รหัสโครงการ SUT7-719-51-12-64

รายงานการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำโคลนในการนำพาตัวอย่างเศษหิน ออกจากหลุมเจาะ

Assessment of Drilling Mud Performance on Cutting Removal from Borehole.

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-719-51-12-64

รายงานการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำโคลนในการนำพาตัวอย่างเศษหินออกจากหลุมเจาะ

Assessment of Drilling Mud Performance on Cutting Removal from Borehole.

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

นายเชษฐา ชุมกระโทก

สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2551

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กรกฎาคม 2554

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่างๆที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและด้านดำเนินงานวิจัย ได้แก่

- รองศาสตราจารย์ ดร. กิตติเทพ เฟื่องขจร อาจารย์ที่ปรึกษาการวิจัย
- คณาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- นายไชยยศ ชุมกระโทก และนายจำนงค์ ชุมกระโทก ผู้ช่วยในการออกแบบและจัดทำแบบจำลองการทดสอบ รวมถึงให้คำปรึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นกับแบบจำลองระหว่างการทดสอบ
- นักศึกษาผู้ช่วยทำการทดสอบแบบจำลองที่จัดทำขึ้น

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีปีงบประมาณ 2551

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอบรมเลี้ยงดูและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมาในอดีต จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

นายเชษฐา ชุมกระโทก

ผู้ทำการวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำโคลนในการนำพาตัวอย่างเศษหินออกจากหลุมเจาะ

(Assessment of Drilling Mud Performance on Cutting Removal from Borehole)

ในการเจาะหลุมปิโตรเลียม การนำตัวอย่างเศษหินขึ้นจากหลุมเจาะจะมีความสำคัญมาก เนื่องจากตัวอย่างเศษหินที่ได้จากการเจาะ จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของชั้นหิน โดยทั่วไปการนำเศษหินจากการเจาะขึ้นจากก้นหลุมสู่ปากหลุม จะใช้น้ำโคลนทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่นำพาตัวอย่างขึ้นมาเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จะพุ่งเป้าการศึกษาไปที่ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการนำเศษหินขึ้นจากหลุมเจาะ และมีกระบวนการศึกษาวิจัยโดยการสร้างแบบจำลองเพื่อจำลองสภาพของหลุมสำหรับใช้ในการศึกษา จากนั้นทำการทดสอบแบบจำลองที่จัดทำขึ้น เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการนำพาตะกอน โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น ความเร็วในการหมุนของก้านเจาะ ความดันของชุดหมุนเวียนน้ำโคลน ขนาดของตะกอน รวมถึงขนาดและจำนวนของรูบนหัวเจาะ เป็นต้น ซึ่งการวิจัยชิ้นนี้จะมีขอบเขตของการศึกษาอยู่ที่ข้อจำกัดของแบบจำลองที่จัดทำขึ้น ลักษณะของตัวอย่างเศษหินที่เน้นเศษหินที่มาจากหินตะกอนเนื้อเม็ด และของเหลวตัวอย่างที่นำมาทดสอบแบบจำลองเป็นน้ำเท่านั้น เพื่อกำหนดให้ความหนืดของของเหลวไม่ส่งผลต่อปัจจัยอื่น ๆ ด้วย โดยในการทดสอบแบบจำลองจะทำการวัดเวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างเศษหินจากด้านล่างของขึ้นสู่ด้านบนของแบบจำลอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่าง ๆ

สำหรับผลจากการทดสอบแบบจำลองจะพบว่า การนำพาตัวอย่างตะกอนในการทดสอบแบบจำลองที่จัดทำขึ้น มีปัจจัยที่เข้ามาควบคุมเวลาในการเคลื่อนที่ของตัวอย่างตะกอนหลายปัจจัยด้วยกัน ได้แก่ ขนาดของตะกอนตัวอย่าง โดยขนาดของตะกอนที่มีขนาดเล็ก จะใช้เวลาในการนำพาตัวอย่างที่น้อยกว่าตะกอนที่มีขนาดใหญ่ สำหรับความดันในการทดสอบแบบจำลอง จะพบว่า เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน ในกรณีที่ใช้ความดันต่ำจะใช้เวลามากกว่า กรณีที่มีการใช้ความดันสูง โดยเวลาที่แสดงออกมาจะเห็นผลของความแตกต่างค่อนข้างชัดเจน และสำหรับขนาดของรูบนหัวเจาะจำลอง จากผลการทดสอบแบบจำลองจะเห็นว่า ถ้าขนาดของรูบนหัวเจาะมีขนาดเล็ก จะทำให้เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอนจากด้านล่างสู่ด้านบนมีค่าน้อยกว่ากรณีที่รูบนหัวเจาะมีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ในส่วนของจำนวนของรูบนหัวเจาะ จากผลการทดสอบแบบจำลองจะเห็นว่า ถ้าจำนวนของรูบนหัวเจาะมีจำนวนมาก จะทำให้เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอนจากด้านล่างสู่ด้านบนมีค่ามากกว่ากรณีที่จำนวนของรูบนหัวเจาะมีจำนวนน้อย และสำหรับความเร็วรอบในการหมุนจากการทดสอบแบบจำลอง จะไม่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน แต่สามารถเทียบเคียงข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยพิจารณาจากแนวโน้มของผลการทดสอบแบบจำลอง ซึ้งจะเห็นว่า ในกรณีที่ความเร็วรอบของการหมุนของก้านเจาะจำลองสูงขึ้น จะส่งผลให้น้ำอย่างตะกอนเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนได้เร็วขึ้นกว่ากรณีที่ความเร็วรอบของการหมุนของก้านเจาะจำลองต่ำหรือไม่มีการหมุนเลย

Assessment of Drilling Mud Performance on Cutting Removal from Borehole

For the petroleum drilling well, the process of cutting transportation from wellbore are very important because the cutting from drilling operation will be analyzed in order to get the information of rock properties. Generally the process of cutting removal from a bottom hole to surface in the drilling operation use the fluid which are drilling fluid or mud. The drilling fluid or mud will help to bring drilling cutting from borehole to surface and these cutting also help to bring the information from the formation to the surface. Therefore, the objectives of this research are the study of the factors which affect to the potential of cutting removal of drilling fluid. For the research methodology, researcher built the model of drilling well in order to test the built model by changing the drilling parameter such as the speed of drilling pipe rotation, the pumping unit pressure, the size of cutting and the bit nozzle size or the quantity of bit nozzle. Moreover, this research has the limitation that related to the characteristics of built model, the cuttings which are brought to test in the model are the clastic sediment and the testing fluid is water only because researcher needs to control the effect of fluid viscosity during the test. For the model testing, researcher will measure the time which are used to bring the cutting from the bottom of model to the top of model when the parameters in the model are change.

For the result of research when the model is tested, the factors that affect to the time of cutting transportation have several factors. The first factor is the cutting size. From the results of model testing, the time of bigger size of cutting transportation is less than the smaller size of cutting. When considering the pumping unit pressure, the time of higher pressure of pumping unit is less than the lower pressure of pumping unit. For the bit nozzle when the nozzle size of bit is smaller, the time of testing of this case is less than the case of bigger size of bit nozzle and when considering the quantity of bit nozzle, the time of cutting removal of bit which have many nozzles are more than the bit which have few nozzles. For the last parameter is the rotating speed of drill pipe. This parameter does not show the completed pattern as similar as other parameter but from the model testing can conclude the higher rotating speed of drill pipe might help to improver the potential of cutting transportation of drilling fluid.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....ข
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ฉ
สารบัญรูป.....ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....ฎ

บทที่

1. **บทนำ**.....1
   1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....1
   1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย.....2
   1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย.....2
   1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน หรือกรอบแนวความคิด.....2
   1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาวิจัย.....3
   1.6 ขั้นตอนของการศึกษาวิจัย.....4
2. **ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการเจาะปิโตรเลียม น้ำโคลนและปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**.....5
   2.1 ความรู้พื้นฐานในการเจาะหลุมปิโตรเลียม.....5
   2.2 ความรู้พื้นจานเกี่ยวกับของไหลที่ใช้ในการเจาะ.....9
   2.3 ปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....13
3. **กระบวนการวิจัย**.....15
   3.1 กระบวนการจัดทำแบบจำลองการเจาะ.....15
   3.2 ระบบการหมุนเวียนของระบบน้ำโคลน.....21
   3.3 ลักษณะการทำงานของระบบหมุนเวียนน้ำโคลน.....25
   3.4 กระบวนการจัดเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง.....27
   3.5 กระบวนการทดสอบแบบจำลอง.....30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4. ผลการทดสอบแบบจำลองหลุมเจาะ 38

5. บทสรุป 147

5.1 สรุปผลการทดสอบแบบจำลอง 147

5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะจากการวิจัย 158

บรรณานุกรม 159

ประวัตินักวิจัย 161

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3-1 ตารางแสดงจำนวนและขนาดของ nozzle บนหัวเจาะจำลองที่จัดทำขึ้น........................... 20
4-1 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 1................ 39
4-2 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 2................ 40
4-3 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 3................ 41
4-4 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 4................ 42
4-5 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 5................ 43
4-6 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 6................ 44
4-7 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 7................ 45
4-8 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 8................ 46
4-9 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 9................ 47
4-10 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 10.............. 48
4-11 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 11.............. 49
4-12 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 12.............. 50
4-13 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 13.............. 51
4-14 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 14.............. 52
4-15 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 15.............. 53
4-16 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 16.............. 54
4-17 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 17.............. 55
4-18 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 18.............. 56
4-19 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 19.............. 57
4-20 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 20.............. 58
4-21 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 21.............. 59
4-22 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 22.............. 60
4-23 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 23.............. 61
4-24 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 24.............. 62
4-25 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 25.............. 63
4-26 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 26.............. 64
4-27 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 27.............. 65

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4-28 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 28............. 66
4-29 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 29............. 67
4-30 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 30............. 68
4-31 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 31............. 69
4-32 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 32............. 70
4-33 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 33............. 71
4-34 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 34............. 72
4-35 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 35............. 73
4-36 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 36............. 74
4-37 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 37............. 75
4-38 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 38............. 76
4-39 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 39............. 77
4-40 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 40............. 78
4-41 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 41............. 79
4-42 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 42............. 80
4-43 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 43............. 81
4-44 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 44............. 82
4-45 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 45............. 83
4-46 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 46............. 84
4-47 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 47............. 85
4-48 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 48............. 86
4-49 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 49............. 87
4-50 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 50............. 88
4-51 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 51............. 89
4-52 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 52............. 90
4-53 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 53............. 91
4-54 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 54............. 92
4-55 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 55............. 93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-56 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 56.............94
4-57 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 57.............95
4-58 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 58.............96
4-59 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 59.............97
4-60 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 60.............98
4-61 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 61.............99
4-62 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 62...........100
4-63 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 63...........101
4-64 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 64...........102
4-65 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 65...........103
4-66 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 66...........104
4-67 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 67...........105
4-68 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 68...........106
4-69 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 69...........107
4-70 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 70...........108
4-71 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 71...........109
4-72 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 72...........110
4-73 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 73...........111
4-74 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 74...........112
4-75 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 75...........113
4-76 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 76...........114
4-77 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 77...........115
4-78 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 78...........116
4-79 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 79...........117
4-80 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 80...........118
4-81 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 81...........119
4-82 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 82...........120
4-83 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 83...........121

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4-84 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 84............122
4-85 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 85............123
4-86 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 86............124
4-87 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 87............125
4-88 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 88............126
4-89 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 89............127
4-90 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 90............128
4-91 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 91............129
4-92 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 92............130
4-93 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 93............131
4-94 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 94............132
4-95 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 95............133
4-96 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 96............134
4-97 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 97............135
4-98 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 98............136
4-99 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 99............137
4-100 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 100..........138
4-101 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 101..........139
4-102 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 102..........140
4-103 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 103..........141
4-104 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 104..........142
4-105 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 105..........143
4-106 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 106..........144
4-107 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 107..........145
4-108 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 108..........146
5-1 ตารางสรุปผลการทดสอบแบบจำลองในทุกรูปแบบการทดสอบ......................................148

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2-1 แสดงความสัมพันธ์ของระบบต่างๆในแท่นเจาะปิโตรเลียม 6
2-2 รูปตัวอย่างแท่นเจาะบนบกแบบมาตรฐาน (Land Rig) 8
2-3 รูปตัวอย่างแท่นเจาะในทะเล (Offshore rig) 9
2-4 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ของน้ำโคลนประเภทต่าง ๆ 10
2-5 Flowchart of Circulation System 11
2-6 ภาพแสดงลักษณะการไหลของตัวอย่างเศษหินในช่องว่างระหว่างก้านเจาะกับผนังหลุม 12
3-1 ท่ออคิลิคใส ทำหน้าที่เป็นหลุมเจาะจำลอง 16
3-2 ท่ออลูมิเนียม ทำหน้าที่เป็นก้านเจาะจำลอง 16
3-3 ชุดมอเตอร์ไฟฟ้า 17
3-4 ระบบเฟืองทดในชุดหมุนก้านเจาะ 17
3-5 ชุดอุปกรณ์ควบคุมการวัดในชุดหมุนก้านเจาะ 18
3-6 เซนเซอร์สำหรับวัดรอบการหมุนของก้านเจาะ 18
3-7 รูปแสดงตำแหน่งที่ใช้ในการติดตั้งหัวเจาะ 19
3-8 หัวเจาะจำลองที่ใช้ในการทดสอบ 20
3-9 ปั๊มสำหรับหมุนเวียนน้ำโคลนขนาด 0.5 แรงม้า 21
3-10 รายละเอียดข้อมูลการทำงานปั๊มสำหรับหมุนเวียนน้ำโคลน 22
3-11 มาตรวัดความดันบนปั๊มสำหรับหมุนเวียนน้ำโคลน 22
3-12 Pressure switch สำหรับควบคุมระดับของความดันในปั๊ม 23
3-13 ถังน้ำขนาด 150 ลิตร 24
3-14 ฐานโลหะที่ใช้ในการติดตั้งชุดอุปกรณ์หมุนเวียนน้ำโคลน 24
3-15 ช่องทางเดินน้ำเข้าสู่แบบจำลองการเจาะ 25
3-16 ช่องทางเดินน้ำออกจากหัวเจาะจำลอง 26
3-17 ช่องทางเดินน้ำออกจากแบบจำลองการเจาะ 26
3-18 ภาพแสดงตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการบดละเอียด 27
3-19 ภาพแสดงกระบวนการคัดขนาดของตะกอนโดยใช้เครื่องแยกตะแกรงร่อน 28
3-20 ภาพแสดงตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการแยกโดยถาดแยกตะกอนเบอร์ 80 29
3-21 ภาพแสดงตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการแยกโดยถาดแยกตะกอนเบอร์ 170 29
3-22 ภาพแสดงแบบจำลองที่พร้อมสำหรับการทดสอบ 31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3-23 ภาพแสดงส่วนควบคุมของแบบจำลอง 32
3-24 ภาพแสดงส่วนรับน้ำตัวแยกและแยกตะกอน 32
3-25 ภาพแสดงอุปกรณ์ปั๊มน้ำโคลนพร้อมอุปกรณ์ติดตั้งสมบูรณ์ 33
3-26 ภาพแสดงการทดสอบแบบจำลองระหว่างการทำการทดสอบ 34
3-27 ภาพแสดงการทดสอบแบบจำลองระหว่างการทำการทดสอบ 35
3-28 ภาพแสดงการทดสอบแบบจำลองระหว่างการทำการทดสอบ 35
3-29 ภาพแสดงการทดสอบแบบจำลองระหว่างการทำการทดสอบ 36
3-30 ภาพแสดงการทดสอบแบบจำลองระหว่างการทำการทดสอบ 37

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

V_{ls}	=	Maximum slip velocity of the cutting in laminar flow, ft/min
V_{ts}	=	Turbulent slip velocity of the cutting , ft/min
V_c	=	Uncorrected cutting slip velocity of in turbulent flow, ft/min
d_c	=	cutting diameter, in.
ρ_m	=	mud density, lb/gal
ρ_s	=	cutting density, lb/gal
μ	=	mud viscosity, cp
d_a	=	hydraulically equivalent diameter of annulus (hole diameter – pipe diameter), in.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

ชื่อโครงการวิจัย

(ภาษาไทย) การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำโคลนในการนำพาตัวอย่างเศษหินออกจากหลุมเจาะ

(ภาษาอังกฤษ) Assessment of Drilling Mud Performance on Cutting Removal from Borehole

คณะผู้วิจัย และสัดส่วนที่ทำงานวิจัย (%)

หัวหน้าโครงการ	(ภาษาไทย)	นายเชษฐา ชุมกระโทก	100%
	(ภาษาอังกฤษ)	Mr. Chatetha Chumkratoke	
ที่ปรึกษาโครงการ	(Mentor)	รศ.ดร. กิตติเทพ เฟื่องขจร	
		Assoc.Prof.Dr. Kittitep Fuenkajorn	

สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ (044) 2244310, 224441

โทรสาร (044) 224445

1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การสำรวจและผลิตปิโตรเลียมในประเทศถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ เพื่อลดการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศลง โดยในการเจาะหลุมสำรวจและผลิตปิโตรเลียมนั้น น้ำโคลนเป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการเจาะดังกล่าว เนื่องจากน้ำโคลนจัดเป็นองค์ประกอบหลักที่ใช้ในการควบคุมสภาวะของหลุมเจาะให้คงอยู่ในสภาพปกติ ช่วยในการลดอุณหภูมิของหัวเจาะและมีหน้าที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ นำพาเศษดินหรือเศษหินที่ได้จากการเจาะภายในหลุมเจาะขึ้นสู่พื้นผิว ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้ระหว่างกระบวนการเจาะปิโตรเลียมคือการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางประการของน้ำโคลนที่ใช้ในการเจาะ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการเจาะและการนำพาตัวอย่างเศษหินขึ้นสู่พื้นผิวลดลง ดังนั้นความเข้าใจเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการนำพาตัวอย่างเศษหินขึ้นสู่พื้นผิวที่สัมพันธ์กับคุณสมบัติของน้ำโคลนจึงเป็นสิ่งสำคัญในการศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาในส่วนของคุณสมบัติต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับน้ำโคลน ในประเด็นของการช่วยในการนำพาตัวอย่างเศษหินจากการเจาะขึ้นสู่พื้นผิว เพื่อความเข้าใจในการออกแบบส่วนประกอบของน้ำโคลน รวมถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่จะช่วยในการควบคุมให้การเจาะหลุมปิโตรเลียมโดยใช้น้ำโคลนเป็นตัวกลางในการนำพาเศษหินจากการเจาะขึ้นสู่พื้นผิวอย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญคือ ศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำโคลนที่ส่งผลกระทบต่อการนำพาเศษดิน เศษหินที่ได้จากการเจาะขึ้นสู่พื้นผิว ระหว่างกระบวนการเจาะหลุมปิโตรเลียม และเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์การสอนเชิงปฏิบัติ ส่งผลให้ช่วยเพิ่มทักษะของนักศึกษาในการพัฒนาหรือการเพิ่มประสิทธิภาพความรู้เกี่ยวกับการเจาะหลุมปิโตรเลียม

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการทดสอบคุณสมบัติการนำพาตัวอย่างของน้ำโคลนในห้องปฏิบัติการ และจะทำการทดสอบโดยใช้แบบจำลองการเจาะที่ได้จัดทำขึ้นเป็นการเฉพาะเท่านั้น รวมถึงน้ำโคลนที่นำมาใช้ในการทดสอบ จะใช้น้ำซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของน้ำโคลนที่ใช้ในการเจาะทั่วไป นอกจากนี้ส่วนที่เป็นข้อมูลหรือวัตถุดิบจะเป็นข้อมูลที่ได้จากการเจาะหลุมปิโตรเลียมในประเทศไทยเท่านั้น โดยการศึกษาวิจัยนี้มีขอบเขตคือ

1) เส้นผ่านศูนย์กลางของแบบจำลองมีขนาดไม่ต่ำกว่า 4 นิ้ว และมีความยาวไม่น้อยกว่า 10 ฟุต
2) มีการใช้แบบจำลองหัวเจาะเพื่อให้ผลการศึกษามีลักษณะเหมือนจริง
3) มีการศึกษาขนาดของตัวอย่างเศษหิน 2 ขนาด คือ
   - ขนาดใหญ่
   - ขนาดเล็ก
4) ตัวอย่างเศษหินที่นำมาศึกษา จะใช้ตัวอย่างหินที่ได้จากหินตะกอนเม็ดเป็นหลัก เช่น หินทราย หินทรายแป้ง เป็นต้น
5) การหมุนของหัวเจาะจำลองจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่สามารถผันแปรความเร็วรอบการหมุนได้
6) ของไหลที่นำมาใช้ในการทดสอบแบบจำลอง จะใช้น้ำเท่านั้น เพื่อรักษาค่าความหนืดของของไหลให้คงที่เท่ากันทุกการทดสอบ
7) แบบจำลองหลุมเจาะจะอยู่ในแนวดิ่งเท่านั้น

1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน หรือกรอบแนวความคิด (Conceptual Framework)

ในการเจาะหลุมปิโตรเลียม จะมีปัจจัยและองค์ประกอบที่ใช้ในการเจาะที่แตกต่างกันออกไป ยกตัวอย่าง เช่น การใช้น้ำโคลนที่มีคุณสมบัติต่างกัน การใช้ความเร็วในการหมุนของก้านเจาะและชนิดหัวเจาะที่ต่างกันในชั้นหินที่ต่างกัน การเจาะหลุมเอียงหรือหลุมแนวราบก็จะใช้ปัจจัยและส่วนประกอบที่ต่างไปจากการเจาะหลุมแนวดิ่งเป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปในการเจาะหลุมปิโตรเลียม จะนิยมใช้ของไหลที่เรียกว่า “น้ำโคลน” เป็นวัสดุอุปกรณ์ที่ช่วยในการควบคุมสภาวะของหลุมเจาะให้อยู่ในสภาวะปกติ รวมถึงช่วยในการนำพาเศษดิน เศษหินที่ได้จากการเจาะขึ้นสู่พื้นผิว เพื่อการศึกษาข้อมูลใต้พื้นผิวหรือการทำความสะอาดหลุมเจาะ ดังนั้นจะเห็นว่า น้ำโคลนเป็นหนึ่งในตัวแปรที่สำคัญ ที่ส่งผลกระทบต่อ

ประสิทธิภาพในการเจาะหลุมปิโตรเลียม เพื่อให้การเจาะหลุมปิโตรเลียมมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงจำเป็นที่จะต้องเข้าใจคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำโคลนที่ใช้ในการเจาะหลุมปิโตรเลียม เพื่อช่วยให้การเจาะมีประสิทธิภาพและมีการใช้ทรัพยากรสำหรับการเจาะอย่างคุ้มค่าและก่อเกิดประโยชน์สูงสุด การวิจัยนี้มีแนวคิดคือ การย่อส่วนของหลุมเจาะในภาคสนามและจำลององค์ประกอบต่าง ๆ ของการเจาะ อาทิเช่น ขนาดของก้านเจาะ หัวเจาะ อัตราการหมุน เป็นต้น ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้สร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลกับประสิทธิภาพการนำพาตัวอย่างเศษหินได้ และความสัมพันธ์นี้จะสามารถนำไปใช้อ้างอิงได้จริงในกระบวนการเจาะภาคสนาม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สำหรับประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากผลการวิจัย มีดังนี้

1. เป็นองค์ความรู้ที่นักศึกษาคณาจารย์ในมหาวิทยาลัยและวิศวกรจากภาครัฐและเอกชนจะต่อยอดงานวิจัยต่อไป
2. เป็นอุปกรณ์สาธิตเชิงปฏิบัติการเกี่ยวกับการเจาะหลุมปิโตรเลียม (Drilling Engineering) ในสาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี
3. เผยแพร่เป็นบริการความรู้ต่อวงการศึกษาและประชาชนทั่วไป
4. บริการความรู้เกี่ยวกับการเจาะหลุมปิโตรเลียมต่อองค์กรภาครัฐและภาคเอกชน ที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจและผลิตปิโตรเลียม

หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2. กรมการพลังงานทหาร
3. กรมทรัพยากรน้ำ
4. กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ
5. บริษัทเอกชนที่ประกอบกิจการด้านการเจาะสำรวจทรัพยากรน้ำและพลังงาน

1.6 ขั้นตอนดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลการเจาะหลุมปิโตรเลียม

ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลการเจาะหลุมปิโตรเลียมโดยใช้ในน้ำโคลนที่เคยมีมาในประเทศไทยจากรายงานการเจาะ เอกสารและงานวิจัยอ้างอิงจากแหล่งต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการออกแบบคุณของน้ำโคลนและการทดสอบแบบจำลองที่จะจัดทำขึ้น

ขั้นตอนที่ 2 พัฒนาแบบจำลองการเจาะขนาดเล็ก

ทำการพัฒนาและประดิษฐ์แบบจำลองการเจาะขนาดเล็ก เพื่อใช้ในการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ โดยทำการจำลองสภาวะการเจาะโดยใช้ระบบการเจาะแบบหมุนเวียนน้ำโคลน (Rotary Drilling Method)

ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบแบบจำลองการเจาะ

ทำการทดสอบแบบจำลองการเจาะที่จัดทำขึ้นในห้องปฏิบัติการโดยการแปรผันปัจจัยและองค์ประกอบในการเจาะ อาทิเช่น อัตราการหมุนของการเจาะ เปลี่ยนแปลงขนาดของตัวอย่างเศษหิน คุณสมบัติของน้ำโคลนและองค์ประกอบหรือปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการเจาะ เพื่อศึกษาถึงผลที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

ทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 6 และเสนอแนะปัจจัยรวมถึงองค์ประกอบที่เหมาะสมที่สุดที่ส่งผลกับคุณสมบัติในการนำพาเศษหินจากการเจาะของน้ำโคลนในการเจาะหลุม

ขั้นตอนที่ 5 ประเมินผล สรุป และเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

ทำการประเมินผลที่ได้จากการทดสอบ และสรุปความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการนำพาตัวอย่างเศษหินออกจากหลุมเจาะในรายงานฉบับสมบูรณ์ เพื่อที่จะส่งมอบเมื่อเสร็จโครงการ

สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี อาคารศูนย์เครื่องมือ 4, 6 และ 7 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สถานที่เก็บข้อมูล

หน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนที่มีกิจการที่เกี่ยวข้องกับการเจาะสำรวจ

บทที่ 2
ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการเจาะปิโตรเลียม น้ำโคลน และปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

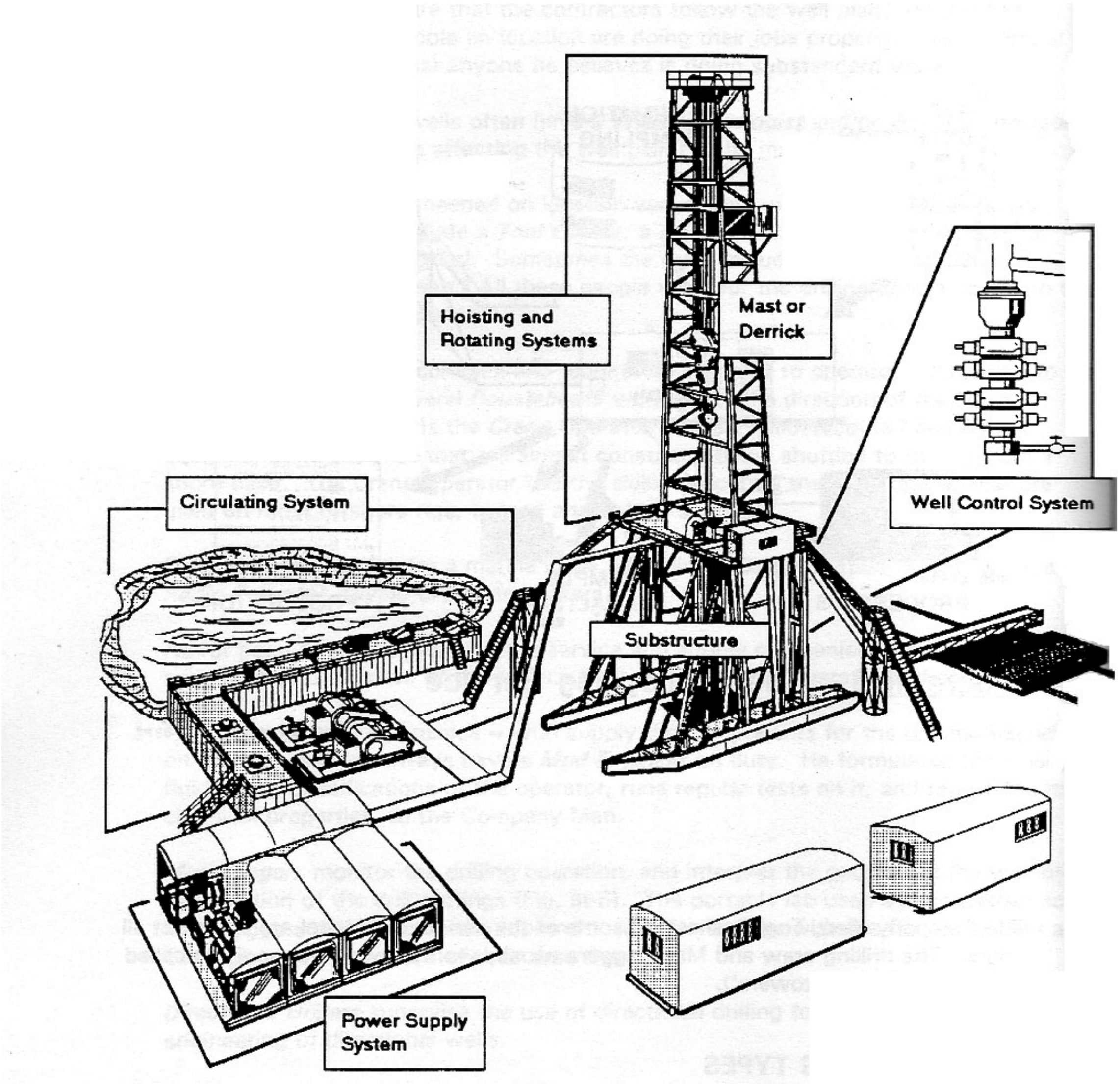
2.1 ความรู้พื้นฐานในการเจาะหลุมปิโตรเลียม

ในการเจาะหลุมปิโตรเลียมใด ๆ วิศวกรการเจาะต้องจัดทำแผน และขั้นตอนการเจาะ โดยรับข้อมูลทางธรณีวิทยา และธรณีฟิสิกส์ จากนักธรณีวิทยา และ/หรือนักธรณีฟิสิกส์ที่ได้ศึกษาข้อมูลการสำรวจ นำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบ และวางแผนการเจาะ เพื่อให้สามารถทำการเจาะได้รวดเร็ว ปลอดภัย และประหยัดค่าใช่จ่ายมากที่สุด

ในการเจาะหลุมปิโตรเลียมนั้นปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามามีบทบาทในการทำงานมากยิ่งขั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิรูปในการเจาะหลุมปิโตรเลียมให้ดียิ่งขึ้น โดยระบบการเจาะหลุมปิโตรเลียมที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน เป็นระบบการเจาะที่เรียกว่า Rotary Drilling Method ซึ่งเป็นวิธีการเจาะโดยการใช้อุปกรณ์การเจาะพื้นฐานที่มีลักษณะการทำงานโดยการหมุนหัวเจาะเพื่อเจาะลงไปสู่ชั้นหินที่ต้องการด้วยการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ อาทิเช่น ก้านเจาะ หัวเจาะ ของไหลที่ใช้ในการเจาะ เป็นต้น โดยอุปกรณ์แต่ละประเภทที่นำมาใช้จะมีหน้าที่ที่แตกต่างกันไปตามจุดประสงค์ สำหรับวิธีการเจาะแบบ Rotary Drilling Method จะมีระบบย่อยในการทำงานทั้งหมด 5 ระบบ ได้แก่

- ระบบพลังงาน(Power system)
- ระบบห้อยหรือระบบรอก(Hoisting system)
- ระบบหมุนหัวเจาะ(Rotating system)
- ระบบหมุนเวียนของไหลในการเจาะ(Circulation system)
- ระบบควบคุมหลุมเจาะ(Well control System)

ซึ่งในแท่นเจาะทุกประเภทจะต้องประกอบด้วยระบบต่างๆที่กล่าวมา เพื่อทำให้การเจาะหลุมปิโตรเลียมมีความสมบูรณ์ รวดเร็วและปลอดภัยในการทำงาน



รูปที่ 2-1 แสดงความสัมพันธ์ของระบบต่าง ๆ ในแท่นเจาะปิโตรเลียม (จาก Mudlogger Training Book, Geoservices Company)

สำหรับขั้นตอนการเจาะหลุมปิโตรเลียมบนบกและในทะเลจะมีข้อแตกต่างกันเล็กน้อยในตอนเริ่มต้น โดยบนบกจะเริ่มด้วยการปรับสภาพพื้นดิน ให้ราบเรียบได้ระดับ อัดบดผิวดินให้แน่น บริเวณที่ตั้งแท่นเจาะจะสร้างฐานคอนกรีตทับให้แข็งแรง สามารถรับน้ำหนักแท่นเจาะได้ ขณะเดียวกันจะฝังท่อกรุที่เรียกว่าท่อกันดิน (Conductor pipe) ขนาด 30 นิ้ว ความยาวประมาณ 20-30 เมตร เพื่อเป็นท่อนำร่องสำหรับการเจาะ ป้องกันการพังถล่มของชั้นผิวดิน และอาจจะอัดซีเมนต์ให้ยึดระหว่างท่อกับผนังหลุม นอกจากท่อกรุแบบ Conductor pipe แล้ว ยังมีท่อกรุแบบอื่น ได้แก่ ท่อกรุพื้นผิว (Surface Casing) ซึ่งจะติดตั้งต่อจาก Conductor pipe ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้หลุมพัง ท่อกรุชั้นกลาง (Intermediate Casing) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำโคลนสูญหายเข้าไปตามชั้นหินหรือรอยแตกของชั้น

หิน ท่อผลิต (Production Tubing or Liner) เป็นท่อนำปิโตรเลียมขึ้นมายังพื้นผิวเพื่อเข้าสู่ขบวนการผลิต

สำหรับการเจาะในทะเล กรณีเป็นหลุมสำรวจ สิ่งแรกที่ต้องทำคือ สำรวจสภาพพื้นทะเล เพื่อให้แน่ใจว่ามีสภาพแน่น แข็งแรง และไม่มีสิ่งกีดขวางใด เช่น สายเคเบิล หรือท่อส่งก๊าซใต้ทะเล ในบริเวณที่จะทำการเจาะหรือบริเวณที่จะลงสมอ การเจาะเริ่มด้วย การเจาะเปิดหลุม (Spud) มักใช้หัวเจาะแบบพิเศษที่เรียกว่า Hole Opener ระหว่างการเจาะจะปั๊มน้ำโคลนลงไปตามก้านเจาะสู่หัวเจาะตลอดเวลา หน้าที่หลักของน้ำโคลน ได้แก่ ช่วยนำพาเศษดิน หินขึ้นมาจากก้นหลุม หล่อลื่นและลดความร้อนที่หัวเจาะและภายในหลุมเจาะ เคลือบผนังหลุมและป้องกันมิให้ของไหล (น้ำหรือปิโตรเลียม) จากชั้นหินทะลักเข้าสู่หลุมอันอาจทำให้หลุมพัง มีปัญหาก้านเจาะติด ไม่สามารถควบคุมความสมดุลของความดันในหลุมและอาจเกิดการระเบิดได้ เมื่อเจาะถึงความลึกที่กำหนดไว้ ก็จะทำการไหลเวียนน้ำโคลนเพื่อทำความสะอาดหลุม จากนั้นจึงลงท่อกรุ (Casing) แล้วอัดซีเมนต์ยึดระหว่างท่อกับผนังหลุม ขณะรอให้ซีเมนต์แข็งตัว จะเปลี่ยนหัวเจาะให้มีขนาดเล็กลงเพื่อเตรียมการเจาะในช่วงต่อไป หัวเจาะและท่อกรุที่ใช้จะมีขนาดลดหลั่นกันลงมา โดยมีขนาดเล็กลงตามความลึก อนึ่งก่อนทำการเจาะต่อไป หลังจากลงท่อกรุแล้ว จะต้องทำการทดสอบความแข็งแรงของชั้นหิน (Formation Integrity Test : FIT) โดยเจาะผ่านชั้นซีเมนต์ที่เหลืออยู่ลงไปจนถึงชั้นหินและเจาะไปประมาณ 5 เมตร หยุดเจาะ แล้วปั๊มน้ำโคลนลงไปตามก้านเจาะจนถึงก้นหลุม จากนั้นเพิ่มความดันในหลุมเจาะ เพื่อตรวจสอบว่าที่ความดันระดับ ทำให้ชั้นหินเริ่มมีการแตก หรือเกิดรอยร้าว โดยสังเกตุจากน้ำโคลนที่ปั๊มลงไป เริ่มมีการสูญหาย (Loss Circulation) เพราะการไหลซึมเข้าไปในชั้นหินที่มีรอยแตก นำข้อมูลที่ได้คำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าน้ำหนักของน้ำโคลน (ปอนด์/แกลลอน) ค่าสูงสุดที่สามารถใช้ในการเจาะช่วงต่อไป โดยไม่ทำให้ชั้นหินเกิดรอยแตก การทดสอบนี้มีประโยชน์มากในการควบคุมหลุมเจาะให้อยู่ในสภาพสมดุล จากนั้นการเจาะก็จะดำเนินต่อไปจนถึงความลึกสุดท้าย (Total Depth :TD) ตามแผน

ขั้นสุดท้ายของการเจาะหลุมก็คือ การเตรียมหลุมเพื่อการผลิต (Well Completion) ในกรณีที่เจาะหลุมผลิต หรือการสละหลุม (Plug & Abandon) ในกรณีที่เป็นหลุมสำรวจ หลุมแห้ง หรือหลุมเจาะที่ไม่ใช้ประโยชน์แล้ว การเตรียมหลุมเพื่อการผลิต (Well Completion) เป็นขั้นตอนต่อจากการหยั่งธรณีหลุมเจาะที่ทำเพื่อจัดเก็บข้อมูลชั้นหินที่เจาะผ่านในหลุมเจาะ โดยกระบวนการเตรียมหลุมเพื่อการผลิตจะเริ่มโดยการติดตั้ง Casing Hanger ลงในหลุมและยึดติดแน่นกับท่อกรุชั้นกลาง (Intermediate Casing) ที่ใกล้กับปลายท่อกรุ เพื่อทำหน้าที่ยึดแขวนท่อผลิต (Production Tubing) ที่จะลงต่อไป หลังจากลงท่อผลิตไปจนถึงชั้นความลึกที่ต้องการแล้ว ก็อัดซีเมนต์ลงไปตามท่อผลิตและให้ผ่านกลับขึ้นมาในช่องว่างระหว่างท่อผลิตกับผนังหลุม เพื่อแยกชั้นหินที่จะผลิตปิโตรเลียมออกจากชั้นหินอื่น ป้องกันมิให้ของไหลจากชั้นหินอื่นไหลเข้ามาปะปนและป้องกันมิให้ปิโตรเลียมจากชั้นที่ต้องการผลิตไหลไปสู่ชั้นหินที่อยู่เหนือหรือใต้ลงไป จากนั้นจึงทำการเปิดชั้นน้ำมันโดยหย่อนปืนยิงปรุผนังหลุมลงไปในท่อผลิตจนถึงช่วงที่จะทำการผลิต ตัวปืนซึ่งมีวัตถุระเบิดและกระสุนเหล็กกล้าบรรจุอยู่จะถูก

บังคับให้ทำงานด้วยไฟฟ้า โดยยิงกระสุนเหล็กออกไปโดยรอบทะลุผ่านท่อผลิต ซีเมนต์ และผนังหลุม ทำให้ปิโตรเลียมไหลเข้าสู่ท่อผลิต จากนั้นจึงติดตั้งวาล์วนิรภัยในท่อกรุชั้นกลาง และชุดของวาล์วที่เรียกว่า Christmas Tree ที่ปากหลุม ตรวจ ทดสอบและปรับการทำงานของวาล์ว ก่อนที่จะเปิดวาล์วให้ปิโตรเลียมไหลเข้าสู่ระบบการผลิตต่อไป การสละหลุมถาวร (Plug & Abandonment) ส่วนใหญ่มักกระทำในหลุมสำรวจ แต่บ้างครั้งผลการเจาะหลุมเพื่อผลิตก็อาจเป็นหลุมแห้งได้ หรือหลุมที่ไม่ใช้ประโยชน์แล้ว จะต้องอุดหลุมด้วยซีเมนต์ป้องกันมิให้ของไหลที่มีอยู่ในชั้นหินไหลไปสู่ชั้นหินอื่นที่อาจทำลายชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียมที่อยู่ใกล้เคียง หรือไหลเข้าไปปนเปื้อนชั้นน้ำใต้ดิน

รูปที่ 2-2 รูปตัวอย่างแท่นเจาะบนบกแบบมาตรฐาน (Land Rig)

รูปที่ 2-3 รูปตัวอย่างแท่นเจาะในทะเล (Offshore rig)

2.2 ความรู้พื้นจานเกี่ยวกับของไหลที่ใช้ในการเจาะ

สำหรับหนึ่งในระบบที่มีความสำคัญมากระบบหนึ่งในการเจาะแบบ rotary drilling method ได้แก่ ระบบหมุนเวียนน้ำโคลน (circulating system) ซึ่งเป็นระบบที่ช่วยในการควบคุมความดันในหลุมเจาะและช่วยในนำพาตัวอย่างเศษหินที่ได้จากการเจาะ หรือที่เรียกว่า Cutting ขึ้นสู่พื้นผิว โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญในการทำงาน ได้แก่ ของไหลที่นำมาใช้ในการเจาะ หรือที่รู้จักกันดีในชื่อ น้ำโคลน (Mud)

สำหรับของไหลที่นำมาใช้ในการเจาะหรือน้ำโคลน จะเป็นส่วนผสมกันระหว่างสารประกอบที่เป็นของเหลว เช่น น้ำ หรือน้ำมัน หรือบางกรณีอาจใช้อากาศหรือก๊าซชนิดต่าง ๆ แทนน้ำหรือน้ำมันได้ผสมกับสารเคมีอื่น ๆ เช่น เกลือ แร่ดินชนิด Bentonite รวมถึงสารประกอบที่เป็นของแข็ง เช่น แร่ชนิดต่าง ๆ วัสดุธรรมชาติ (ไม้ ฟางข้าว) เพื่อให้น้ำโคลนมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ สาเหตุที่เรียกของไหลที่ใช้ในการเจาะว่า น้ำโคลน เพราะลักษณะของของไหลที่เกิดขึ้นหลังจากทำการผสม จะมีลักษณะคล้ายกับน้ำที่เกิดจากการผสมกับดินกลายเป็นน้ำโคลน

หน้าที่ที่สำคัญของน้ำโคลนในกระบวนการเจาะปิโตรเลียม มีดังนี้

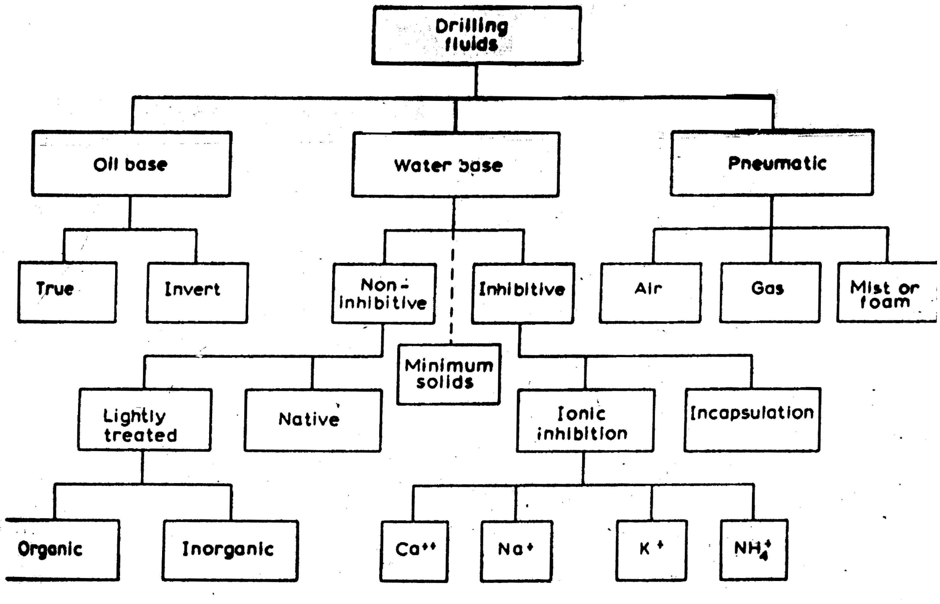
- นำพาตัวอย่างเศษหินที่ได้จากการเจาะขึ้นสู่พื้นผิว
- ทำความสะอาดหลุมเจาะ เพื่อป้องกันปัญหาจากการติดของก้านเจาะ

- ช่วยหล่อลื่นหัวเจาะ รวมถึงช่วยลดอุณหภูมิระหว่างการทำการเจาะ ทำให้สามารถยืดอายุของหัวเจาะให้ยาวนานขึ้น
- เป็นปัจจัยหลักที่ใช้ในการควบคุมความดันในหลุมเจาะระหว่างการเจาะ
- ช่วยป้องกันการพังทลายของผนังหลุม โดยการเคลือบผนังหลุมด้วยแผ่นฟิล์มบางที่เรียกว่า Mud cake ซึ่งเกิดจากสารเคมีที่ผสมอยู่ในน้ำโคลน
- เป็นสื่อกลางที่ช่วยให้สามารถเก็บข้อมูลของชั้นหินระหว่างการเจาะ หรือหลังจากการเจาะได้

สำหรับประเภทของน้ำโคลนที่ใช้ในการเจาะสามารถแบ่งได้ตามลักษณะของของไหลที่เป็นพื้นฐานในการผสมน้ำโคลน ดังนี้

1. น้ำโคลนที่มีพื้นฐานเป็นน้ำ (Water based mud - WBM)
2. น้ำโคลนที่มีพื้นฐานเป็นน้ำมัน (Oil based mud - OBM)
3. น้ำโคลนที่มีพื้นฐานเป็นสารอื่น เช่น อากาศ ก๊าซ โฟม (Aerated based mud)

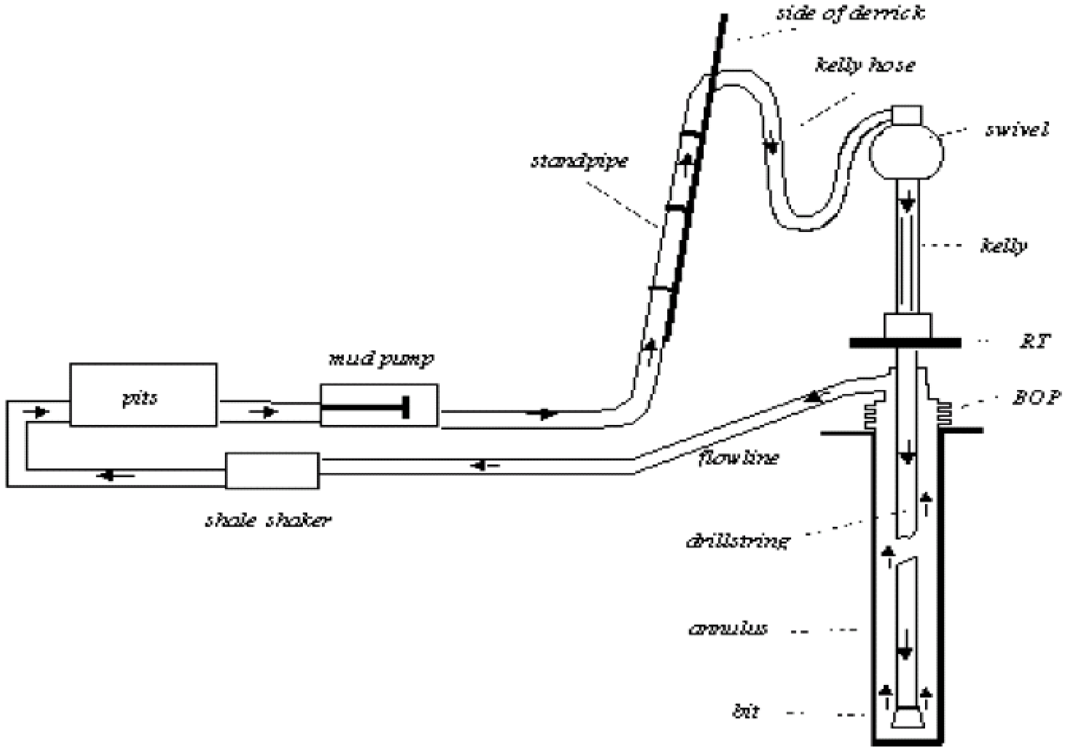
โดยน้ำโคลนแต่ละรูปแบบ จะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน อาทิเช่น WBM จะมีราคาที่ถูกกว่าน้ำโคลนชนิดอื่น ๆ แต่มีความเร็วในการเจาะที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับน้ำโคลนชนิดอื่น หรือ OBM จะสามารถนำไปใช้เจาะในบริเวณที่ชั้นมีอุณหภูมิสูงหรือในระดับลึกได้ แต่ OBM จะมีราคาที่สูงกว่า WBM และมีผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่สูงกว่า WBM ด้วยเช่นกัน เป็นต้น



รูปที่ 2-4 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ของน้ำโคลนประเภทต่างๆ (Drilling Engineering Textbook)

สำหรับคุณสมบัติที่สำคัญที่สำคัญของน้ำโคลน ได้แก่ ความหนาแน่น (Mud density) ความหนืด (Viscosity) ความแข็งแรงของสภาวะที่เป็นเจลของน้ำโคลน (Gel Strength) ความสามารถในการซึมสู่ชั้นหินของน้ำโคลน (Mud filtration) ความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลน (Mud pH) และความเค็มของน้ำโคลน (Mud salinity) โดยคุณสมบัติแต่ละประเภทของน้ำโคลนจะส่งผลต่อลักษณะการทำงานของน้ำโคลน

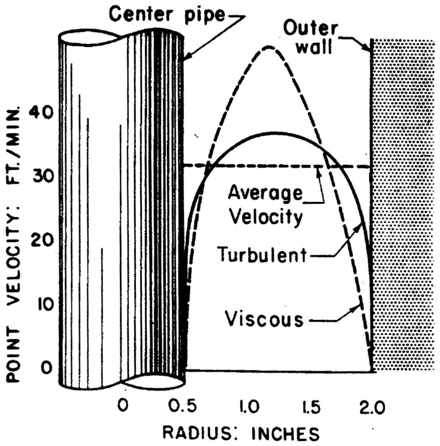
และสำหรับลักษณะการหมุนเวียนของน้ำโคลนในหลุมเจาะ จะมีลักษณะการหมุนเวียนดังนี้ คือ น้ำโคลนจะเริ่มเคลื่อนที่บริเวณของเครื่องปั๊ม เข้าสู่หลุมเจาะโดยผ่านด้านในของก้านเจาะ ออกสู่หัวเจาะบริเวณรูที่อยู่ที่หัวเจาะ หรือที่เรียกว่า Nozzle จากนั้นน้ำโคลนที่เคลื่อนที่ออกจาก Nozzle จะเคลื่อนขึ้นสู่พื้นผิวผ่านบริเวณช่องว่างระหว่างก้านเจาะกับผนังหลุม (Annulus) โดยระหว่างการเคลื่อนที่จะนำพาเศษหินจากการหลุมขึ้นสู่พื้นผิวด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2-5



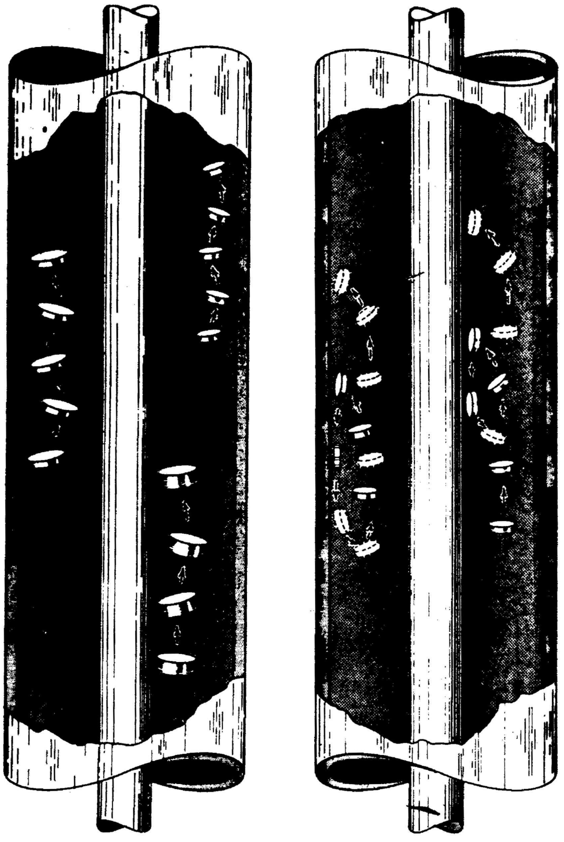
รูปที่ 2-5 Flowchart of Circulation System (จาก Basic mud logger, International logging company)

สำหรับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเคลื่อนที่ของตัวอย่างเศษหินจากก้นหลุมขึ้นสู่บริเวณพื้นผิว จะมีปัจจัยที่ควบคุมอยู่หลายปัจจัย ได้แก่ ความหนืดและความสามารถในการจับตัวเป็นเจลของน้ำโคลน (Mud viscosity and gel strength) รวมถึงความเร็วในการเคลื่อนที่ของน้ำโคลนบริเวณช่องว่าง

ระหว่างก้านเจาะกับผนังของหลุมเจาะ (Annulus) และในลักษณะการเคลื่อนที่ของตัวอย่างเศษหินจะมีความสัมพันธ์ของความเร็วในการเคลื่อนที่ ดังแสดงในสมการที่ 2-1 ถึงสมการที่ 2-4 และรูปที่ 2-6



Comparison of viscous and turbulent velocity distributions in annulus. After Williams and Bruce,[17] courtesy AIME.



Flattish cutting rise behavior in turbulent and laminar flow. After Williams and Bruce,[17] courtesy AIME

รูปที่ 2-6 ภาพแสดงลักษณะการไหลของตัวอย่างเศษหินในช่องว่างระหว่างก้านเจาะกับผนังหลุม (Drilling Engineering Textbook)

โดยสำหรับสมการที่ 2-1 และสมการที่ 2-2 จะเป็นสมการที่ใช้ในการอธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ของตัวอย่างเศษหินในน้ำโคลนที่มีการเคลื่อนที่แบบราบเรียบ (Laminar flow) ของตะกอนที่มีลักษณะเม็ดกลม (Spherical particle) และตะกอนที่มีลักษณะเม็ดแบนตามลำดับ (Flat particle) ส่วนสมการที่ 2-3 และสมการที่ 2-4 จะเป็นสมการที่ใช้ในการอธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ของตัวอย่างเศษหินในน้ำโคลนที่มีการเคลื่อนที่แบบปั่นป่วน (Turbulent flow) ของตะกอนที่มีลักษณะเม็ดกลม (Spherical particle) และตะกอนที่มีลักษณะเม็ดแบนตามลำดับ (Flat particle) โดยนำค่าที่จากการคำนวณในสมการที่ 2-3 และสมการที่ 2-4 มาใช้ในการคำนวณต่อไปในสมการที่ 2-5 โดยมีรูปแบบของสมการดังนี้

สมการ 2-1 $$V_{ls} = \frac{148 d_c^2 (\rho_s - \rho_m)}{\mu}$$ Spherical particle

สมการ 2-2 $$V_{ls} = \frac{57.5 d_c^2 (\rho_s - \rho_m)}{\mu}$$ Flat particle

สมการ 2-3 $$V_c = 170\sqrt{\frac{d_c(\rho_s - \rho_m)}{\rho_m}}$$ Spherical particle

สมการ 2-4 $$V_c = 133\sqrt{\frac{t_c}{d_c}}\sqrt{\frac{d_c(\rho_s - \rho_m)}{\rho_m}}$$ Flat particle

สมการ 2-5 $$V_{ts\backslash} = \frac{v_c}{1 + d_c / d_a}$$

นิยามของตัวแปรต่าง มีรายละเอียดดังนี้

V_{ls} = Maximum slip velocity of the cutting in laminar flow, ft/min

V_{ts} = Turbulent slip velocity of the cutting , ft/min

V_c = Uncorrected cutting slip velocity of in turbulent flow, ft/min

d_c = cutting diameter, in.

ρ_m, ρ_s = mud and cutting density, lb/gal

μ = mud viscosity, cp

d_a = hydraulically equivalent diameter of annulus (hole diameter – pipe diameter), in.

2.3 ปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kelessidis et. al.(2005) ได้ทำการศึกษาถึงตัวแปรด้านการเปลี่ยนแปลงของความดัน (pressure drop) ลักษณะความเร็วของของไหล (velocity profiles) และอัตราการเจาะที่เกิดขึ้นระหว่างการเจาะ ที่ส่งผลต่อการไหลของน้ำโคลนในแบบจำลองการไหลของ Herscel-Bulkey ซึ่งจากผลการวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ตัวแปรที่ส่งผลต่อการไหลของน้ำโคลนในแบบจำลองการไหลของ Herscel-Bulkey ได้แก่ ความแตกต่างของความดันระหว่างการไหล (pressure drop) ความหนืดของของไหลที่ใช้ในการเจาะและอัตราการเจาะที่เกิดขึ้นระหว่างการเจาะ แต่สำหรับความเร็วของการไหลของน้ำโคลนที่ไหลในก้านเจาะและในหลุมเจาะระหว่างก้านเจาะ จะส่งผลกระทบต่อลักษณะการไหลในแบบจำลองการไหลของ Herscel-Bulkey เล็กน้อย

P.G. Talalay (2004) ได้ทำการศึกษาวิจัยถึงการนำพาตัวอย่างเศษหินในกรณีที่ทำการเจาะในพื้นที่ที่มีน้ำแข็งมาเกี่ยวข้องในการเจาะ โดยจากผลการศึกษาวิจัยของ Talalay ทำให้ทราบว่าการเจาะในพื้นที่ดังกล่าวอาจเกิดปัญหาในระบบหมุนเวียนน้ำโคลนเนื่องจากการจับตัวกันของน้ำแข็งระหว่างการ

เจาะ โดยหนึ่งในหลายตัวแปรที่มีความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการนำพาตัวอย่างเศษหินออกจากหลุม ได้แก่ ลักษณะของปั๊มที่ใช้ในระบบการหมุนเวียนน้ำโคลนซึ่งตัวแปรที่สำคัญคือ อัตราการไหลและความดันที่ออกจากปั๊มดังกล่าว จากผลการวิจัยนี้สามารถคาดการณ์อัตราการไหลของของไหลที่ต้องใช้ระหว่างการเจาะและรวมถึงความต้านทานของการไหลที่เกิดขึ้นระหว่างการเจาะในพื้นที่ที่น้ำแข็งมาเกี่ยวข้องในการเจาะ

Vikas Mahta and V.P. Sharma (2003) ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำโคลนของน้ำโคลนที่จัดอยู่ในประเภทใช้พื้นฐานของเหลวที่เป็นน้ำ (water based mud) โดยในการศึกษาวิจัยจะมีการนำสารประกอบประเภทสารอินทรีย์โพลีเมอร์เข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำโคลนในการเจาะ เช่น ควบคุมอัตราการสูญเสียน้ำโคลนผ่านชั้นหินระหว่างการเจาะ (Filtrate loss) ซึ่งจะส่งผลต่อการป้องกันปัญหาที่เกิดจากการเสียสมดุลของหลุมระหว่างการเจาะ หรือช่วยป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับกระบวนการเก็บตัวอย่างแท่งหินประเภทหินทรายที่ได้จากการเจาะ

E. Santoyo et.al. (1998) ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการวัดคุณสมบัติของน้ำโคลนที่ใช้ในการเจาะหลุมที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นการวิจัยเพื่อรวบรวมและจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหลุมเจาะ จากผลการวิจัยโดยใช้น้ำโคลนที่สามารถใช้งานได้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง (HTDFS = High Temperature Drilling Fluid System) มาทำการทดสอบโดยทำการวัดความหนืดของน้ำโคลนด้วยเครื่องมือสำหรับวัดความหนืดของของเหลวคือ Coaxial Cylinder-type Viscometer (Fann 50C) และอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลนอยู่ระหว่าง 25-180°C (ความดันคงที่ที่ 3448.2 kPa และอัตราแรงเฉือนคงที่ที่ 170 s^{-1}) จากผลการทดสอบพบว่า ค่าความหนืดของตัวอย่างน้ำโคลนที่ทำการทดสอบจะเป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิ

P.H. Atomren et.al. (1983) ได้ทำการศึกษาการนำพาตัวอย่างเศษหินในหลุมเจาะแบบควบคุมทิศทาง (Directional well) โดยทำการทดสอบโดยใช้การทดสอบในหลุมเจาะจำลองที่มีขนาดของก้านเจาะยาว 40 ฟุต และมีการนำตัวอย่างน้ำโคลนมาทำการทดสอบในหลายรูปแบบ รวมถึงได้นำตัวอย่างเศษหินที่ได้จากการเจาะภาคสนามมาใช้ทำการทดสอบในแบบจำลองดังกล่าว ผลการวิจัยของ P.H. Atomren et.al. ได้แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบที่ส่งผลต่อการนำพาตัวอย่างเศษหิน ได้แก่ ความเร็วของน้ำโคลนที่ใช้ในการเจาะ มุมเอียงของหลุมเจาะและคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำโคลน โดยสำหรับหลุมเจาะแบบควบคุมทิศทาง ถ้าความเร็วของน้ำโคลนในช่องว่างระหว่างก้านเจาะกับผนังหลุม (Annulus) มีความเร็วสูง จะช่วยในการนำพาตัวอย่างเศษหินได้ดีกว่าหลุมที่เจาะในแนวดิ่ง ในสภาวะที่มีความเร็วของน้ำโคลนเท่ากัน ในกรณีของมุมเอียงของหลุมที่เจาะโดยการควบคุมทิศทาง ถ้าหลุมมีมุมเอียงจากแนวดิ่งมากขึ้น จะส่งผลให้ความสามารถในการนำพาตัวอย่างเศษหินมีประสิทธิภาพลดลง และน้ำโคลนที่มีความหนืดสูง จะส่งผลให้ความสามารถในการนำพาตัวอย่างเศษหินมีประสิทธิภาพสูงกว่าน้ำโคลนที่มีความหนืดต่ำ

บทที่ 3

กระบวนการวิจัย

สำหรับกระบวนการวิจัยในงานชิ้นนี้ เป็นวิธีการที่จัดทำขึ้นเพื่อหาความสัมพันธ์ในการเคลื่อนที่ของตัวอย่างเศษหินขึ้นสู่พื้นผิวในสภาวะต่าง ๆ รวมถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำพาตัวอย่าง โดยจะพิจารณาถึงปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ในการเจาะ อาทิเช่น ขนาดและจำนวนของรูหรือช่องบนหัวเจาะ (Bit nozzle) ความดันของอุปกรณ์ปั๊มน้ำโคลน (Pumping unit) หรือจำนวนรอบการหมุนของการเจาะ เป็นต้น และนอกจากที่กล่าวมา ผู้วิจัยได้กำหนดเงื่อนไขบางประการขึ้น เพื่อให้ผลที่ได้จากการทดลองไม่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าความหนืดของของเหลวที่ใช้ในการทดลองด้วยการใช้ตัวอย่างในการทดลองเป็นน้ำ โดยกระบวนการวิจัยในงานชิ้นนี้จะประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 3 ส่วนได้แก่

1. กระบวนการจัดทำแบบจำลองการเจาะ
2. กระบวนการจัดเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง
3. กระบวนการทดสอบแบบจำลอง

3.1 กระบวนการจัดทำแบบจำลองการเจาะ

สำหรับกระบวนการจัดทำแบบจำลองการเจาะจะแบ่งรายละเอียดได้เป็น 2 ส่วนตามส่วนประกอบที่สำคัญของแบบจำลองที่ออกแบบขึ้น ได้แก่ ส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องกับการหมุนของก้านเจาะและส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องกับการหมุนเวียนของระบบน้ำโคลน โดยแต่ส่วนประกอบมีรายละเอียดดังนี้

ระบบควบคุมการหมุนของก้านเจาะและหลุมเจาะจำลอง

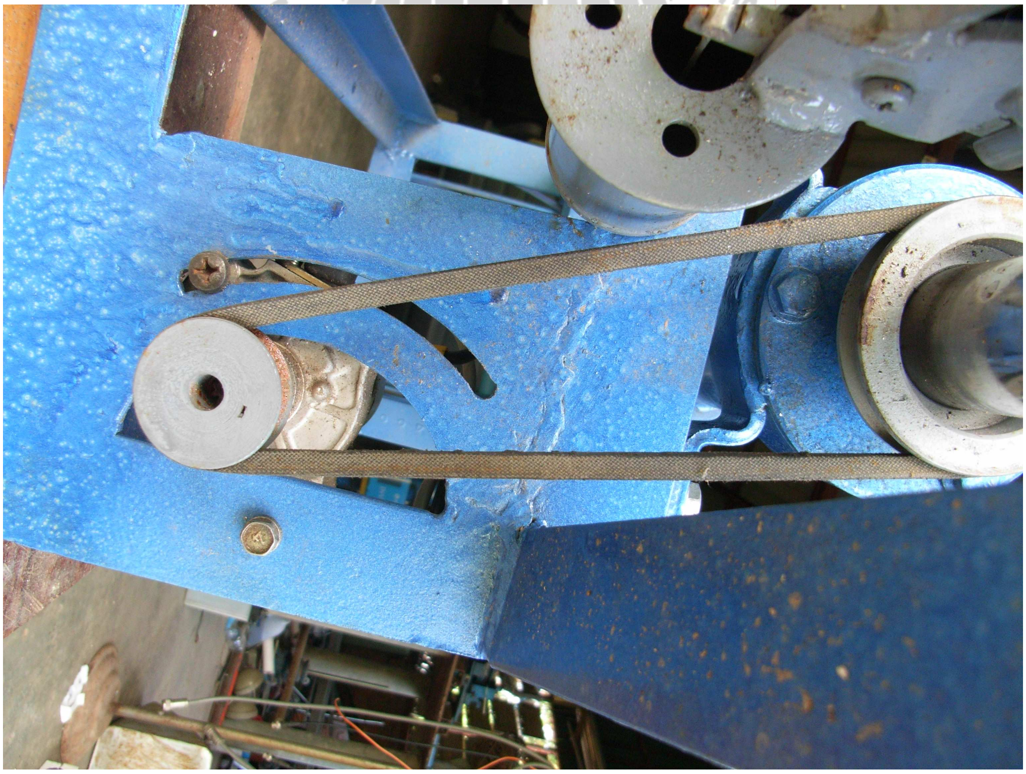
สำหรับระบบควบคุมการหมุนของก้านเจาะและหลุมเจาะจำลอง จะเป็นอุปกรณ์ที่จัดทำขึ้นเพื่อจำลองการหมุนของก้านเจาะ และแสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของตัวอย่างเศษหินในช่องว่างระหว่างก้านเจาะกับหลุมเจาะระหว่างทำการทดลอง โดยอุปกรณ์ในเครื่องมือชุดนี้จะประกอบด้วย

1. ท่ออคิลิคใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6 นิ้ว ยาวประมาณ 4 เมตร ทำหน้าที่เป็นหลุมเจาะจำลอง แสดงในรูปที่ 3-1
2. ท่ออลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 นิ้ว ยาวประมาณ 4 เมตร ทำหน้าที่เป็นก้านเจาะจำลอง แสดงในรูปที่ 3-2
3. ชุดมอเตอร์ เพื่อใช้ในการหมุนการเจาะจำลองโดยมีการติดตั้งระบบเฟืองทด เพื่อช่วยในการขับเคลื่อนของมอเตอร์และพร้อมทั้งติดตั้งระบบสำหรับควบคุมรอบการหมุนและวัดรอบการหมุนด้วยดังแสดงในรูปที่ 3-3 ถึงรูปที่ 3-6

รูปที่ 3-1 ท่ออคิลิคใส ทำหน้าที่เป็นหลุมเจาะจำลอง

รูปที่ 3-2 ท่ออลูมิเนียม ทำหน้าที่เป็นก้านเจาะจำลอง

รูปที่ 3-3 ชุดมอเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 3-4 ระบบเฟืองทดในชุดหมุนก้านเจาะ

รูปที่ 3-5 ชุดอุปกรณ์ควบคุมการวัดในชุดหมุนก้านเจาะ

รูปที่ 3-6 เซนเซอร์สำหรับวัดรอบการหมุนของก้านเจาะ

4. ชุดหัวเจาะจำลอง จะเป็นหัวเจาะขนาดเล็กที่ทำจากอลูมิเนียม โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 นิ้ว โดยจะถูกติดตั้งไว้บริเวณส่วนล่างของแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 3-7

สำหรับชุดหัวเจาะจำลองที่ใช้ในการวิจัยชุดดังกล่าว จะประกอบไปด้วยหัวเจาะจำลองจำนวน 9 หัว โดยแต่ละหัวจะมีขนาดและจำนวนของ nozzle ที่แตกต่างกันดังแสดงในตาราง 3-1 และรูปที่ 3-8

รูปที่ 3-7 รูปแสดงตำแหน่งที่ใช้ในการติดตั้งหัวเจาะ

ตารางที่ 3-1 ตารางแสดงจำนวนและขนาดของ nozzle บนหัวเจาะจำลองที่จัดทำขึ้น

หมายเลขของหัวเจาะ (Bit Number)	ขนาดของรูบนหัวเจาะ (Nozzle size) มิลลิเมตร	จำนวนของรูบนหัวเจาะ (Nozzle number)
Bit No. 1	10	3
Bit No. 2	10	5
Bit No. 3	10	9
Bit No. 4	5	3
Bit No. 5	5	5
Bit No. 6	5	9
Bit No. 7	2.5	3
Bit No. 8	2.5	5
Bit No. 9	2.5	9

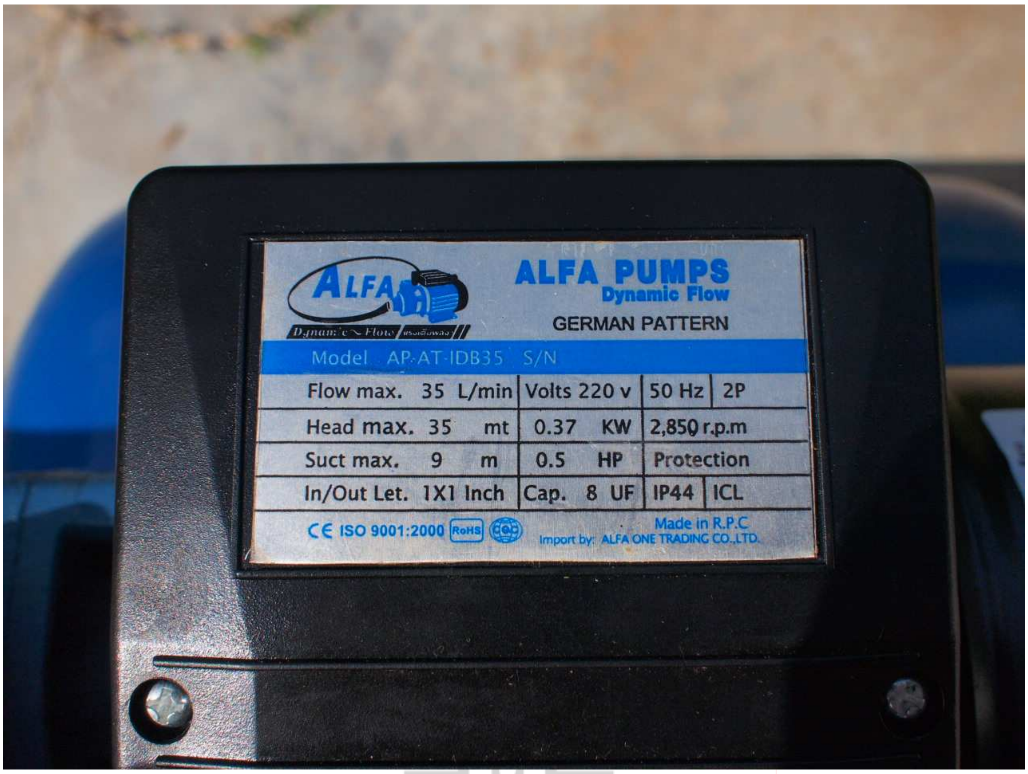
รูปที่ 3-8 หัวเจาะจำลองที่ใช้ในการทดสอบ

3.2 ระบบการหมุนเวียนของระบบน้ำโคลน

สำหรับอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในระบบหมุนเวียนน้ำโคลนในแบบจำลอง จะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่มีหน้าที่แตกต่างกันดังนี้

1. อุปกรณ์ปั๊มน้ำ ขนาด 0.5 แรงม้า โดยมีถังสำหรับอัดแรงดันเพื่อใช้ในการเพิ่มความดันของอุปกรณ์ปั๊มน้ำโคลนให้สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3-9 ถึงรูปที่ 3-11
2. Pressure switch จำนวน 2 ชั้น เพื่อใช้สำหรับควบคุมระดับความดันของระบบปั๊มน้ำโคลนให้มีค่าคงที่ โดยทำการปรับระดับของความดันไว้ 2 ระดับ คือ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และ 80 psi ดังแสดงในรูปที่ 3-12
3. ถังน้ำขนาด 20 แกลลอน และ 24 แกลลอน เพื่อใช้ในการเก็บของเหลวที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3-13
4. ฐานโลหะที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการติดตั้งชุดอุปกรณ์หมุนเวียนน้ำโคลน และแบบจำลองที่จัดทำขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3-14

รูปที่ 3-9 ปั๊มสำหรับหมุนเวียนน้ำโคลนขนาด 0.5 แรงม้า



รูปที่ 3-10 รายละเอียดข้อมูลการทำงานปั๊มสำหรับหมุนเวียนน้ำโคลน

รูปที่ 3-11 มาตรวัดความดันบนปั๊มสำหรับหมุนเวียนน้ำโคลน

รูปที่ 3-12 Pressure switch สำหรับควบคุมระดับของความดันในปั๊ม

รูปที่ 3-13 ถังน้ำขนาด 20 แกลลอน และ 24 แกลลอน

รูปที่ 3-14 ฐานโลหะที่ใช้ในการติดตั้งชุดอุปกรณ์หมุนเวียนน้ำโคลนและแบบจำลองแท่นเจาะ

3.3 ลักษณะการทำงานของระบบหมุนเวียนน้ำโคลน

โดยในการทำงานของระบบหมุนเวียนน้ำโคลน จะเริ่มจากปั๊มน้ำทำงานตามโปรแกรมที่วางไว้ โดยควบคุมความดันผ่าน Pressure switch ซึ่งสามารถปรับได้ 2 ระดับความดัน คือ 20 psi และ 40 psi โดยจะทำงานอัดน้ำเข้าระบบ และหมุนเวียนเข้าไปในแบบจำลองการเจาะผ่านช่องทางเข้าบริเวณด้านบนของแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 3-15 และจากนั้นน้ำที่ไหลผ่านเข้าไปในแบบจำลองจะไหลออกตรงหัวเจาะจำลองที่ติดตั้งอยู่ด้านล่างของแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 3-16 โดยจะมีลักษณะการไหลออกที่แตกต่างกันตามจำนวนและขนาดของ nozzle จากนั้นน้ำที่ถูกอัดเข้าไปในระบบ จะเคลื่อนที่กลับขึ้นสู่ด้านบนอีกครั้ง โดยระหว่างการเคลื่อนที่จะนำพาตัวอย่างเศษหินที่อยู่บริเวณด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนด้วย และจะไหลออกจากแบบจำลองบริเวณท่อด้านบนและตกลงสู่ถังสำหรับรับตะกอนเพื่อทำการแยกต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3-17

รูปที่ 3-15 ช่องทางเดินน้ำเข้าสู่แบบจำลองการเจาะ

รูปที่ 3-16 ช่องทางเดินน้ำออกจากหัวเจาะจำลอง

รูปที่ 3-17 ช่องทางเดินน้ำออกจากแบบจำลองการเจาะ

3.4 กระบวนการจัดเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับกระบวนการจัดเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง จะเป็นขั้นตอนที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างให้มีลักษณะที่เหมาะสมกับการทดสอบแบบจำลองโดยมีรูปแบบการทำงานดังขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1

นำตัวอย่างหินทรายที่รวบรวมมาทำการบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบด จะได้ตัวอย่างตะกอนดังแสดงในรูปที่ 3-18

รูปที่ 3-18 ภาพแสดงตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการบดละเอียด

ขั้นตอนที่ 2

นำตัวอย่างหินทรายที่ทำการบดให้ละเอียดแล้วมาทำการแยกขนาดโดยใช้เครื่องแยกตะแกรงร่อน (Sieve machine) เพื่อให้ตะกอนที่จะนำมาทดลองมีขนาดของตะกอนใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 3-19

รูปที่ 3-19 ภาพแสดงกระบวนการคัดขนาดของตะกอนโดยใช้เครื่องแยกตะแกรงร่อน

หลังจากทำการแยกตะกอนด้วยเครื่องแยกตะกอนแล้ว จะได้ตะกอนที่จะใช้ในการทดสอบแบบจำลอง โดยแบ่งเป็น 2 ขนาดตามขนาดของเครื่องแยกตะแกรงร่อน คือ

ตะกอนขนาดที่ 1 จะเป็นตะกอนที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านถาดกรองตะกอนเบอร์ 80 ได้ ซึ่งจัดเป็นตะกอนขนาดใหญ่ สำหรับหินทราย (Course grain sediment) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 180 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 3-20

ตะกอนขนาดที่ 2 จะเป็นตะกอนที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านถาดกรองตะกอนเบอร์ 170 ตะกอนขนาดกลางถึงเล็ก สำหรับหินทราย (Medium – fine grain sediment) ได้ มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 90 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 3-21

รูปที่ 3-20 ภาพแสดงตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการแยกโดยถาดแยกตะกอนเบอร์ 80

รูปที่ 3-21 ภาพแสดงตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการแยกโดยถาดแยกตะกอนเบอร์ 170

3.5 กระบวนการทดสอบแบบจำลอง

สำหรับกระบวนการทดสอบแบบจำลองจะเป็นกระบวนการที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง โดยการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่าง ๆ ที่คาดว่าน่าจะส่งผลต่อความเร็วในการนำพาตัวอย่างเศษหินขึ้นสู่พื้นผิว และสำหรับขั้นตอนในการทดสอบแบบจำลองจะมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1

ทำการประกอบแบบจำลองที่จัดทำขึ้น และตรวจสอบความสมบูรณ์ของระบบต่างๆก่อนเริ่มทำการทดสอบแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 3-22 ถึงรูปที่ 3-25

ขั้นตอนที่ 2

ทำการทดสอบแบบจำลองโดยให้มีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ และทำการจับเวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอนที่จัดเตรียมไว้ลงสู่พื้นที่ดักตัวอย่าง

สำหรับพารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรได้ จะมีดังนี้

- ขนาดของตัวอย่างตะกอน แบ่งเป็น 2 ขนาด คือ ตะกอนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 90 ไมครอน และ 180 ไมครอน
- ขนาดของช่องสำหรับน้ำออกบนหัวเจาะจำลอง (bit nozzle) จะแบ่งเป็น 3 ขนาดได้แก่ nozzle ขนาด 10 5 และ 2.5 มิลลิเมตร
- จำนวนของช่องสำหรับน้ำออกบนหัวเจาะจำลอง (nozzle number) จะแบ่งเป็น 3 รูปแบบได้แก่ ได้แก่ หัวเจาะที่มีจำนวน nozzle 9 รู หัวเจาะที่มีจำนวน nozzle 5 รู และหัวเจาะที่มีจำนวน nozzle 3 รู
- ความดันของปั๊มน้ำโคลน สามารถปรับระดับได้ 2 ระดับ คือที่ระดับความดัน 20 psi และที่ระดับความดัน 40 psi
- ความเร็วรอบในการหมุนของก้านเจาะจำลอง ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้เป็นระดับคือ ไม่มีการหมุนของก้านเจาะ ระดับความเร็วในการหมุนช้า ประมาณ 100 รอบต่อนาที และระดับความเร็วในการหมุนเร็วที่ประมาณ 200 รอบต่อนาที

ขั้นตอนที่ 3

ระหว่างทำการทดสอบแบบจำลอง จัดให้มีการบันทึกเวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอนจากด้านล่างของแบบจำลองขึ้นสู่ด้านบนและไหลออกสู่ถาดรับตัวอย่าง โดยทำซ้ำทั้งสิ้น 5 ครั้งแล้วนำค่าที่ได้มาทำการเฉลี่ย เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลต่อไป

รูปที่ 3-22 ภาพแสดงแบบจำลองที่พร้อมสำหรับการทดสอบ

รูปที่ 3-23 ภาพแสดงส่วนควบคุมของแบบจำลอง

รูปที่ 3-24 ภาพแสดงส่วนรับน้ำตัวแยกและแยกตะกอน

รูปที่ 3-25 ภาพแสดงอุปกรณ์ปั๊มน้ำโคลนพร้อมอุปกรณ์ติดตั้งสมบูรณ์

รูปที่ 3-26 ภาพแสดงการทดสอบแบบจำลองระหว่างการทำการทดสอบ

รูปที่ 3-27 ภาพแสดงการทดสอบแบบจำลองระหว่างการทำการทดสอบ

รูปที่ 3-28 ภาพแสดงการทดสอบแบบจำลองระหว่างการทำการทดสอบ

รูปที่ 3-29 ภาพแสดงการทดสอบแบบจำลองระหว่างการทำการทดสอบ

รูปที่ 3-30 ภาพแสดงการทดสอบแบบจำลองระหว่างการทำการทดสอบ

บทที่ 4
ผลการทดสอบแบบจำลองหลุมเจาะ

สำหรับผลการทดสอบแบบจำลองที่จัดทำขึ้น ได้จัดแสดงไว้ในตารางที่ 4-1 ถึงตารางที่ 4-10 และในตารางทุกตารางจะมีการบันทึกค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีการนำมาใช้ในการทดสอบแบบลอง ประกอบด้วยพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

- ขนาดของตัวอย่างตะกอน
- ขนาดของช่องสำหรับน้ำออกบนหัวเจาะจำลอง (bit nozzle)
- จำนวนของช่องสำหรับน้ำออกบนหัวเจาะจำลอง (nozzle number)
- ความดันของปั๊มน้ำโคลน
- ความเร็วรอบในการหมุนของก้านเจาะจำลอง

โดยรายละเอียดของผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4-1 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 1

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	64.88	
2	63.92	
3	64.2	
4	64.52	
5	64.44	
ค่าเฉลี่ย	64.4	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-2 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 2

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	55.43	
2	54.25	
3	54.88	
4	55.41	
5	55.36	
ค่าเฉลี่ย	55.1	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-3 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 3

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	49.22	
2	48.1	
3	48.77	
4	48.45	
5	48.7	
ค่าเฉลี่ย	48.6	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-4 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 4

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	90.1	
2	90.88	
3	91.65	
4	91.42	
5	91.1	
ค่าเฉลี่ย	91.0	

ตารางที่ 4-5 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 5

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	79.82	
2	80.44	
3	80.88	
4	79.96	
5	80.14	
ค่าเฉลี่ย	80.2	

ตารางที่ 4-6 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 6

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	69.1	
2	67.96	
3	68.44	
4	68.28	
5	68.66	
ค่าเฉลี่ย	68.5	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-7 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 7

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	124.8	
2	123.1	
3	125.22	
4	124.52	
5	124.44	
ค่าเฉลี่ย	124.4	

ตารางที่ 4-8 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 8

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	104.98	
2	105.42	
3	105.24	
4	104.8	
5	105.2	
ค่าเฉลี่ย	105.1	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-9 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 9

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	88.1	
2	87.4	
3	87.88	
4	88.65	
5	88.22	
ค่าเฉลี่ย	88.1	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-10 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 10

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	80.2	
2	80.88	
3	81.4	
4	81.22	
5	81.35	
ค่าเฉลี่ย	81.0	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-11 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 11

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	73.4	
2	73.22	
3	73.65	
4	73.1	
5	72.98	
ค่าเฉลี่ย	73.3	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-12 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 12

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	63.6	
2	63.94	
3	64.45	
4	64.2	
5	64.01	
ค่าเฉลี่ย	64.0	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-13 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 13

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	124.32	
2	124.66	
3	124.88	
4	125.76	
5	125.46	
ค่าเฉลี่ย	125.0	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-14 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 14

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	111.22	
2	110.44	
3	110.16	
4	110.54	
5	110.38	
ค่าเฉลี่ย	110.5	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-15 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 15

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	98.37	
2	98.13	
3	98.62	
4	98.78	
5	98.25	
ค่าเฉลี่ย	98.4	

ตารางที่ 4-16 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 16

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	162.88	
2	163.62	
3	163.24	
4	163.35	
5	163.48	
ค่าเฉลี่ย	163.3	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-17 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 17

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	148.2	
2	147.69	
3	147.82	
4	147.44	
5	147.18	
ค่าเฉลี่ย	147.7	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-18 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 18

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	120.96	
2	120.78	
3	121.42	
4	121.15	
5	121.37	
ค่าเฉลี่ย	121.1	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-19 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 19

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	45.24	
2	45.1	
3	45.04	
4	45.48	
5	44.98	
ค่าเฉลี่ย	45.2	

ตารางที่ 4-20 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 20

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	39.2	
2	39.88	
3	40.49	
4	40.27	
5	40.14	
ค่าเฉลี่ย	40.0	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-21 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 21

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	37.89	
2	38.24	
3	38.06	
4	37.98	
5	38.42	
ค่าเฉลี่ย	38.1	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-22 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 22

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	53.06	
2	52.48	
3	52.13	
4	52.65	
5	52.39	
ค่าเฉลี่ย	52.5	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-23 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 23

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	46.24	
2	45.06	
3	45.37	
4	45.65	
5	45.29	
ค่าเฉลี่ย	45.5	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-24 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 24

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	38.85	
2	39.26	
3	39.04	
4	39.15	
5	38.99	
ค่าเฉลี่ย	39.1	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-25 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 25

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	70.24	
2	69.5	
3	69.34	
4	69.88	
5	69.28	
ค่าเฉลี่ย	69.6	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-26 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 26

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	58	
2	58.69	
3	57.83	
4	58.27	
5	58.19	
ค่าเฉลี่ย	58.2	

ตารางที่ 4-27 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 27

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	49.68	
2	50.31	
3	50.05	
4	50.24	
5	49.98	
ค่าเฉลี่ย	50.1	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-28 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 28

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	60.89	
2	61.15	
3	61.02	
4	60.96	
5	61.48	
ค่าเฉลี่ย	61.1	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-29 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 29

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	51.56	
2	52.48	
3	52.09	
4	52.24	
5	52.35	
ค่าเฉลี่ย	52.1	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-30 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 30

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	45.11	
2	44.89	
3	45.38	
4	45.6	
5	45.01	
ค่าเฉลี่ย	45.2	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-31 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 31

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	69.68	
2	69.91	
3	70.29	
4	70.04	
5	70.12	
ค่าเฉลี่ย	70.0	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-32 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 32

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	60.03	
2	59.27	
3	59.81	
4	59.6	
5	59.08	
ค่าเฉลี่ย	59.6	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-33 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 33

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	42.74	
2	43.38	
3	43.2	
4	43.81	
5	42.99	
ค่าเฉลี่ย	43.2	

ตารางที่ 4-34 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 34

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	93.11	
2	92.65	
3	92.39	
4	92.55	
5	92.71	
ค่าเฉลี่ย	92.7	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-35 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 35

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	77.4	
2	78.32	
3	78.46	
4	78.05	
5	77.99	
ค่าเฉลี่ย	78.0	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-36 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 36

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	0	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	67.83	
2	68.49	
3	68.01	
4	68.23	
5	68.47	
ค่าเฉลี่ย	68.2	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-37 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 37

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	50.88	
2	50.92	
3	51.46	
4	51.05	
5	51.31	
ค่าเฉลี่ย	51.1	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-38 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 38

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	46.34	
2	45.29	
3	45.86	
4	45.44	
5	45.5	
ค่าเฉลี่ย	45.7	

ตารางที่ 4-39 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 39

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	39.68	
2	40.21	
3	39.95	
4	40.36	
5	40.19	
ค่าเฉลี่ย	40.1	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-40 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 40

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	70.42	
2	69.88	
3	69.59	
4	69.94	
5	69.36	
ค่าเฉลี่ย	69.8	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-41 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 41

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	57.29	
2	57.62	
3	57.04	
4	57.39	
5	57.55	
ค่าเฉลี่ย	57.4	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-42 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 42

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	50.05	
2	50.39	
3	50.24	
4	50	
5	50.56	
ค่าเฉลี่ย	50.2	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-43 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 43

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	98.6	
2	98.15	
3	98.37	
4	98.26	
5	98.31	
ค่าเฉลี่ย	98.3	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-44 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 44

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	85.94	
2	85.19	
3	85.67	
4	85.24	
5	85.37	
ค่าเฉลี่ย	85.5	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-45 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 45

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	75.84	
2	76.29	
3	76.05	
4	76.14	
5	76.33	
ค่าเฉลี่ย	76.1	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-46 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 46

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	78.02	
2	78.49	
3	78.09	
4	78..36	
5	77.99	
ค่าเฉลี่ย	78.1	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-47 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 47

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	68.09	
2	68.61	
3	68.37	
4	67.98	
5	68.02	
ค่าเฉลี่ย	68.2	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-48 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 48

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	58.72	
2	59.33	
3	59.02	
4	59.18	
5	59.21	
ค่าเฉลี่ย	59.1	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-49 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 49

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	95.33	
2	95.08	
3	95.67	
4	95.24	
5	95	
ค่าเฉลี่ย	95.3	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-50 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 50

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	82.66	
2	83.1	
3	83.29	
4	83.05	
5	82.97	
ค่าเฉลี่ย	83.0	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-51 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 51

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	76.05	
2	75.49	
3	75.88	
4	75.31	
5	75.52	
ค่าเฉลี่ย	75.7	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-52 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 52

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	134.09	
2	134.36	
3	134.17	
4	134.01	
5	134.67	
ค่าเฉลี่ย	134.3	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-53 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 53

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	110.81	
2	111.49	
3	111.05	
4	111.62	
5	111.17	
ค่าเฉลี่ย	111.2	

ตารางที่ 4-54 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 54

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	102.04	
2	102.59	
3	102.77	
4	102.34	
5	102.21	
ค่าเฉลี่ย	102.4	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-55 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 55

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	36.22	
2	35.41	
3	35.39	
4	35.77	
5	35.62	
ค่าเฉลี่ย	35.7	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-56 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 56

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	32.99	
2	33.48	
3	33.05	
4	33.67	
5	33.24	
ค่าเฉลี่ย	33.3	

ตารางที่ 4-57 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 57

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	31.26	
2	30.45	
3	30.86	
4	30.33	
5	30.74	
ค่าเฉลี่ย	30.7	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-58 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 58

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	40.58	
2	41.62	
3	41.09	
4	41.34	
5	41.29	
ค่าเฉลี่ย	41.2	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-59 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 59

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	34.59	
2	35.06	
3	35.29	
4	35	
5	34.98	
ค่าเฉลี่ย	35.0	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-60 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 60

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	5	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	32.06	
2	32.79	
3	32.41	
4	32.03	
5	32.55	
ค่าเฉลี่ย	32.4	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-61 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 61

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	56.81	
2	57.34	
3	57.29	
4	57.84	
5	57.06	
ค่าเฉลี่ย	57.3	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-62 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 62

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	44.05	
2	44.7	
3	44.19	
4	44.39	
5	44.82	
ค่าเฉลี่ย	44.4	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-63 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 63

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	10	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	9	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	90	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	38.69	
2	39.15	
3	39.27	
4	38.99	
5	39.05	
ค่าเฉลี่ย	39.0	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4-64 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 64

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	2.5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	49.69	
2	49.12	
3	49.72	
4	49.55	
5	49.09	
ค่าเฉลี่ย	49.4	

ตารางที่ 4-65 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ครั้งที่ 65

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง		
รายละเอียดพารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	หน่วย
ขนาดของ Nozzle	5	มิลลิเมตร
จำนวนของ Nozzle	3	ช่อง
ความดันของปั๊มน้ำโคลน	40	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเร็วรอบในการหมุนของการเจาะ	50	รอบต่อนาที
ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	180	ไมโครเมตร
ครั้งที่ทำการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน (วินาที)	
1	40.55	
2	41.21	
3	41	
4	41.39	
5	41.27	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
ERROR: undefined
OFFENDING COMMAND: setcolors

STACK:

/DeviceGray
/DeviceGray
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปผลการทดสอบแบบจำลอง

สำหรับผลการทดสอบแบบจำลองที่จัดทำขึ้น ดังแสดงไว้ในบทที่ผ่านมา สามารถสรุปได้ดังตาราง ที่ 5.1 โดยสรุปผลการทดลองด้วยการแสดงค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างหินจากการทดลองแต่ครั้งกับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการทดสอบแบบจำลองในทุกรูปแบบการทดสอบ

พารามิเตอร์ --> ลำดับทำการทดสอบ	ความเร็วรอบในการหมุน (รอบต่อนาที)	ความดันของปั๊มน้ำโคลน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	จำนวนของ Nozzle	ขนาดของ Nozzle (มิลลิเมตร)	เวลาในการนำพาตัวอย่าง (วินาที)
ครั้งที่ 1	0	20	90 µm	3	2.5	64.4
ครั้งที่ 2	0	20	90 µm	3	5	55.1
ครั้งที่ 3	0	20	90 µm	3	10	48.6
ครั้งที่ 4	0	20	90 µm	5	2.5	91.0
ครั้งที่ 5	0	20	90 µm	5	5	80.2
ครั้งที่ 6	0	20	90 µm	5	10	68.5
ครั้งที่ 7	0	20	90 µm	9	2.5	124.4
ครั้งที่ 8	0	20	90 µm	9	5	105.1
ครั้งที่ 9	0	20	90 µm	9	10	88.1
ครั้งที่ 10	0	20	180 µm	3	2.5	81.0
ครั้งที่ 11	0	20	180 µm	3	5	73.3
ครั้งที่ 12	0	20	180 µm	3	10	64.0

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการทดสอบแบบจำลองในทุกรูปแบบการทดสอบ (ต่อ)

163.3พารามิเตอร์ --> ลำดับทำการทดสอบ	ความเร็วรอบในการหมุน (รอบต่อนาที)	ความดันของปั๊มน้ำโคลน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	จำนวนของ Nozzle	ขนาดของ Nozzle (มิลลิเมตร)	เวลาในการนำพาตัวอย่าง (วินาที)
ครั้งที่ 13	0	20	180 μm	5	2.5	125.0
ครั้งที่ 14	0	20	180 μm	5	5	110.5
ครั้งที่ 15	0	20	180 μm	5	10	98.4
ครั้งที่ 16	0	20	180 μm	9	2.5	163.3
ครั้งที่ 17	0	20	180 μm	9	5	147.7
ครั้งที่ 18	0	20	180 μm	9	10	121.1
ครั้งที่ 19	0	40	90 μm	3	2.5	45.2
ครั้งที่ 20	0	40	90 μm	3	5	40.0
ครั้งที่ 21	0	40	90 μm	3	10	38.1
ครั้งที่ 22	0	40	90 μm	5	2.5	52.5
ครั้งที่ 23	0	40	90 μm	5	5	45.5
ครั้งที่ 24	0	40	90 μm	5	10	39.1

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการทดสอบแบบจำลองในทุกรูปแบบการทดสอบ (ต่อ)

พารามิเตอร์ --> ลำดับทำการทดสอบ	ความเร็วรอบในการหมุน (รอบต่อนาที)	ความดันของปั๊มน้ำโคลน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	จำนวนของ Nozzle	ขนาดของ Nozzle (มิลลิเมตร)	เวลาในการนำพาตัวอย่าง (วินาที)
ครั้งที่ 25	0	40	90 μm	9	2.5	69.6
ครั้งที่ 26	0	40	90 μm	9	5	58.2
ครั้งที่ 27	0	40	90 μm	9	10	50.1
ครั้งที่ 28	0	40	180 μm	3	2.5	61.1
ครั้งที่ 29	0	40	180 μm	3	5	52.1
ครั้งที่ 30	0	40	180 μm	3	10	45.2
ครั้งที่ 31	0	40	180 μm	5	2.5	70.0
ครั้งที่ 32	0	40	180 μm	5	5	59.6
ครั้งที่ 33	0	40	180 μm	5	10	43.2
ครั้งที่ 34	0	40	180 μm	9	2.5	92.7
ครั้งที่ 35	0	40	180 μm	9	5	78.0
ครั้งที่ 36	0	40	180 μm	9	10	68.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการทดสอบแบบจำลองในทุกรูปแบบการทดสอบ (ต่อ)

พารามิเตอร์ --> ลำดับทำการทดสอบ	ความเร็วรอบในการหมุน (รอบต่อนาที)	ความดันของปั๊มน้ำโคลน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	จำนวนของ Nozzle	ขนาดของ Nozzle (มิลลิเมตร)	เวลาในการนำพาตัวอย่าง (วินาที)
ครั้งที่ 37	50	20	90 μm	3	2.5	51.1
ครั้งที่ 38	50	20	90 μm	3	5	45.7
ครั้งที่ 39	50	20	90 μm	3	10	40.1
ครั้งที่ 40	50	20	90 μm	5	2.5	69.8
ครั้งที่ 41	50	20	90 μm	5	5	57.4
ครั้งที่ 42	50	20	90 μm	5	10	50.2
ครั้งที่ 43	50	20	90 μm	9	2.5	98.3
ครั้งที่ 44	50	20	90 μm	9	5	85.5
ครั้งที่ 45	50	20	90 μm	9	10	76.1
ครั้งที่ 46	50	20	180 μm	3	2.5	78.1
ครั้งที่ 47	50	20	180 μm	3	5	68.2
ครั้งที่ 48	50	20	180 μm	3	10	59.1

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการทดสอบแบบจำลองในทุกรูปแบบการทดสอบ (ต่อ)

พารามิเตอร์ --> ลำดับทำการทดสอบ	ความเร็วรอบในการหมุน (รอบต่อนาที)	ความดันของปั๊มน้ำโคลน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	จำนวนของ Nozzle	ขนาดของ Nozzle (มิลลิเมตร)	เวลาในการนำพาตัวอย่าง (วินาที)
ครั้งที่ 49	50	20	180 μm	5	2.5	95.3
ครั้งที่ 50	50	20	180 μm	5	5	83.0
ครั้งที่ 51	50	20	180 μm	5	10	75.7
ครั้งที่ 52	50	20	180 μm	9	2.5	134.3
ครั้งที่ 53	50	20	180 μm	9	5	111.2
ครั้งที่ 54	50	20	180 μm	9	10	102.4
ครั้งที่ 55	50	40	90 μm	3	2.5	35.7
ครั้งที่ 56	50	40	90 μm	3	5	33.3
ครั้งที่ 57	50	40	90 μm	3	10	30.7
ครั้งที่ 58	50	40	90 μm	5	2.5	41.2
ครั้งที่ 59	50	40	90 μm	5	5	35.0
ครั้งที่ 60	50	40	90 μm	5	10	32.4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการทดสอบแบบจำลองในทุกรูปแบบการทดสอบ (ต่อ)

พารามิเตอร์ --> ลำดับทำการทดสอบ	ความเร็วรอบในการหมุน (รอบต่อนาที)	ความดันของปั๊มน้ำโคลน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	จำนวนของ Nozzle	ขนาดของ Nozzle (มิลลิเมตร)	เวลาในการนำพาตัวอย่าง (วินาที)
ครั้งที่ 61	50	40	90 μm	9	2.5	57.3
ครั้งที่ 62	50	40	90 μm	9	5	44.4
ครั้งที่ 63	50	40	90 μm	9	10	39.0
ครั้งที่ 64	50	40	180 μm	3	2.5	49.4
ครั้งที่ 65	50	40	180 μm	3	5	41.1
ครั้งที่ 66	50	40	180 μm	3	10	37.1
ครั้งที่ 67	50	40	180 μm	5	2.5	62.3
ครั้งที่ 68	50	40	180 μm	5	5	54.4
ครั้งที่ 69	50	40	180 μm	5	10	49.1
ครั้งที่ 70	50	40	180 μm	9	2.5	73.1
ครั้งที่ 71	50	40	180 μm	9	5	61.0
ครั้งที่ 72	50	40	180 μm	9	10	54.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการทดสอบแบบจำลองในทุกรูปแบบการทดสอบ (ต่อ)

พารามิเตอร์ --> ลำดับทำการทดสอบ	ความเร็วรอบในการหมุน (รอบต่อนาที)	ความดันของปั๊มน้ำโคลน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	จำนวนของ Nozzle	ขนาดของ Nozzle (มิลลิเมตร)	เวลาในการนำพาตัวอย่าง (วินาที)
ครั้งที่ 73	100	20	90 μm	3	2.5	39.2
ครั้งที่ 74	100	20	90 μm	3	5	32.2
ครั้งที่ 75	100	20	90 μm	3	10	29.6
ครั้งที่ 76	100	20	90 μm	5	2.5	55.1
ครั้งที่ 77	100	20	90 μm	5	5	49.3
ครั้งที่ 78	100	20	90 μm	5	10	45.6
ครั้งที่ 79	100	20	90 μm	9	2.5	69.0
ครั้งที่ 80	100	20	90 μm	9	5	60.4
ครั้งที่ 81	100	20	90 μm	9	10	51.5
ครั้งที่ 82	100	20	180 μm	3	2.5	55.3
ครั้งที่ 83	100	20	180 μm	3	5	49.2
ครั้งที่ 84	100	20	180 μm	3	10	44.2

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการทดสอบแบบจำลองในทุกรูปแบบการทดสอบ (ต่อ)

พารามิเตอร์ --> ลำดับทำการทดสอบ	ความเร็วรอบในการหมุน (รอบต่อนาที)	ความดันของปั๊มน้ำโคลน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	จำนวนของ Nozzle	ขนาดของ Nozzle (มิลลิเมตร)	เวลาในการนำพาตัวอย่าง (วินาที)
ครั้งที่ 85	100	20	180 µm	5	2.5	72.3
ครั้งที่ 86	100	20	180 µm	5	5	62.2
ครั้งที่ 87	100	20	180 µm	5	10	53.2
ครั้งที่ 88	100	20	180 µm	9	2.5	93.2
ครั้งที่ 89	100	20	180 µm	9	5	83.2
ครั้งที่ 90	100	20	180 µm	9	10	75.4
ครั้งที่ 91	100	40	90 µm	3	2.5	28.3
ครั้งที่ 92	100	40	90 µm	3	5	25.5
ครั้งที่ 93	100	40	90 µm	3	10	23.4
ครั้งที่ 94	100	40	90 µm	5	2.5	39.3
ครั้งที่ 95	100	40	90 µm	5	5	30.6
ครั้งที่ 96	100	40	90 µm	5	10	27.7

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการทดสอบแบบจำลองในทุกรูปแบบการทดสอบ (ต่อ)

พารามิเตอร์ --> ลำดับทำการทดสอบ	ความเร็วรอบในการหมุน (รอบต่อนาที)	ความดันของปั๊มน้ำโคลน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	ขนาดของตะกอนตัวอย่าง	จำนวนของ Nozzle	ขนาดของ Nozzle (มิลลิเมตร)	เวลาในการนำพาตัวอย่าง (วินาที)
ครั้งที่ 97	100	40	90 μm	9	2.5	47.4
ครั้งที่ 98	100	40	90 μm	9	5	38.2
ครั้งที่ 99	100	40	90 μm	9	10	32.3
ครั้งที่ 100	100	40	180 μm	3	2.5	44.4
ครั้งที่ 101	100	40	180 μm	3	5	39.3
ครั้งที่ 102	100	40	180 μm	3	10	31.4
ครั้งที่ 103	100	40	180 μm	5	2.5	57.6
ครั้งที่ 104	100	40	180 μm	5	5	50.7
ครั้งที่ 105	100	40	180 μm	5	10	42.4
ครั้งที่ 106	100	40	180 μm	9	2.5	69.4
ครั้งที่ 107	100	40	180 μm	9	5	58.3
ครั้งที่ 108	100	40	180 μm	9	10	49.4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากตารางที่ 5-1 จะเห็นว่าการนำพาตัวอย่างตะกอนในการทดสอบแบบจำลองที่จัดทำขึ้น มีปัจจัยที่เข้ามาควบคุมเวลาในการเคลื่อนที่ของตัวอย่างตะกอนหลายปัจจัยด้วยกัน โดยสามารถแยกแยะรายละเอียดได้ดังนี้

ขนาดของตะกอนตัวอย่าง

สำหรับขนาดของตะกอนที่นำมาใช้ในการทดสอบแบบจำลอง จะมีทั้งสิ้น 2 ขนาดได้แก่ เม็ดตะกอนขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 180 ไมครอน) และเม็ดตะกอนขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 90 ไมครอน) โดยเวลาที่วัดได้จากการทดลอง จะเห็นว่าเม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่มากกว่าเม็ดตะกอนที่มีขนาดเล็ก

ความดันในการทดสอบแบบจำลอง

สำหรับความดันในการทดสอบแบบจำลอง จะมีการตั้งค่าระดับของความดันไว้ 2 ระดับ คือ ระดับความดันที่ 1 ประมาณ 20 psi และระดับความดันที่ 2 ประมาณ 40 psi โดยจากผลการทดสอบแบบจำลองจะเห็นว่า เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอน ในกรณีที่ใช้ความดันต่ำจะใช้เวลามากกว่ากรณีที่มีการใช้ความดันสูง โดยเวลาที่แสดงออกมาจะเห็นผลของความแตกต่างค่อนข้างชัดเจน

ขนาดของรูบนหัวเจาะจำลอง (Bit nozzle)

สำหรับในกรณีที่พิจารณาถึงขนาดของรูบนหัวเจาะ หรือ Bit Nozzle size จากผลการทดสอบแบบจำลองจะเห็นว่า ถ้าขนาดของรูบนหัวเจาะมีขนาดเล็ก จะทำให้เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอนจากด้านล่างสู่ด้านบนมีค่าน้อยกว่ากรณีที่รูบนหัวเจาะมีขนาดใหญ่ ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากลักษณะของความเร็วที่ออกจากรูขนาดเล็กบนหัวเจาะ จะมีค่าความแรงของน้ำหรือความเร็วของน้ำในขณะที่พุ่งออกจากหัวเจาะสูงกว่าความเร็วที่ออกจากรูขนาดใหญ่บนหัวเจาะ หรือที่เรียกว่า Jet velocity ซึ่งทำให้สามารถช่วยในการนำพาตัวอย่างตะกอนได้ดีขึ้น

จำนวนของรูบนหัวเจาะ

สำหรับในกรณีที่พิจารณาถึงจำนวนของรูบนหัวเจาะ จากผลการทดสอบแบบจำลองจะเห็นว่า ถ้าจำนวนของรูบนหัวเจาะมีจำนวนมาก จะทำให้เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอนจากด้านล่างสู่ด้านบนมีค่ามากกว่ากรณีที่จำนวนของรูบนหัวเจาะมีจำนวนมาก ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากความเร็วของของไหลที่ออกก็จะไหลหัวเจาะ โดยหัวเจาะที่มีจำนวนรูบนหัวเจาะน้อยกว่าจะสามารถเพิ่มความเร็วของน้ำได้ดีกว่าหัวเจาะที่มีจำนวนของรูบนหัวเจาะที่มากกว่า ทำให้เวลาที่ใช้ในการนำพาตัวอย่างตะกอนจะลดลงตามไปด้วย หรือทำให้สามารถช่วยในการนำพาตัวอย่างตะกอนได้ดีขึ้น

ความเร็วรอบในการหมุน

สำหรับในกรณีที่พิจารณาถึงความเร็วรอบในการหมุนต่อความสามารถในการนำพาตัวอย่างตะกอน จากการทดสอบแบบจำลอง จะไม่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน แต่สามารถเทียบเคียงข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยพิจารณาจากแนวโน้มของผลการทดสอบแบบจำลอง ซึ่งจะเห็นว่า ในกรณีที่

ความเร็วรอบของการหมุนของก้านเจาะจำลองสูงขึ้น จะส่งผลให้น้ำอย่างตะกอนเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนได้เร็วขึ้นกว่ากรณีที่ความเร็วรอบของการหมุนของก้านเจาะจำลองต่ำหรือไม่มีการหมุนเลย

5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากการทดสอบแบบจำลอง ปัญหาที่พบจะมีค่อนข้างหลากหลาย แต่สามารถสรุปปัญหาที่สำคัญได้ดังนี้

1. เนื่องจากของเหลวที่ใช้ในการทดสอบเป็นน้ำ ซึ่งมีความแตกต่างจากน้ำโคลนที่มีการใช้ในการเจาะทั่วไปเป็นอย่างมาก เพราะในการเจาะปกติ จะมีสารเคมีที่ผสมเข้าไปเพื่อควบคุมค่าความหนืดของน้ำโคลน แต่ผู้ทำการทดลองไม่สามารถนำมาผสมกับการทดสอบแบบจำลองได้ เนื่องจากจะเกิดปัญหากับเครื่องมือที่ทำขึ้น รวมถึงเป็นการยากในการสังเกตว่าตัวอย่างเศษหินที่ใช้ในการทดลอง จะตกถึงตะแกรงกรองเมื่อใด อาจจะทำให้เกิดการผิดพลาดในการจับเวลาได้ง่าย

2. ในการทดสอบแบบจำลอง ใช้การจับเวลาและสังเกตการนำพาตัวอย่างตะกอนจากด้านล่างของแบบจำลองสู่ด้านบนของแบบจำลอง ซึ่งอาจจะมีการผิดพลาดของเวลาที่ทำการวัดออกมาได้ค่อนข้างง่าย ทำให้ผลการทดสอบแบบจำลองมีความผิดพลาด จึงต้องทำการทดสอบหลายครั้ง แล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย เพื่อหาค่าที่ควรจะเป็น และจากการที่ต้องทำการทดสอบหลายครั้ง ส่งผลให้แบบจำลองที่จัดทำขึ้นมีปัญหาระหว่างการทดสอบอยู่บ่อยครั้ง

3. เนื่องจากแบบจำลองที่จัดทำขึ้นมีขนาดค่อนข้างสูงและใหญ่ และในการบรรจุตัวอย่างเศษหินจำเป็นต้องนำเข้าจากด้านบนของแบบจำลอง จึงส่งผลให้ในการทดสอบแบบจำลองจึงต้องทำอย่างระมัดระวัง เพราะแบบจำลองอาจจะล้มและเกิดการเสียหาย ทำให้ไม่สามารถทดสอบต่อไปได้ ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวทำให้ในการทดสอบแบบจำลองจึงต้องใช้เวลามากกว่าที่วางแผนไว้

สำหรับข้อเสนอแนะของผู้วิจัยต่อการวิจัยชิ้นนี้ ผู้ทำการวิจัยเห็นความผิดพลาดหลายประการจากการออกแบบ จัดสร้างแบบจำลองและการทดสอบ โดยในส่วนของการออกแบบ มีความผิดพลาดที่ขนาดของแบบจำลองมีขนาดใหญ่และสูงมากเกินไป ทำให้เป็นอุปสรรคในการ ประกอบ ขนย้ายรวมถึงการทดสอบแบบจำลอง ซึ่งต้องใช้ความระมัดระวังอย่างสูงในการทำการทดสอบ เนื่องจาก ท่ออคิลิคใสที่ทำหน้าที่เป็นหลุมเจาะจำลองมีความเปราะบาง สามารถแตดหักได้ง่าย ดังนั้นในการออกแบบควรที่จะออกแบบให้เหมาะสมมากกว่านี้ ในการทดสอบแบบจำลองมีปัญหาอย่างยิ่งในการจับเวลาที่น้ำได้นำพาตัวอย่างลงสู่ตะแกรงร่อน ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดค่อนข้างสูง ดังนั้นในกรณีที่จะมีการพัฒนาต่อไป ควรที่จะออกแบบระบบตรวจตัวอย่างเพิ่มเติมเข้าไปด้วย และถ้าเป็นไปได้ ควรจะมีการนำอากาศเข้ามาใช้ในการทดสอบแบบจำลอง เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของการนำพาตัวอย่างเศษหิน ในกระบวนการเจาะแบบ Air drilling ต่อไปได้

บรรณานุกรม

กรมการพลังงานทหาร กองสำรวจและผลิตปิโตรเลียม. (2535). **เอกสารบรรยายสรุปผลงานการสำรวจและพัฒนาปิโตรเลียมของกองสำรวจและผลิตปิโตรเลียม**. กรมการพลังงานทหาร. (เอกสารที่ไม่ได้พิมพ์เผยแพร่)

กรมการพลังงานทหาร กองสำรวจและผลิตปิโตรเลียม. (2543). **เอกสารบรรยายสรุปผลงานการสำรวจและพัฒนาปิโตรเลียมของกองสำรวจและผลิตปิโตรเลียม ศูนย์พัฒนาปิโตรเลียมภาคเหนือ กรมการพลังงานทหาร**. กรมการพลังงานทหาร. (เอกสารที่ไม่ได้พิมพ์เผยแพร่)

ข่าวสาร สธท. กรมทรัพยากรธรณี กองเชื้อเพลิงธรรมชาติ, (2526). **การสำรวจปิโตรเลียมในประเทศไทย**, ข่าวสาร สธท. เมษายน 2526 หน้า 20-28

กรมทรัพยากรธรณี กองเชื้อเพลิงธรรมชาติ, (2526). **ความรู้เรื่องปิโตรเลียม**, เอกสารเผยแพร่

ดร. เฉลิมเกียรติ ทองเถาว์. (2528), **การสำรวจปิโตรเลียมโดยวิธีวัดคลื่นไหวสะเทือน (Seismic Survey)** ; ข่าวสาร สธท. ฉบับที่ 7-8 พฤษภาคม-มิถุนายน 2528

ดร. เฉลิมเกียรติ ทองเถาว์. (2529), **การสำรวจปิโตรเลียมโดยวิธีวัดคลื่นไหวสะเทือน แบบ 3 มิติ (3 Dimensional Seismic Survey)** ; ข่าวสาร สธท. ฉบับที่ 1 เมษายน 2529

พลตรีนิรัตน์ สมัถพันธุ์. (2534). **กิจการน้ำมันที่อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่**. ข่าวสารการธรณี ฉบับพิเศษ 100 ปี กรมทรัพยากรธรณี. อมรินทร์พริ้นติ้งกรุ๊พ, หน้า 95-104

ยงยุทธ ตรังคชสารและคณะ. (2536). **ปิโตรเลียมเมืองสยาม**. สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย 2536, 177 หน้า

Carl Gatlin. (1986). **Petroleum Engineering Drilling and Well Completion**. Prentice Hall Inc.

Geoservice Co,Ltd. (xxxx). **Introduction to Mud logger** (เอกสารที่ไม่ได้พิมพ์เผยแพร่)

International logging, Inc. (2001). **Basic Mud logging Manual Version 1.0.0** (เอกสารที่ไม่ได้พิมพ์เผยแพร่)

Jean-Paul NGUYEN. (1996). **Oil and Gas Field Development Techiques Drilling**. T Edition Technip.

Kelessidis et.al. (2009). **Optimal determination of rheological parameters for Herschel–Bulkley drilling fluids and impact on pressure drop, velocity profiles and penetration rates during drilling**. Journal of Petroleum Science and Engineering 53 (2006) 203– 224.

Kriangkrai Trisarn. (2005). **505354 Petroleum Drilling Technology**. Suranaree University of Technology.

Santoyo, E. et.al. (1998). **a thermal simulator for estimation of drilling mud and formation temperatures during drilling of geothermal wells**. Computers & Geosciences Volume 24 : 5, 15 June 1998, Pages 465-477.

Talalay, P.G. (2004). **Removal of cuttings in deep ice electromechanical drills**. Cold Regions Science and Technology Volume 44 : 2, March 2006, Pages 87-98.

ประวัตินักวิจัย

นายเชษฐา ชุมกระโทก เกิดเมื่อวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2520 เริ่มเข้าศึกษาระดับปริญญาตรี ที่สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2541 ภายหลังสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานในตำแหน่งนักธรณีวิทยา 3 กองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานคร หลังจากนั้นในปี พ.ศ. 2543 ได้เข้าทำงานในตำแหน่งพนักงานธรณีวิทยา ประจำแผนกธรณีวิทยา กองสำรวจและผลิตปิโตรเลียม ศูนย์พัฒนาปิโตรเลียมภาคเหนือ กรมการพลังงานทหาร กระทรวงกลาโหม อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ และในปี พ.ศ. 2545 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทในสาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี หลังจากสำเร็จการศึกษาจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในปี พ.ศ.2548 ได้ทำงานเป็นผู้ช่วยวิจัยของ รศ.เกรียงไกร ไตรสาร และในปี พ.ศ. 2549 ได้เข้าทำงานในตำแหน่ง Mudlogger บริษัท Geoservices Thailand, Ltd.Co. และในปี พ.ศ. 2551 ได้เข้าทำงานในตำแหน่งอาจารย์สังกัดสาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จนกระทั่งถึงปัจจุบัน