีองค์ประกอบแร่ชนิดเดียวกับที่พบอยู่ในโคลนเจาะเหลือทิ้งที่ยังไม่ได้ทำ

การคัดแยกด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลน นั้นคือ ควอตซ์ (Quartz) กิสมอนไดน์ (Gismondine) ไดออปไซด์ (Diopside) ไคลทอนไนต์ (Clintonite) ไคลโนคลอร์ (Clinochlore) และมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) จึงต้องทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF) ต่อไป



ภาพที่ 4.17 องค์ประกอบแร่ของหัวแร่ (Overflow) ที่ได้จากการตัดแยกโดยเครื่องไฮโดรโคลน



#### 4.8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหัวแร่ที่ได้จากการตัดแยกโดยเครื่องไฮโดรไซโคลน การเจาะเสาเข็มระบบเปียกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF)

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของหัวแร่จากการตัดแยกโดยเครื่องไฮโดรไซโคลน การเจาะเสาเข็มระบบเปียกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF) เพื่อศึกษาถึงปริมาณของ  $\text{SiO}_2$  ที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการได้รับการตัดแยกทรายออกไป โดยผลของการวิเคราะห์เป็นดังตารางที่ 4.3

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของหัวแร่ที่ได้จากการตัดแยกด้วยไฮโดรไซโคลน เปรียบเทียบกับโคลนเจาะเหลือที่พบว่าปริมาณของ  $\text{SiO}_2$  นั้นลดลง โดยหัวแร่ที่มีปริมาณร้อยละ 10 ของของแข็งในน้ำ ด้วยความดันขณะป้อนที่ 2.0 bar มีปริมาณของ  $\text{SiO}_2$  เหลือน้อยที่สุด โดยคิดเป็นร้อยละ 48.5932 ของน้ำหนัก อย่างไรก็ตามปริมาณของ  $\text{SiO}_2$  ยังไม่ใกล้เคียงกับเบนทอนต์ใหม่ อาจเนื่องมาจากการ  $\text{SiO}_2$  ไม่ได้อยู่ในรูปฟอร์มของควอตซ์เพียงอย่างเดียว แต่ยังอยู่ในฟอร์มของแร่ Gismondine Diopside และ Clinocholre ซึ่งมีองค์ประกอบของแร่เป็นซิลิกาออกไซด์เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของเบมทอไนต์ใหม่ โคลนเจาะเหลือที่จากการเจาะเสาเข็มระบบเปียกและหัวแร่ (Overflow) ที่ได้จากการคัดแยกด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลน

Chemical Content	Na-Bentonite	Feed	5% Solid				10% Solid				15% Solid			
			0.5 bar	1.0 bar	1.5 bar	2.0 bar	0.5 bar	1.0 bar	1.5 bar	2.0 bar	0.5 bar	1.0 bar	1.5 bar	2.0 bar
SiO <sub>2</sub>	44.6570	52.2002	51.8279	49.4767	50.4322	48.8433	50.5272	51.6170	48.7011	48.5932	49.3813	49.5436	50.3508	48.7381
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.1184	18.4323	15.9146	18.6818	17.4472	17.8971	16.3253	16.5234	18.6089	18.4120	18.6923	18.3427	17.5054	18.3079
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.6626	7.3543	7.3217	7.6358	7.5577	7.3557	7.1848	6.9990	8.7054	7.4306	7.8467	7.6039	7.6023	7.7078
CaO	4.4086	3.6770	5.3312	4.4786	4.9854	4.9728	4.8844	5.1097	3.4197	4.3693	3.9139	4.1346	4.2651	4.0490
MgO	2.9170	2.3864	1.9151	2.1298	2.0652	2.0133	2.1047	1.9045	2.3496	2.1018	2.3004	2.2557	2.1958	2.3257
K <sub>2</sub> O	0.8378	1.7298	1.8197	1.8989	1.7429	1.8870	1.7204	1.7119	-	1.8545	1.8654	1.7952	1.8289	1.7845
Na <sub>2</sub> O	2.8619	0.4485	0.6284	1.3583	0.5688	0.5637	1.0376	1.1863	0.3903	1.3418	1.1487	1.3211	1.1828	1.3732
TiO <sub>2</sub>	2.2930	0.8109	0.9555	0.9353	0.8802	0.9260	0.8259	0.9208	0.7905	0.9109	0.8013	0.8131	0.7999	0.7738
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.4638	0.0807	0.0859	0.0849	0.0905	0.0904	0.0874	0.0874	-	0.0830	-	-	-	-

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการวิจัยการเก็บกลับคืนเบนทอไนด์จากดินโคลนเจาะเหลือทิ้งในการขุดเจาะเสาเข็มมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงวิธีการที่เหมาะสมในการคัดแยกเบนทอไนด์จากโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการขุดเจาะเสาเข็มระบบเปียกและการนำเบนทอไนด์กลับมาใช้ใหม่ได้หรือไม่

จากผลการวิจัยการเก็บกลับคืนเบนทอไนด์จากดินโคลนเจาะเหลือทิ้งโดยการใช้เครื่องไฮโดรไซโคลนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- ปริมาณอนุภาคของทรายที่ปนอยู่ในโคลนเจาะเหลือทิ้งลดลงจนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ไม่เกินร้อยละ 3 โดยปริมาตร ซึ่งคาดว่าจะสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้เมื่อโคลนเจาะเหลือทิ้งที่มีปริมาณของของผสมในแร่ป้อนไม่เกินร้อยละ 13 โดยปริมาตร
- ปริมาณของของผสมในแร่ป้อน (Percentage of solid) เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการลดปริมาณของทรายน้อยลง โดย ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 5 จะมีปริมาณทรายต่ำที่สุดคือ ร้อยละ 0.73
- ความดันป้อน (Feed Pressure) สูงขึ้นจะส่งผลต่อการลดปริมาณของทรายเพิ่มสูงขึ้น โดยความดันป้อนที่ 1.5 bar จะทำให้โคลนเจาะมีอนุภาคของทรายร้อยละ 0.77 ร้อยละ 0.84 และร้อยละ 3.60 ที่ปริมาณของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 5 ร้อยละ 10 และร้อยละ 15 ตามลำดับ
- ปริมาณของของผสมในแร่ป้อน (Percentage of solid) จะส่งผลต่อการคัดขนาดอนุภาคของแร่ส่วนละเอียด คือ เมื่อปริมาณของของผสมในแร่ป้อนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 จนถึงร้อยละ 15 ขนาดของอนุภาคที่คัดแยกได้จะโตขึ้น เมื่อความดันป้อนเท่ากัน โดยขนาดคัดที่  $D_{50}$  มีขนาดเล็กสุดที่ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 5 คือ 3.11 ไมครอน และมีขนาดโตสุดที่ปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 15 คือ 3.71 ไมครอน
- ความดันป้อน (Feed pressure) จะส่งผลต่อการคัดขนาดอนุภาคของแร่ส่วนละเอียด คือ เมื่อความดันป้อนเพิ่มขึ้น การคัดขนาดจะสามารถคัดแยกได้อนุภาคที่เล็กลง โดยขนาดคัดที่  $D_{50}$  ที่ความดันป้อน 0.5 bar มีขนาดโตที่สุดที่และมีขนาดคัดเล็กที่ที่ความดันป้อน 2.0 bar

- ขนาดของอนุภาคภายในโคลนเจาะเหลือที่จะลดลงจนมีขนาดใกล้เคียงกับผงเบนทอไนต์ใหม่ โดยมีขนาดโตกว่าขนาดคัด  $D_{50}$  ที่ 3.43 ไมครอนเล็กน้อย แต่มีขนาดเล็กกว่าที่ขนาดคัด  $D_{90}$  ที่ 18.5 ไมครอน
- ปริมาณภาพในการเก็บกลับคืนเบนทอไนต์จากโคลนเจาะเหลือที่จะขึ้นอยู่กับปริมาณของของผสมในแร่ป้อน (Percentage of solid) และความดันป้อน (Feed pressure) คือ
  - การเก็บกลับคืนจะลดลงเมื่อมีปริมาณของของผสมในแร่ป้อนสูงขึ้น
  - การเก็บกลับคืนจะลดลงเมื่อมีความดันป้อนเพิ่มสูงขึ้น
 โดยปริมาณการเก็บกลับคืนที่ดีที่สุดปริมาณของของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 5 ความดันป้อน 0.5 bar

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

เมื่อปริมาณของของผสมในแร่ป้อนมีปริมาณที่สูงมาก การคัดแยกโคลนเจาะเหลือทิ้งจากการเจาะเสาเข็มระบบเปียกเพียงครั้งเดียวไม่สามารถลดปริมาณของอนุภาคของทรายให้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ได้ จึงควรนำหัวแร่ที่คัดได้จากส่วนปากทางออกส่วนละเอียดในส่วนล้น (overflow) ป้อนเข้าสู่เครื่องไฮโดรไซโคลนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่าเดิมหรือเล็กกว่าเดิมซ้ำอีกครั้งเพื่อเป็นการลดปริมาณของของผสมในแร่ป้อนให้ได้มากที่สุดและสามารถนำกลับไปใช้งานได้อีกครั้ง

การตรวจสอบปริมาณของของผสมในแร่ป้อนควรกระทำทุกครั้งหลังจากการมีเปลี่ยนแปลงความดันป้อน และควรยึดตัวเครื่องให้แน่นหนาเมื่อเพิ่มความดันป้อนที่สูงขึ้น เนื่องจากการสั่นสะเทือนจากการเดินเครื่องไฮโดรไซโคลนอาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในผลวิเคราะห์ที่เกิดขึ้นได้



## รายการอ้างอิง

- American association of drilling engineers. (1999). *Shale shakers and drilling fluid systems*. United State of America: Gulf publishing company.
- Amornfa K, P. N., Kitpayuck P. (2012, December). Current practice on foundation design of high-rise buildings in Bangkok, Thailand. *LOWLAND TECHNOLOGY INTERNATIONAL*, 14(2), 70-83.
- ASME Shale Shaker Committee. (2005). *Drilling Fluids processing handbook*. United State of America: Elsevier Inc.
- Balasubramaniam AS, O. E., Erwin, Phienwej N, . (2006). Bored and driven pile testing in Bangkok sub-soils. *LOWLAND TECHNOLOGY INTERNATIONAL*.
- Federation of piling specialists. (2006). Bentonite support fluids in civil engineering.
- Fink, J. (2012). Driling muds. In *Petroleum Engineer's Guide to Oil Field Chemicals and Fluids* (1 ed., pp. 1-59). United States: Gulf Professional Publishing.
- Fink, J. (2015). Chapter II: Drilling Fluids. In *Water-Based Chemicals and Technology for Drilling, Completion, and Workover Fluids* (1st edition ed., pp. 5-144): Elsevier Inc.
- Neesse T, D. J., Schwemmer H, Farghaly M. (2015, February). Using a high pressure hydrocyclone for solid classification in the submicron range. *Minerals Engineering*, 71, 85-88.
- Ryen Caenn, H. C. H. D., George R. Gray. (2011). Chapter 12 – Drilling and Drilling Fluids Waste Management. In *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids* (Sixth Edition ed., pp. 617-654): Elsevier Inc.
- Thomas G., A. M. (1989, July). Drilling mud: monitoring and managing it. *Oilfield review*, 41-52.
- ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์. (2553). การเก็บกลับคืนทรัพยากรและการนำกลับมาใช้ใหม่: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชัย มุกตพันธุ์, ก. น. (2528). ปฐพีกลศาสตร์ และ วิศวกรรมฐานราก: สำนักพิมพ์ดวงกมล.
- ณรงค์ ทัศนนิพันธ์. (2557a). ความก้าวหน้าทางเทคนิคการก่อสร้างเสาเข็มเจาะในกรุงเทพฯ ในปัจจุบัน. In ธ. บ. ซอร์ ซอร์ เอย์, เฉลิมพล เตชะกำธรม, ณัฐชัย โปร่งมณี, ณัฐพล ทัศน

นิพนธ์. (Ed.), ประสบการณ์งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะและโครงสร้างใต้ดินในประเทศไทย (pp. 1-26): บริษัท ซีพีโก้ จำกัด (มหาชน).

ณรงค์ ทศนนิพนธ์. (2557b). ประสบการณ์และพัฒนาการก่อสร้างเสาเข็มเจาะลึกมากในชั้นดิน กรุงเทพฯ. In ธ. บ. ซอร์ ซอร์ เอย์, เฉลิมพล เตชะกำธร์, ณัฐชัย โปร่งมณี, ณัฐวุฒิ ทศนนิพนธ์. (Ed.), ประสบการณ์งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะและโครงสร้างใต้ดินในประเทศไทย (pp. 27-64): บริษัท ซีพีโก้ จำกัด (มหาชน).

ณรงค์ ทศนนิพนธ์, ท. ป. (2557). สมรรถนะของเสาเข็มระบบเจาะเปียกด้วยสารละลายเป็นโทไนท์ในชั้นดินกรุงเทพ. In ธ. บ. ซอร์ ซอร์ เอย์, เฉลิมพล เตชะกำธร์, ณัฐชัย โปร่งมณี, ณัฐวุฒิ ทศนนิพนธ์, (Ed.), ประสบการณ์งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะและโครงสร้างใต้ดินในประเทศไทย (pp. 115-122): บริษัท ซีพีโก้ จำกัด (มหาชน).

ภิญโญ มีชำนะ. (2551). เอกสารประกอบคำสอนรายวิชา *Mineral and Process Engineering*: ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.  
 ราชบัณฑิตยสถาน. (2554). พจนานุกรมศัพท์แร่และอัญมณี ฉบับราชบัณฑิตยสถาน (พิมพ์ครั้งที่ 2 ed.). กรุงเทพฯ: บริษัท ยูเนียนอุตสาหกรรมไวโอเล็ต จำกัด.





ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของโคลนเจาะเหลือที่ดัดด้วยตะแกรงมาตรฐาน

ตะแกรง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2				ครั้งที่ 3			
	ปริมาณแร่ ค้าง ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณแร่ ค้าง ตะแกรง (%)	น้ำหนักแร่ ค้าง ตะแกรง สะสม (%)	ปริมาณ แร่ผ่าน ตะแกรง (%)	ปริมาณแร่ ค้าง ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณแร่ ค้าง ตะแกรง (%)	น้ำหนักแร่ ค้าง ตะแกรง สะสม (%)	ปริมาณ แร่ผ่าน ตะแกรง (%)	ปริมาณ แร่ค้าง ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณ แร่ค้าง ตะแกรง (%)	น้ำหนักแร่ ค้าง ตะแกรง สะสม (%)	ปริมาณ แร่ผ่าน ตะแกรง (%)
+20	0.38	0.40	0.40	99.60	0.82	0.88	0.88	99.12	0.91	0.92	0.92	99.08
-30+70	0.31	0.33	0.73	99.27	0.31	0.34	1.22	98.78	0.56	0.57	1.49	98.51
-70+100	6.27	6.53	7.25	92.75	5.87	6.30	7.52	92.48	5.71	5.81	7.30	92.70
-100+140	4.67	4.87	12.12	87.88	4.09	4.39	11.90	88.10	4.25	4.33	11.62	88.38
-140+200	5.18	5.39	17.51	82.49	4.18	4.49	16.39	83.61	3.70	3.77	15.39	84.61
-200+325	5.71	5.95	23.46	76.54	5.27	5.66	22.05	77.95	4.91	5.00	20.40	79.60
-325	6.97	7.26	30.72	69.28	6.92	7.42	29.48	70.52	6.11	6.22	26.61	73.39
Pan	66.52	69.28	100.00	0.00	65.71	70.52	100.00	0.00	72.08	73.38	100.00	0.00
น้ำหนักรวม	96.01	100.00			93.18	100.00			98.23	100.00		

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของทางแร่ที่มีขนาดหยาบ (Underflow) จากเครื่องไฮโดรไซโคลอนโดยปริมาณของผสมใน แร่ป้อนร้อยละ 5 ด้วยตะแกรงมาตรฐาน

ตะแกรง Mesh	ความดันป้อน 0.5 bar				ความดันป้อน 1.0 bar				ความดันป้อน 1.5 bar				ความดันป้อน 2.0 bar						
	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ แร่ผ่าน ตะแกรง (%)	ปริมาณ น้ำหนักแร่	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ แร่ผ่าน ตะแกรง (%)	ปริมาณ น้ำหนักแร่	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ แร่ผ่าน ตะแกรง (%)	ปริมาณ น้ำหนักแร่	ปริมาณ แร่ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณ แร่ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ แร่ผ่าน ตะแกรง (%)	ปริมาณ น้ำหนักแร่	ปริมาณ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณ ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ ตะแกรง (%)
+30	0.02	0.02	99.98	0.01	0.02	0.02	99.98	0.07	0.11	0.11	99.89	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	99.96	
-70+100	0.95	3.10	96.89	1.36	2.55	2.56	97.44	1.19	1.92	1.92	97.98	1.09	1.58	1.58	1.62	1.62	98.38		
-100+140	3.30	10.71	86.18	2.69	5.04	7.60	92.40	2.67	4.29	4.29	93.68	2.05	2.99	2.99	4.61	4.61	95.39		
-140+200	3.26	10.57	75.61	6.09	11.41	19.01	80.99	5.52	8.90	8.90	84.78	4.65	6.77	6.77	11.38	11.38	88.62		
-200+325	4.81	15.58	60.02	9.73	18.22	37.23	62.77	9.98	16.07	16.07	68.71	11.25	16.39	16.39	27.76	27.76	72.24		
-325	8.28	26.85	33.17	10.46	19.59	56.82	43.18	13.65	21.99	21.99	46.72	15.57	22.68	22.68	50.44	50.44	49.56		
Pan	10.22	33.14	0.04	23.05	43.18	100.00	0.00	29.00	46.72	46.72	0.00	34.04	49.56	100.00	100.00	100.00	0.00		
น้ำหนักรวม	30.85	100.00		53.38	100.00			62.07	100.00			68.67	100.00						

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของทางแร่ที่มีขนาดหยาบ (Underflow) จากเครื่องไฮโดรไซโคลนโดยปริมาณของผสมในแร่บ่อนร้อยละ 10 ด้วยตะแกรงมาตรฐาน

ตะแกรง	ความดันบ่อน 0.5 bar				ความดันบ่อน 1.0 bar				ความดันบ่อน 1.5 bar				ความดันบ่อน 2.0 bar			
	ปริมาณแร่	ปริมาณแร่	ปริมาณแร่	ปริมาณแร่	ปริมาณแร่	ปริมาณแร่	ปริมาณแร่	ปริมาณแร่	ปริมาณแร่	ปริมาณแร่	ปริมาณแร่	ปริมาณแร่	ปริมาณแร่	ปริมาณแร่	ปริมาณแร่	ปริมาณแร่
Mesh	Sieve size (µm)	ปริมาณ	ปริมาณ	ปริมาณ	ปริมาณ	ปริมาณ	ปริมาณ	ปริมาณ	ปริมาณ	ปริมาณ	ปริมาณ	ปริมาณ	ปริมาณ	ปริมาณ	ปริมาณ	ปริมาณ
+30	595	0.03	0.06	0.09	0.10	0.20	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
-70+100	210	0.38	0.74	2.92	3.06	3.16	96.84	0.53	0.53	0.53	0.57	99.43	0.26	0.27	0.27	0.29
-100+140	149	1.25	2.42	3.89	4.08	7.24	92.76	2.25	2.25	2.25	2.82	97.18	0.90	0.95	1.24	98.76
-140+200	105	4.35	8.39	11.89	12.46	19.70	80.30	5.06	5.06	5.06	7.88	92.12	3.20	3.36	4.60	95.40
-200+325	74	10.65	20.55	14.86	15.56	35.27	64.73	16.26	16.26	16.26	24.13	75.87	11.99	12.59	17.19	82.81
-325	44	18.41	35.53	21.99	23.04	58.31	41.69	20.49	20.49	20.49	44.62	55.38	22.51	23.64	40.83	59.17
Pan		16.74	32.31	39.80	41.69	100.00	0.00	52.72	52.72	52.72	97.34	2.66	56.36	59.17	100.00	0.00
น้ำหนักรวม		51.81	100.00	95.45	100.00			97.34	97.34	97.34			95.24	100.00		

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของทางแร่ที่มีขนาดหยาบ (Underflow) จากเครื่องไฮโดรไซโคลนโดยปริมาณของผสมในแร่บ่อนร้อยละ 15 ด้วยตะแกรงมาตรฐาน

ตะแกรง เมษ	ความดันบ่อน 0.5 bar				ความดันบ่อน 1.0 bar				ความดันบ่อน 1.5 bar				ความดันบ่อน 2.0 bar			
	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณ ค้ำ ตะแกรง (%)	น้ำหนักแร่ ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ แร่ผ่าน ตะแกรง (%)	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณ ค้ำ ตะแกรง (%)	น้ำหนักแร่ ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ แร่ผ่าน ตะแกรง (%)	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณ ค้ำ ตะแกรง (%)	น้ำหนักแร่ ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ แร่ผ่าน ตะแกรง (%)	ปริมาณ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณ ค้ำ ตะแกรง (%)	น้ำหนักแร่ ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ แร่ผ่าน ตะแกรง (%)
+30	1.39	1.40	1.40	98.60	0.31	0.31	0.31	99.69	0.04	0.04	0.04	0.17	0.18	0.18	99.82	
-70+100	33.70	34.01	35.41	64.59	16.17	16.25	16.56	83.44	6.54	7.02	7.06	9.45	9.75	9.93	90.07	
-100+140	15.66	15.81	51.22	48.78	12.55	12.61	29.16	70.84	7.80	8.37	15.43	9.34	9.64	19.57	80.43	
-140+200	11.98	12.09	63.31	36.69	13.31	13.37	42.54	57.46	10.69	11.47	26.90	16.77	17.31	36.88	63.12	
-200+325	12.60	12.71	76.02	23.98	18.64	18.72	61.26	38.74	19.98	21.44	48.35	13.76	14.20	51.08	48.92	
-325	11.75	11.86	87.88	12.12	14.99	15.06	76.32	23.68	20.24	21.72	70.07	19.87	20.51	71.59	28.41	
Pan	12.01	12.12	100.00	0.00	23.57	23.68	100.00	0.00	27.89	29.93	100.00	27.54	28.41	100.00	0.00	
น้ำหนักรวม	99.08	100.00			99.54	100.00			93.18	100.00		96.91	100.00			



ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของทั้งแร่ที่มีขนาดละเอียด (Overflow) จากเครื่องไฮโดรไซโคลนโดยปริมาณของผสมใน แร่ป้อนร้อยละ 5 ด้วยตะแกรงมาตรฐาน

ตะแกรง	ความดันป้อน 0.5 bar				ความดันป้อน 1.0 bar				ความดันป้อน 1.5 bar				ความดันป้อน 2.0 bar			
	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณ แร่ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ แร่ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ แร่ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ แร่ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ แร่ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ แร่ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ แร่ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ แร่ค้ำ ตะแกรง (%)
Mesh																
+30	0.02	0.02	0.02	0.02	0.07	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.13	0.13	99.87
-70+100	0.08	0.09	0.11	0.11	0.08	0.11	0.21	0.21	0.18	0.23	0.23	0.23	0.03	0.04	0.17	99.83
-100+140	0.14	0.16	0.27	0.27	0.11	0.15	0.36	0.36	0.13	0.17	0.40	0.40	0.08	0.10	0.27	99.73
-140+200	0.10	0.11	0.38	0.38	0.11	0.15	0.51	0.51	0.12	0.15	0.55	0.55	0.20	0.25	0.51	99.49
-200+325	0.31	0.35	0.73	0.73	0.16	0.22	0.73	0.73	0.18	0.22	0.77	0.77	0.29	0.35	0.86	99.14
-325	0.55	0.62	1.34	1.34	0.31	0.41	1.15	1.15	0.28	0.35	1.12	1.12	0.24	0.29	1.15	98.85
Pan	88.56	98.66	100.00	100.00	73.60	98.85	100.00	100.00	78.76	98.88	100.00	100.00	81.29	98.85	100.00	0.00
น้ำหนักรวม	89.77	100.00			74.45	100.00			79.65	100.00			82.24	100.00		

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของทั้งแร่ที่มีขนาดละเอียด (Overflow) จากเครื่องไฮโดรไซโคลอนโดยปริมาณของผสมในแร่บ่อนร้อยละ 10 ด้วยตะแกรงมาตรฐาน

ตะแกรง	ความดันบ่อน 0.5 bar			ความดันบ่อน 1.0 bar			ความดันบ่อน 1.5 bar			ความดันบ่อน 2.0 bar		
	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (%)	น้ำหนักแร่ ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (%)	น้ำหนักแร่ ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (%)	น้ำหนักแร่ ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (%)	น้ำหนักแร่ ค้ำ ตะแกรง (%)
+30	0.62	0.75	0.75	0.09	0.10	0.10	0.06	0.06	0.06	0.04	0.04	0.04
-70+100	0.37	0.44	1.20	0.15	0.16	0.25	0.35	0.35	0.41	0.26	0.28	0.32
-100+140	0.31	0.38	1.57	0.08	0.08	0.34	0.11	0.11	0.52	0.56	0.60	0.92
-140+200	0.27	0.33	1.90	0.93	1.01	1.34	0.29	0.29	0.81	0.39	0.42	1.33
-200+325	0.23	0.28	2.18	0.20	0.22	1.56	0.02	0.02	0.84	0.28	0.30	1.63
-325	0.20	0.24	2.42	0.22	0.24	1.80	0.71	0.72	1.56	0.22	0.23	1.86
Pan	80.49	97.58	100.00	91.04	98.20	100.00	97.07	98.44	100.00	92.17	98.14	100.00
น้ำหนักรวม	82.49	100.00		92.71	100.00		98.61	100.00		93.92	100.00	

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของหัวแร่ที่มีขนาดละเอียด (Overflow) จากเครื่องไฮโดรโคลนโดยปริมาณของผสมในแร่ป้อนร้อยละ 15 ด้วยตะแกรงมาตรฐาน

ตะแกรง	ความดันป้อน 0.5 bar				ความดันป้อน 1.0 bar				ความดันป้อน 1.5 bar				ความดันป้อน 2.0 bar			
	ปริมาณแร่ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณ ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณ ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ค้ำ ตะแกรง (%)	ปริมาณ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	ปริมาณ ค้ำ ตะแกรง (กรัม)
595	0.00	0.00	0.74	0.80	0.80	0.80	0.80	0.18	0.19	0.19	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
-70+100	0.97	1.51	0.38	0.41	1.21	98.79	0.23	0.24	0.42	99.58	1.13	1.18	1.18	1.18	98.82	
-100+140	0.35	0.55	0.40	0.44	1.65	98.35	0.45	0.46	0.88	99.12	1.19	1.24	1.24	2.41	97.59	
-140+200	0.39	0.61	0.24	0.27	1.92	98.08	1.38	1.41	2.29	97.71	1.13	1.18	1.18	3.59	96.41	
-200+325	0.15	0.24	1.25	1.36	3.28	96.72	1.29	1.31	3.60	96.40	0.29	0.30	0.30	3.89	96.11	
-325	0.24	0.38	0.09	0.09	3.37	96.63	0.18	0.18	3.78	96.22	1.16	1.20	1.20	5.10	94.90	
Pan	62.00	96.71	88.81	96.63	100.00	0.00	94.66	96.22	100.00	0.00	91.06	94.90	100.00	100.00	0.00	
น้ำหนักรวม	64.11	100.00	91.91	100.00			98.38	100.00			95.95	100.00				

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของหัวแร่ที่มีขนาดละเอียด (Overflow) ด้วยเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer โดยพิจารณาที่ความดันป้อนที่เปลี่ยนไป

ขนาดของอนุภาค (µm)	ตัวอย่างหัวแร่ละเอียด (Overflow)											
	5% solid				10% solid				15% solid			
	ความดันป้อน (bar)				ความดันป้อน (bar)				ความดันป้อน (bar)			
	0.5	1	1.5	2	0.5	1	1.5	2	0.5	1	1.5	2
D <sub>50</sub>	3.90	3.76	3.30	3.11	3.90	3.99	3.84	3.58	4.60	4.23	3.86	3.71
D <sub>90</sub>	15.03	14.26	13.76	12.23	15.03	14.53	14.43	13.68	18.23	17.32	16.70	16.29

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของหัวแร่ที่มีขนาดละเอียด (Overflow) ด้วยเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer โดยพิจารณาที่ปริมาณของผลสมในแร่ป้อนที่เปลี่ยนไป

ขนาดของอนุภาค (µm)	ความดันป้อน											
	0.5 bar			1.0 bar			1.5 bar			2.0 bar		
	ปริมาณของผลสมในแร่ (%)			ปริมาณของผลสมในแร่ (%)			ปริมาณของผลสมในแร่ (%)			ปริมาณของผลสมในแร่ (%)		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15
D <sub>50</sub>	3.90	4.24	4.60	3.76	3.99	4.23	3.30	3.84	3.86	3.11	3.58	3.71
D <sub>90</sub>	15.03	15.93	18.23	14.26	14.53	17.32	13.76	14.43	16.70	12.23	13.68	16.29

ตารางที่ 10 ปริมาณของทรายในหัวแร่ที่ได้จากการคัดแยกด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลน (%)

ปริมาณของของผสมในแร่ป้อน (%)	ความดันป้อน (bar)			
	0.5	1	1.5	2
5	0.73	0.73	0.77	0.86
10	2.18	1.56	0.84	1.63
15	2.91	3.28	3.60	3.89

ตารางที่ 11 ปริมาณการเก็บกลับคืนของหัวแร่ที่ได้จากการคัดแยกด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลน (%)

ความดันป้อน (bar)	ปริมาณของของผสมในแร่ป้อน (%)		
	5	10	15
0.5	97.96	96.97	88.62
1	97.95	96.80	93.22
1.5	98.01	95.83	92.57
2	98.05	94.46	91.33

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจักรพันธ์ พิมลรัตน์ เกิดวันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ.2524 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา จากโรงเรียนเรวัตติ และระดับมัธยมศึกษา จากโรงเรียนศรีอยุธยา ในพระอุปถัมภ์ฯ และระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ (อัญมณีและเครื่องประดับ) จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปีการศึกษา 2542

ปัจจุบันได้เข้ารับการศึกษาคณะในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557 โดยระหว่างการศึกษาได้เข้าร่วมการสัมมนานานาชาติเป็นผู้ประสานงานวิชาการในงาน The 13th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology ซึ่งจัดขึ้นระหว่างวันที่ 1-4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557 ณ โรงแรมดุสิตธานี พัทยา และเข้าร่วมเป็นหัวหน้าฝ่ายวิชาการในงานสัมมนานานาชาติ The 13th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology ซึ่งจัดขึ้นระหว่างวันที่ 28-29 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 ณ อาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อีกทั้งยังมีโอกาสได้เข้าร่วมโครงการแลกเปลี่ยนศึกษาทำงานกับภาควิชา Division of Sustainable Resources Engineering ระหว่างวันที่ 22 มิถุนายน พ.ศ. 2557 – 22 สิงหาคม พ.ศ. 2557 มหาวิทยาลัย Hokkaido University ณ ประเทศญี่ปุ่น