



รายงานการวิจัย

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำโคลนขุดเจาะ

ผสมเถ้าลอยลิกไนต์

(Physical and Chemical Properties of Drilling Mud

Containing Lignite Fly Ash)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำโคลนขุดเจาะ

ผสมเถ้าลอยลิกไนต์

(Physical and Chemical Properties of Drilling Mud Containing
Lignite Fly Ash)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

อาจารย์ ดร.บัณฑิตา ชีระกุลสถิตย์

สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2558

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการอุดหนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีประจำปีงบประมาณ 2557 คณะผู้ทำวิจัยต้องขอขอบคุณ กองธรณีวิทยาเหมืองแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเป็นอย่างสูง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างถ้ำลอย การวิเคราะห์ทั้งหมดจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้หากขาดบุคลากรฝ่ายวิเคราะห์ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่คอยให้ความรู้และการฝึกการอบรมในการใช้เครื่องมือต่างๆ เป็นอย่างดี อันได้แก่ คุณสุภรภรณ์ สกุลภักดี คุณคมสันต์ ต่ายทรัพย์ และคุณยุธิกา ศรีอริยะยา และขอขอบคุณพรชัย คำหอม ที่คอยให้ความสะดวกในการไปเก็บตัวอย่างที่เหมืองแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จังหวัดลำปางและบุคคลอื่นๆที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัย

กันยายน 2558

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้คือเพื่อศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ้ำลอยและน้ำโคลนขุดเจาะที่ใช้น้ำเป็นส่วนผสมหลักโดยการเติมด้วยถ้ำลอยที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ร้อยละ 3 และร้อยละ 5 โดยมวล ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นนำน้ำโคลนที่ผสมถ้ำลอยที่ความเข้มข้น ร้อยละ 1 และร้อยละ 3 ผสมกับสารตัวเติมอื่นๆ ประกอบด้วย โคลโลไมด์ ถ้ำกลบ ปูนขาว และแป้งมัน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ร้อยละ 3 และร้อยละ 5 โดยมวล ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 องศาเซลเซียส โดยทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและอัตราส่วนผสมต่อคุณสมบัติของของไหล ตามแบบจำลองบิงแฮมและเพาเวอร์ลอว์ รวมทั้งการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การซึมผ่าน ความหนาแน่น ความเป็นกรด-ด่าง ความต้านทานไฟฟ้า ปริมาณของแข็ง และปริมาณทราย โดยทำการทดสอบตามขั้นตอนมาตรฐาน API RP 13B-1 จากผลการทดลองพบว่าน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมถ้ำลอยที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลผสมแป้งมันร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 60 และ 90 องศาเซลเซียส สามารถเพิ่มประสิทธิภาพน้ำโคลนพื้นฐานได้ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่มีผลต่อปริมาณธาตุและแร่องค์ประกอบของน้ำโคลนขุดเจาะผสมถ้ำลอยและสารตัวเติม โดยค่าร้อยละของธาตุและแร่องค์ประกอบมีการเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนของสารเคมีดังนี้ แร่แบไรต์ร้อยละ 29.8 ถึง 43.5 แร่มอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 14.9 ถึง 30.6 แร่เคโอลินไนต์ร้อยละ 7.5 ถึง 22.1 แร่ควอร์ตซ์ร้อยละ 5.9 ถึง 15.7 แร่แคลไซต์ร้อยละ 1.9 ถึง 28.4 แร่ฮีมาไทต์ร้อยละ 2.0 ถึง 4.8 แร่ยิปซัมร้อยละ 0.6 ถึง 5.3 แร่โคลโลไมด์ร้อยละ 0.2 ถึง 0.5 แร่แอนไฮไดรต์ ร้อยละ 0 ถึง 2.1 และแร่อะนอร์ไทต์ ร้อยละ 0 ถึง 6.2 และการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวมีความขรุขระ มีการจับตัวกันแน่นของส่วนประกอบ และยังคงสภาพของอนุภาคสาร ถึงแม้จะผ่านการให้ความร้อน ส่วนผลการทดสอบทางกายภาพของน้ำโคลนขุดเจาะนี้ มีค่าความหนืด 40 เซนติพอยส์ ค่าความหนาแน่น 1.098 ถึง 1.100 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง 10.2 ถึง 10.4 ค่าการซึมผ่าน 9.0 ถึง 12.0 มิลลิเมตร และค่าความต้านทานไฟฟ้า 3.87 ถึง 4.14 โอห์ม-เมตร โดยสรุปแล้วถ้ำลอยสามารถใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านวิทยากระแสและความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนขุดเจาะได้ และการเปรียบเทียบราคาของถ้ำลอยกับสารตัวเติม พบว่าถ้ำลอยมีราคาถูกกว่าสารตัวเติมอื่นๆ แต่น้ำโคลนที่ผสมถ้ำลอยจะต้องใช้ร่วมกับสารตัวเติมที่สามารถควบคุมการซึมผ่านได้ ด้วยเหตุนี้ส่งผลให้น้ำโคลนขุดเจาะผสมถ้ำลอยที่ต้องผสมสารตัวเติมอื่นๆ มีต้นทุนการผลิตสูงขึ้น

Abstract

The objective of this study is to investigate and develop the physical and chemical properties of water-based drilling mud mixed with 1, 3 and 5% of fly ash by weight at 30, 60 and 90°C. The 1 and 3% of fly ash containing drilling mud mixed with additives contain dolomite, rice husk ash, lime and starch at 1, 3 and 5% by weight at 30, 60 and 90°C. The methodology is to use the effect of temperature and mixing ratio on rheological properties of drilling mud on Bingham and Power Law model. The physical properties testing include the filtration, density, pH, resistivity, solid content and sand content. The testing procedures follow the API RP 13B-1. The drilling mud mixed with 1% of fly ash by weight and 1% of starch at 60 and 90°C. These formulas can be improved the water-based drilling mud. The elemental and mineral composition of drilling mud mixed with fly ash and additives not relative with temperature. However, the percentages of elements and minerals composition have changed by the mixing ratio of the chemicals, including the barite 29.8 to 43.5%, montmorillonite 14.9 to 30.6%, kaolinite 7.5 to 22.1%, quartz 5.9 to 15.7%, calcite 1.9 to 28.4%, hematite 2.0 to 4.8%, gypsum 0.6 to 5.3%, dolomite 0.2 to 0.5%, anorthite 0 to 2.1% and anhydrite 0 to 6.2%. The surface topography analysis indicates roughness, the components agglutination and stability particles, although the samples pass heating. The physical properties testing demonstrate that viscosity 40 cP, density 1.098 to 1.100 g/cm³, pH 10.2 to 10.4, filtration 9.0 to 12.0 ml and resistivity 3.87 to 4.14 Ω .m. In summary, the fly ash can be used to improve the rheological properties and pH of drilling mud. The cost of fly ash is cheaper than other additives, but the drilling mud mixed with fly ash must be combined with other additives that can be controlled filtration. Hence, drilling mud mixed with fly ash has a higher production cost.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของการทำวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตโครงการวิจัย.....	3
1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย.....	3
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล	5
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมการวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 3 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์	
3.1 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์	15
3.1.1 การเก็บตัวอย่าง	15
3.1.2 สารที่ใช้ในการทดลอง	15
3.1.3 การเตรียมตัวอย่าง	15
3.1.4 การวิเคราะห์ทางกายภาพ	16
3.2 เครื่องมือและการวิเคราะห์.....	17
3.2.1 เครื่องวิเคราะห์เอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF)	17
3.2.2 เครื่องวิเคราะห์เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกต์โรมิเตอร์ (XRD).....	18
3.2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	19
3.2.4 เครื่องวิเคราะห์ความหนืด (Viscometer)	20
3.2.5 เครื่องวิเคราะห์การซึมผ่าน (Filter press)	21
3.2.6 เครื่องวิเคราะห์ความหนาแน่น (Mud balance).....	22
3.2.7 เครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH meter).....	22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.8	เครื่องวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง (Solid content).....	23
3.2.9	เครื่องวิเคราะห์ปริมาณทราย (Sand content)	24
3.2.10	เครื่องวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity meter).....	24
บทที่ 4 การวิเคราะห์และผลการทดลอง		
4.1	ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์	26
4.1.1	ผลการวิเคราะห์ก่อนการผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ	26
4.1.2	ผลการวิเคราะห์หลังการผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ	29
4.2	ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกโตรมิเตอร์	36
4.2.1	ผลการวิเคราะห์ก่อนและหลังการผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ	36
4.3	ผลการวิเคราะห์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	40
4.3.1	ผลการวิเคราะห์ก่อนการผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ	40
4.3.2	ผลการวิเคราะห์หลังการผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ	44
4.4	ผลการวิเคราะห์จากเครื่องมือปฏิบัติการการขุดเจาะ	49
4.4.1	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านวิทยากระแสน้ำของน้ำโคลนขุดเจาะ	49
4.4.2	ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของน้ำโคลนขุดเจาะ	92
4.4.3	ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของน้ำโคลนขุดเจาะ	110
4.4.4	ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนขุดเจาะ.....	113
4.4.5	ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งของน้ำโคลนขุดเจาะ.....	119
4.4.6	ผลการวิเคราะห์ปริมาณทรายของน้ำโคลนขุดเจาะ	123
4.4.7	ผลการวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้าของน้ำโคลนขุดเจาะ.....	127
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ		
5.1	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ผลของอุณหภูมิ และสัดส่วนของน้ำโคลนขุดเจาะ.....	132
5.2	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ผลของอุณหภูมิ และสัดส่วนของน้ำโคลนขุดเจาะ.....	133
5.3	การวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์	136
5.4	ข้อเสนอแนะ	137

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม	138
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการทดลองและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี	140
ก.1 ผลจากเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกโตรมิเตอร์	140
ภาคผนวก ข ผลการทดลองและวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ	161
ข.1 ผลจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืด	161
ข.2 ผลจากเครื่องวิเคราะห์การซึมผ่าน	203
ข.3 ผลจากเครื่องวิเคราะห์ความหนาแน่น	215
ข.4 ผลจากเครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง	219
ข.5 ผลจากเครื่องปริมาณของแข็งและทราย	228
ประวัตินักวิจัย	229

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของชนิดน้ำโคลนต่างๆ	9
ตารางที่ 2.2 หน้าที่และคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำโคลนที่ใช้สำหรับขุดเจาะน้ำมัน	11
ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยของถ่านหินแต่ละชนิด	13
ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณร้อยละธาตุองค์ประกอบที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ ในตัวอย่างก่อนการผสม	27
ตารางที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบหลังการผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ	30
ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณร้อยละธาตุองค์ประกอบที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ ในตัวอย่างหลังการผสม	34
ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณร้อยละแร่องค์ประกอบในตัวอย่างก่อนการผสม	37
ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณร้อยละแร่องค์ประกอบในตัวอย่างหลังการผสม	39
ตารางที่ 4.6 ผลของความเค้นเนื่องกับอัตราเฉือนของน้ำโคลนขุดเจาะ	50
ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ด้านวิทยากระแสของน้ำโคลนขุดเจาะผสมสารตัวเติม	67
ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติและราคาของน้ำโคลนขุดเจาะ	136

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.1	เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วย X-ray Fluorescence Horiba (ED)	17
รูปที่ 3.2	เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยวิธีการหักเหแสง Bruker (D2 Phaser)	18
รูปที่ 3.3	เครื่องวิเคราะห์ขนาด รูปร่าง และการกระจายตัว JEOL (JSM-6010LV)	19
รูปที่ 3.4	เครื่องวิเคราะห์ความหนืด จุดคราก และ gel strength fann (35SA 115-Volt)	20
รูปที่ 3.5	เครื่องวิเคราะห์การซึมผ่าน fann (SERIES 300)	21
รูปที่ 3.6	เครื่องวิเคราะห์ความหนาแน่น	22
รูปที่ 3.7	เครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง OAKTON (pH 700).....	22
รูปที่ 3.8	เครื่องวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง fann (MODEL 50 ml)	23
รูปที่ 3.9	เครื่องวิเคราะห์ปริมาณทราย fann.....	24
รูปที่ 3.10	เครื่องวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้า fann (88C)	24
รูปที่ 4.1	ภาพแสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบเฉลี่ยในตัวอย่างก่อนการผสม	28
รูปที่ 4.2	ภาพแสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบเฉลี่ยในตัวอย่างหลังการผสม	35
รูปที่ 4.3	ภาพแสดงปริมาณแร่องค์ประกอบในตัวอย่างก่อนการผสม	38
รูปที่ 4.4	ภาพแสดงปริมาณร้อยละแร่องค์ประกอบในตัวอย่างหลังการผสม	41
รูปที่ 4.5	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของแบไรต์ก่อนการผสม (ก)-(ข) แสดงถึงขนาดของแบไรต์และการกระจายตัว (ค)-(ง) แสดงลักษณะพื้นผิว ของแบไรต์ที่เป็นเหลี่ยมและเศษชิ้นที่เรียวยาวแหลม	41
รูปที่ 4.6	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของเบนโทไนต์ก่อนการผสม (ก)-(ข) แสดงถึงขนาดของเบนโทไนต์และการกระจายตัว (ค)-(ง) แสดงลักษณะ พื้นผิวของเบนโทไนต์ที่เป็นเหลี่ยมมล.....	41
รูปที่ 4.7	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของถ้ำลอยลิกไนต์ก่อนการผสม (ก)-(ข) ขนาดของถ้ำลอยลิกไนต์ (ค) การกระจายตัวเม็ดละเอียด ส่วนใหญ่จะ กระจายตัวแยกจากกัน และบางส่วนเกาะอยู่รอบๆเม็ดหยาบ (ง) ลักษณะพื้น ผิวของถ้ำลอยลิกไนต์ที่เป็นทรงกลม ขรุขระและเรียบ	41
รูปที่ 4.8	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของโดโลไมต์ก่อนการผสม (ก) ขนาดของโดโลไมต์และการกระจายตัว (ข) ลักษณะพื้นผิวของโดโลไมต์ เป็นเหลี่ยมและมีการเรียงตัวเป็นชั้นของผลึก.....	42

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.9	เครื่องแสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของเก้าเกลบก่อนการผสม (ก) ขนาดของเก้าเกลบ (ข)-(ค) ลักษณะพื้นผิวของเก้าเกลบเรียวยาวและมีรู พรูณขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่ว	42
รูปที่ 4.10	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของปูนขาวก่อนการผสม (ก)-(ข) ขนาดของปูนขาวและการกระจายตัว (ค) ลักษณะพื้นผิวของปูนขาว เป็นเม็ดเล็กๆเกาะกันแน่นหนา	43
รูปที่ 4.11	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของแป้งมันก่อนการผสม (ก)-(ข) ขนาดของแป้งมัน (ค) ลักษณะพื้นผิวของแป้งมันเป็นทรงกลม ผิวเรียบเนียน จับตัวกันเป็นกระจุก.....	43
รูปที่ 4.12	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 1 (Base) หลังการ ผสม (ก)-(ข) ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ	44
รูปที่ 4.13	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 3 หลังการผสม (ก)-(ข) ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบเช่นเดียวกัน กับตัวอย่างที่ 1	45
รูปที่ 4.14	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 4 หลังการผสม (ก)-(ข) ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ โดยส่วน ประกอบอื่นๆ จะมันเกาะตัวกันอยู่บนเกล็ดลอย ที่มีลักษณะเป็นทางกลม.....	45
รูปที่ 4.15	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 14 หลังการผสม (ก)-(ข) ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ เช่นเดียวกันกับ ตัวอย่างที่ 1.....	45
รูปที่ 4.16	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 16 หลังการผสม (ก)-(ข) ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบเช่นเดียวกันกับ ตัวอย่างที่ 1.....	46
รูปที่ 4.17	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 20 หลังการผสม (ก)-(ข) ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ เช่นเดียวกันกับ ตัวอย่างที่ 1.....	46

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.18	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 24 หลังการผสม (ก)-(ข) ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ มีการกระจายตัวของกระดูกแข็งมันรวม กับส่วนประกอบอื่นๆ โดยยังเห็นเป็นลักษณะทรงกลมของกลุ่มแข็งมัน	46
รูปที่ 4.19	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 54 หลังการผสม (ก)-(ข) ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ มีการกระจายตัวของกลุ่มส่วนประกอบต่างๆ ที่จับตัวกัน โดยยังเห็นเป็นลักษณะทรงกลมของเถ้าลอย	47
รูปที่ 4.20	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 64 หลังการผสม (ก)-(ข) ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ มีการกระจายตัวของกลุ่มส่วนประกอบต่างๆ ที่จับตัวกัน โดยจะเห็นเป็นลักษณะเศษชิ้นที่เหลื่อมคม	47
รูปที่ 4.21	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 67 หลังการผสม (ก)-(ข) ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ มีการกระจายตัวของกลุ่มส่วนประกอบต่างๆ ที่จับตัวกัน โดยจะเห็นเป็นลักษณะเศษชิ้นที่เหลื่อมมกล	48
รูปที่ 4.22	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 84 หลังการผสม (ก)-(ข) ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ แต่มีการหลอมของส่วนประกอบเข้าด้วยกัน	48
รูปที่ 4.23	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลน ที่เบนโทไนต์ 60 กรัม	50
รูปที่ 4.24	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลน ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C	51
รูปที่ 4.25	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 30°C	52
รูปที่ 4.26	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 60°C	52
รูปที่ 4.27	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 90°C	53
รูปที่ 4.28	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนผสมโคโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 30°C	53
รูปที่ 4.29	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนผสมเถ้าแกลบ ที่อุณหภูมิ 30°C	54
รูปที่ 4.30	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนผสมปูนขาว ที่อุณหภูมิ 30°C	54
รูปที่ 4.31	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนผสมแป้งมัน ที่อุณหภูมิ 30°C	55
รูปที่ 4.32	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมโคโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 30°C	55
รูปที่ 4.33	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมโคโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 60°C	56
รูปที่ 4.34	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมเถ้าแกลบ ที่อุณหภูมิ 30°C	56
รูปที่ 4.35	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมเถ้าแกลบ ที่อุณหภูมิ 60°C	57
รูปที่ 4.36	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมปูนขาว ที่อุณหภูมิ 30°C	57

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.65	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมปูนขาว ที่อุณหภูมิ 60°C	99
รูปที่ 4.66	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมัน ที่อุณหภูมิ 30°C	99
รูปที่ 4.67	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมัน ที่อุณหภูมิ 60°C	100
รูปที่ 4.68	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมโคโลไมด์ ที่อุณหภูมิ 30°C	100
รูปที่ 4.69	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมโคโลไมด์ ที่อุณหภูมิ 60°C	101
รูปที่ 4.70	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมโคโลไมด์ ที่อุณหภูมิ 90°C	101
รูปที่ 4.71	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมเถ้าแกลบ ที่อุณหภูมิ 30°C	102
รูปที่ 4.72	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมเถ้าแกลบ ที่อุณหภูมิ 60°C	102
รูปที่ 4.73	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมเถ้าแกลบ ที่อุณหภูมิ 90°C	103
รูปที่ 4.74	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาว ที่อุณหภูมิ 30°C	103
รูปที่ 4.75	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาว ที่อุณหภูมิ 60°C	104
รูปที่ 4.76	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาว ที่อุณหภูมิ 90°C	104
รูปที่ 4.77	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมัน ที่อุณหภูมิ 30°C	105
รูปที่ 4.78	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมัน ที่อุณหภูมิ 60°C	105
รูปที่ 4.79	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมัน ที่อุณหภูมิ 90°C	106
รูปที่ 4.80	ความหนาแผ่นโคลน (Mudcake) ของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C	107
รูปที่ 4.81	ความหนาแผ่นโคลน (Mudcake) ของน้ำโคลนผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30°C	107
รูปที่ 4.82	ความหนาแผ่นโคลน (Mudcake) ของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30 และ 60°C	108
รูปที่ 4.83	ความหนาแผ่นโคลน (Mudcake) ของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30, 60 และ 90°C	109
รูปที่ 4.84	ค่าความหนาแน่นของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C	110
รูปที่ 4.85	ค่าความหนาแน่นของน้ำโคลนผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30°C	111
รูปที่ 4.86	ค่าความหนาแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30 และ 60°C ...	112
รูปที่ 4.87	ค่าความหนาแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C	113
รูปที่ 4.88	ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 30, 60 และ 90°C	114

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.89 ค่าความเป็นกรด-ด่าง Mud filtrate ของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C	114
รูปที่ 4.90 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30°C.....	115
รูปที่ 4.91 ค่าความเป็นกรด-ด่าง Mud filtrate ของน้ำโคลนผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30°C	115
รูปที่ 4.92 ค่าความเป็นกรด-ด่างของ Mud filtrate และน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารเติมแต่ง ที่อุณหภูมิ 30 และ 60°C	116
รูปที่ 4.93 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารเติมแต่ง ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C	117
รูปที่ 4.94 ค่าความเป็นกรด-ด่าง Mud filtrate ของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารเติมแต่ง ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C	118
รูปที่ 4.95 ค่าปริมาณของแข็งของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C.....	119
รูปที่ 4.96 ค่าปริมาณของแข็งของน้ำโคลนผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30°C.....	120
รูปที่ 4.97 ค่าปริมาณของแข็งของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30 และ 60°C	121
รูปที่ 4.98 ค่าปริมาณของแข็งของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C	122
รูปที่ 4.99 ค่าปริมาณของทรายของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C.....	123
รูปที่ 4.100 ค่าปริมาณของทรายของน้ำโคลนผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30°C.....	124
รูปที่ 4.101 ค่าปริมาณของทรายของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30 และ 60°C	125
รูปที่ 4.102 ค่าปริมาณของทรายของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C	126
รูปที่ 4.103 ค่าความต้านทานของน้ำโคลน ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C	127
รูปที่ 4.104 ค่าความต้านทานของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C	128
รูปที่ 4.105 ค่าความต้านทาน Mud filtrate ของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C	128

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.106 ค่าความต้านทานของ Mud filtrate และน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารเติมแต่ง ที่อุณหภูมิ 30 และ 60°C	129
รูปที่ 4.107 ค่าความต้านทานของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C	130
รูปที่ 4.108 ค่าความต้านทาน Mud filtrate ของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C.....	131

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันสถานการณ์การใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และขั้นตอนการสำรวจและผลิตปิโตรเลียมมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ทำให้มีแนวคิดในการลดต้นทุนและช่วยลดมลพิษสิ่งแวดล้อม ในขั้นตอนการขุดเจาะปิโตรเลียม โดยในส่วนของการใช้น้ำเป็นส่วนผสมหลักของของไหล (Water base mud) นั้นมักเกิดปัญหาขณะขุดเจาะที่พบมากที่สุด ได้แก่ การสูญเสียน้ำโคลน (Lost circulation) เข้าไปในชั้นหินในระหว่างการขุดเจาะน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ การเกิดผนังหลุมพัง การซึมผ่านชั้นหินของน้ำโคลนมากเกินไป การไม่นำพาเศษชั้นหินขึ้นมาปากหลุม เป็นต้น ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาและมีผลกระทบต่อการขุดเจาะ ดังนั้นจึงมีการแก้ไขปัญหาที่ระบบน้ำโคลนตัวอย่างเช่น การเพิ่มความเข้มข้นของ เบนโทไนต์ โพลิเมอร์ หรือสารตัวเติมอื่นๆ เช่น จีเลื้อย เถ้าแกลบ ปูนขาว เพื่อลดปัญหาการสูญเสียน้ำโคลน การเติมสารตัวเติมในน้ำโคลน (Mud additives) เป็นการเพิ่มคุณสมบัติของน้ำโคลนตามวัตถุประสงค์การใช้งานการขุดเจาะ ซึ่งจะใช้วิธีการเติมสารบางชนิดลงไปผสมกับน้ำโคลนที่มีส่วนผสมหลักของแร่ดินเหนียว ได้แก่ แบไรต์ เบนโทไนต์ และน้ำ จากส่วนประกอบหลักในน้ำโคลนที่มีดินเหนียวเป็นส่วนประกอบหลัก โดยเฉพาะเบนโทไนต์ ส่งผลทำให้การสำรวจและผลิตปิโตรเลียมเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงมีการนำเข้าเบนโทไนต์จากต่างประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา จีน เป็นต้น สารตัวเติมเกรดทางการค้าเหล่านี้มีราคาค่อนข้างแพงและต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ดังนั้นในการเติมสารตัวเติมในน้ำโคลนไม่ได้มีเพียงเพื่อลดปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการขุดเจาะอย่างเดียวเท่านั้น แต่การลดต้นทุนการผลิตก็ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ควรคำนึงถึง จึงทำให้มีหลายงานวิจัยให้ความสนใจในการหาวัสดุต่างๆ เพื่อมาทดแทนสารตัวเติมเกรดการค้าในอุตสาหกรรมขุดเจาะน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ มีการนำวัสดุราคาถูกหรือเป็นวัสดุเหลือใช้สามารถหาได้ง่ายในชุมชน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น จีเลื้อย แกลบ ฟางข้าว ขางพารา (Riyapan, 2011) ชงข้าวโพดบด ลิกไนต์ เถ้าแกลบ เป็นต้น นำมาเป็นสารตัวเติมในน้ำโคลนเพื่อลดปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะปิโตรเลียม เถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งเป็นวัสดุพลอยได้ (By-product) จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอมะแมะ จังหวัดลำปาง ซึ่งเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์มี 2 ประเภท คือ เถ้าลอย (Fly ash) และเถ้าหนัก

(Bottom ash) โดยส่วนใหญ่เถ้าลอยถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมซีเมนต์ก่อสร้าง และวัสดุศาสตร์ เพราะมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน ซึ่งสามารถใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ได้ เนื่องจากเถ้าหนักเป็นวัสดุที่นำมาใช้ประโยชน์ได้น้อยเมื่อเทียบกับเถ้าลอย ส่วนเถ้าหนักถูกนำมาใช้ในการผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์ทดแทนหินฝุ่น และการบดอัดเสริมความแข็งแรงของถนน (กรมควบคุมมลพิษ, 2012) ซึ่งการใช้ประโยชน์ของเถ้าลอยและเถ้าหนักใน อุตสาหกรรมต่างๆ ยังไม่กว้างขวาง ส่งผลให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บและกำจัดเถ้าลิกไนต์เหล่านี้ค่อนข้างสูง ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำเถ้าลอยที่เหลือทิ้งมาดัดแปลงเพื่อใช้เป็นส่วนผสมของน้ำโคลนขุดเจาะ โดยการจะนำเถ้าลอยมาใช้งานนั้นจำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติเบื้องต้นของเถ้าลอย ซึ่งโดยทั่วไปคุณสมบัติของเถ้าลอยมีค่าใกล้เคียงกับเถ้าหนัก คือมีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นกลุ่มแร่ออกไซด์ ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) เพอร์ออกไซด์ (Fe_2O_3) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) และซัลเฟต (SO_3) เป็นต้น ในส่วนเถ้าลอยประกอบด้วย สารที่ละเอียดมีลักษณะคล้ายแก้ว เป็นวัสดุค่อนข้างแข็ง มีน้ำหนักเบา มีส่วนประกอบของอะลูมินา ส่วนเถ้าหนักมีน้ำหนักมากกว่าเถ้าลอยทำให้ตกลงมาอนที่ก้นเตาเผา ซึ่งเถ้าหนักจะถูกเก็บและรวบรวมในไซโล (Silo) เพื่อนำไปกำจัดต่อไป จากคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีเบื้องต้นของเถ้าลอย มีความเหมาะสมที่จะเป็นสารตัวเติมในน้ำโคลนได้ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถนำเอาเถ้าลอยเหล่านี้มาทดแทนสารตัวเติมเกรดทางการค้าที่ราคาแพงเป็นการช่วยลดต้นทุนในอุตสาหกรรมการขุดเจาะ ลดมลภาวะจากการจัดเก็บและทิ้งเถ้าลิกไนต์ของโรงไฟฟ้า และสามารถพัฒนาองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาคุณสมบัติของน้ำโคลนที่ผสมเถ้าลิกไนต์ในครั้งนี้ สามารถสร้างผลิตภัณฑ์สารตัวเติมในน้ำโคลนเพื่อการค้าต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำโคลนผสมเถ้าลอยลิกไนต์ และสารตัวเติม

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำโคลนผสมเถ้าลอยลิกไนต์ และสารตัวเติม

1.2.3 เพื่อหาสัดส่วนของเถ้าลอย และสารเติมแต่งที่สามารถใช้เป็นสารตัวเติมในการผสมน้ำโคลน ทดแทนสารเคมีบางชนิดที่ราคาแพง

1.2.4 เพื่อพัฒนาการใช้เถ้าลอยในอุตสาหกรรมการขุดเจาะปิโตรเลียมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ลดต้นทุนการผลิต

1.2.5 เพื่อลดปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ที่เป็นขยะมลพิษจากโรงผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทย

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ศึกษาและประมวลข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงเกี่ยวกับการคุณสมบัติของน้ำโคลน เถ้าลอยลิกไนต์ และสารตัวเติม และการทดสอบทางเคมีและทางกายภาพของน้ำโคลนทั้งก่อนและหลังทำการผสม

1.3.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิและสัดส่วนของน้ำโคลนผสมเถ้าลอยลิกไนต์ และสารเติมแต่ง

1.3.3 ในการทดสอบจะนำตัวอย่างเถ้าลอยลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

1.3.4 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ ดำเนินการในห้องปฏิบัติการทดลอง

1.3.5 สารต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ แบไรต์ (Barite) เบนโทไนต์ (Bentonite) เถ้าลอยลิกไนต์ (Fly ash) โดโลไมต์ (Dolomite) เถ้าแกลบ (Rice husk ash) ปูนขาว (Lime) แป้ง (Starch) และน้ำกลั่น (Distilled water)

1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

การขุดเจาะสำรวจปิโตรเลียมหรือน้ำมันบาดาลโดยปกติจะใช้วิธีการเจาะแบบหมุน ซึ่งน้ำโคลนที่ใช้ในการขุดเจาะมีคุณสมบัติดังนี้ คือ ช่วยพาเศษชิ้นหินและดินขึ้นจากหลุมเจาะ ลดความเสียหายของผนังหลุมและชั้นหิน ควบคุมแรงดันกั้นหลุมและชั้นหิน ช่วยแยกของไหลออกจากชั้นหิน ระบายความร้อนและหล่อลื่นให้กับอุปกรณ์ขุดเจาะ ช่วยในการรับน้ำหนักของอุปกรณ์ขุดเจาะ เพิ่มอัตราการเจาะ และควบคุมการกัดกร่อนของโลหะ เป็นต้น ปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะขุดเจาะที่พบมากที่สุด คือ การสูญเสียของน้ำโคลน (Lost circulation) เข้าไปในชั้นหินในระหว่างการขุดเจาะน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตลอดเวลาและมีผลกระทบต่อการขุดเจาะ จึงมีการแก้ไขปัญหาที่ระบบน้ำโคลนการเพิ่มความเข้มข้นของ เบนโทไนต์ โพลีเมอร์ หรือสารตัวเติมอื่นๆ เช่น จีเลื้อย จีเถ้า การเติมสารเติมแต่งในน้ำโคลน (Mud additives) เป็นการเพิ่มคุณสมบัติของน้ำโคลนตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ซึ่งจะใช้วิธีการเติมสารบางชนิดลงไปผสมกับน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของแร่ดินเหนียว ได้แก่ แบไรต์ เบนโทไนต์ และน้ำ ซึ่งการเพิ่มสารตัวเติมแต่ละชนิดจะเติมตามคุณสมบัติ

ตามที่ต้องการตามชนิดที่สารนั้นๆ ได้แก่ สารเพิ่มน้ำหนักของวัสดุ (Weight materials) ได้แก่ แบไรต์ (Barite) แคลเซียมคลอไรด์ เหล็กออกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนต และสารประกอบเหล็ก (Lead compounds) เป็นต้น สารช่วยลดการสูญเสียน้ำโคลน (Lost circulation materials) ได้แก่ เส้นใย (Fibrous) ขี้เลื่อย (Sawdust) แกลบ (Rice Husk) ไมกา (Mica) ไดอะโตแมคัส เอิร์ธ (Diatomaceous earth) เป็นต้น สารช่วยลดการซึมผ่านของน้ำโคลน (Filtration reducers) ได้แก่ คาร์บอกซิเมทิล เซลลูโลสหรือซีเอ็มซี (Carboxymethyl cellulose, CMC) ลิกไนต์ (Lignite) เบนโทไนต์ (Bentonite) และ โพลีไอออนิก เซลลูโลส (Polyanionic cellulose) เป็นต้น สารช่วยเพิ่มความเป็นด่าง (Alkalinity) และการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH control) ได้แก่ โซดาไฟ (Caustic soda) ปูนขาว (Lime) แบคกิง โซดา (Soda Bicarbonate) ฟอสเฟต (Phosphates) และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide or Caustic potash) เป็นต้น ซึ่งแต่ละยี่ห้อคุณสมบัติในการเพิ่มน้ำหนัก การช่วยลดการสูญเสียน้ำโคลนให้แก่ชั้นหิน คล้ายกับแบไรต์และซีเมนต์ และยังเป็นตัวช่วยในการควบคุมความเป็นกรด-ด่างในน้ำโคลน คล้ายคลึงกับโซดาไฟหรือปูนขาว (Lime) และแบคกิงโซดา

ถ่านหินเป็นแหล่งพลังงานอันดับสองในโลก รองมาจากปิโตรเลียม และมีปริมาณสำรองมากที่สุดเมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานรูปอื่น ถ่านหินเป็นสารประกอบคาร์บอนที่มีแร่อื่นๆ เป็นส่วนประกอบหลายชนิดเช่น มีกำมะถันร้อยละ 1 ถึง 3 และมีขี้เถ้า (Ash) ร้อยละ 10 ถึง 40 ในประเทศไทยโรงไฟฟ้าพลังความร้อนแม่เมาะ ใช้ถ่านหินลิกไนต์ประมาณวันละ 40,000 ตัน ซึ่งก่อให้เกิดขี้เถ้าเป็นปริมาณ 10,000 ตันต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2012) ซึ่งเถ้าในถ่านหินเป็นกากที่เหลือจากการเผาไหม้ (Non-combustion residue) ขี้เถ้าเหล่านี้ได้มาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์วัตถุ ส่วนใหญ่เกิดจากปริมาณของสารอนินทรีย์วัตถุมากกว่าสารอินทรีย์วัตถุ เถ้าถ่านหินแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือเถ้าลอย (Fly Ash) เป็นเถ้าที่เบาลอยฟุ้งกระจายในอากาศได้ มีปริมาณร้อยละ 80 และเถ้าหนัก (Bottom Ash) คือฝุ่นขี้เถ้าหนักซึ่งหนักกว่าเถ้าลอย เป็นกากตกค้างจากการเผาไหม้ที่เหลืออยู่ในถังดับเก็บ มีปริมาณร้อยละ 20 (Witayakul and Nokkaew, 1996) ปัจจุบันนี้มีการศึกษาและพัฒนานำเอาเถ้าจากถ่านหินลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น การนำเถ้าลอยมาเป็นส่วนผสมคอนกรีต อุตสาหกรรมซีเมนต์ อิฐมวลเบา เมื่อเถ้าลอยสัมผัสกับน้ำภายใต้อุณหภูมิปกติ จะเกิดปฏิกิริยาทำให้คุณสมบัติเชื่อมประสาน (Cementitious) ได้อย่างดี จึงมีแนวคิดที่จะใช้เถ้าลอยในอุตสาหกรรมซีเมนต์ มีการใช้เถ้าลอยมาเสริมแรงในยาง (วีรยา วรคันธ์ และคณะ, 2553) ใช้เถ้าลอยในการบดอัดสร้างเขื่อนปากมูลและเขื่อน

คลองขุนด่าน และใช้เป็นวัสดุหน้าหนักเบาอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าจากเถ้าลอยส่วนการนำเถ้าหนักมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ การนำมาผสมในแอลฟัลต์คอนกรีตทดแทนการใช้หินฝุ่น หรือการนำมาบดอัดถนนแทนวัสดุรองพื้นที่ราคาแพง เป็นต้น จะเห็นได้ว่าทั้งเถ้าลอยและเถ้าหนักซึ่งเป็นวัสดุพลอยได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ มีการนำมาใช้ประโยชน์มากทางด้านวิศวกรรมการก่อสร้างและวัสดุศาสตร์ หรือทางด้านการเกษตร มีการนำเถ้าลอยมาใช้ในการปรับปรุงสภาพดินเพื่อการเพาะปลูกโดยเฉพาะพื้นที่ดินเปรี้ยว (Acidified soils) ส่วนการศึกษาคุณสมบัติของเถ้าลอยเพื่อการนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการขุดเจาะปิโตรเลียม ยังมีงานวิจัยในด้านนี้น้อยมาก ทั้งนี้เถ้าลอยเป็นวัสดุที่มีอยู่ในประเทศและราคาไม่แพง อีกทั้งยังช่วยลดมลภาวะจากวัสดุเหลือใช้อีกด้วย

1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

การวิจัยแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การค้นคว้าและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ค้นคว้าและศึกษาวารสาร รายงาน และสิ่งตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์และน้ำโคลนที่ผสมสารตัวเติมชนิดอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเถ้าลอยรวมถึงการนำเถ้าลอยไปใช้ประโยชน์อุตสาหกรรมอื่นๆ เพื่อที่จะได้ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิจัย

ขั้นตอนที่ 2 การเก็บและจัดเตรียมตัวอย่างเถ้าลอยลิกไนต์

เตรียมตัวอย่างเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยนำตัวอย่างเถ้าลอยมาทำการบดด้วยเครื่องบด (Grinding Machine) และทำการคัดแยกขนาดด้วยเครื่องตระแกรงร่อน (Sieve machine) เพื่อให้ได้เถ้าลอยขนาดเล็กกว่า 200 เมช ซึ่งตัวอย่างเถ้าลอยจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยส่วนหนึ่งนำไปทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและอีกส่วนนำไปผสมน้ำโคลนเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ แบไรต์ เบนโทไนต์ น้ำโคลน และน้ำโคลนผสมเถ้าลอยลิกไนต์ และสารตัวเติม

ทำการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้เครื่องมือวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter) ชนิดและส่วนประกอบของแร่ โดยใช้เครื่องมือเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction Spectrometer, XRD) หาปริมาณธาตุหลักและธาตุรอง โดยใช้เครื่องมือการเรืองแสงรังสี

เอ็กซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF) และตรวจสอบโครงสร้างของแร่ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน (Scanning Electron Microscope, SEM) ในการทดสอบจะทำการทดสอบทั้ง แก๊สลอยลิกไนต์ แบไรต์ เบนโทไนต์ น้ำโคลน และน้ำโคลนผสมแก๊สลอยลิกไนต์ และสารตัวเติม ซึ่งการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่างเหล่านี้ จะทำการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมปิโตรเลียม และห้องปฏิบัติการเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำโคลน และน้ำโคลนผสมแก๊สลอยลิกไนต์ และสารเติมแต่ง ได้แก่ ความหนาแน่น (Density) ความหนืด (Viscosity) การซึมผ่านของชั้นหิน (Filtration) ความต้านทาน (Resistivity) ปริมาณทราย (Sand Content) และปริมาณของแข็ง (Solid Content) ตามมาตรฐานของ API RP 13B, 1976 โดยทำการทดสอบช่วงอุณหภูมิ 30, 60 และ 90 องศาเซลเซียส น้ำโคลนประกอบด้วย น้ำ 1,000 กรัม แบไรต์ 100 กรัม และเบนโทไนต์ 60 กรัม ผสมแก๊สลอยลิกไนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 1, 3 และ 5 เมื่อได้อัตราส่วนน้ำโคลนผสมแก๊สลอยลิกไนต์ที่เหมาะสมนำมาใช้เป็นน้ำโคลนตัวใหม่ผสมกับสารตัวเติม ได้แก่ โคลโลอิด แกลบ ปูนขาว และแป้งที่อัตราส่วนร้อยละ 1 3 และ 5 ทำการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมปิโตรเลียม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลและนำผลการทดสอบทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีมาทำการวิเคราะห์ผล

ขั้นตอนที่ 6 สรุปผลการทดลอง

รวบรวมข้อมูลทั้งหมดเพื่อเขียนสรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่มรายงาน

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ค้นคว้าและศึกษาวารสาร รายงาน และสิ่งตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพน้ำโคลนขุดเจาะผสมเถ้าลอยลิกไนต์ และสารตัวเติม รวมถึงการวิเคราะห์ธาตุและแร่องค์ประกอบเถ้าลอยลิกไนต์ด้วยเครื่องมือชนิดต่างๆสามารถสรุปได้ดังนี้

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2555) ได้สรุปการใช้ประโยชน์ของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ซึ่งสามารถผลิตเถ้าลอยปริมาณมากที่สุดในประเทศ ประมาณ 1.8 ถึง 2 ล้านตัน ที่เป็นเถ้าลอยมีคุณภาพดี และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมซีเมนต์และคอนกรีต ซึ่งคุณภาพในการนำเถ้าลอยไปใช้ในงานคอนกรีต เพื่อเพิ่มความสามารถในการเท (Workability) เพิ่มความสามารถรับแรงอัดให้สูงขึ้น เพิ่มความคงทนของคอนกรีตต่อสภาวะสิ่งแวดล้อม (Sulfate resistance) ลดการหดตัวและขยายตัว ลดการเยิ้มระเหย (Bleeding) ลดการแยกของส่วนผสมคอนกรีต ลักษณะทางกายภาพของเถ้าลอย ประกอบด้วย มีรูปร่างเป็นเศษทรงกลมและลักษณะเป็นแป้งฝุ่นสีเทาถึงเทาน้ำตาล ค่าความหนาแน่น (Density) เท่ากับ 600 ถึง 1500 มีค่าความชื้นประมาณไม่เกินร้อยละ 3 ค่าความถ่วงจำเพาะ 2.0 ถึง 2.65 ลักษณะทางเคมีของเถ้าลอย ประกอบด้วยร้อยละ 50 ของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) เฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ไม่เกินร้อยละ 5 ของแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ไม่เกินร้อยละ 5 ของกำมะถันเฟอร์โตรอกไซด์ (SO_3) และ ร้อยละ 6 ของค่าสูญเสียขณะเผาไหม้ (Loss on lignite, LOI)

เอก ลิ้มปัสวัสดิ์ (2553) ได้สรุปคุณสมบัติของน้ำโคลนและสารตัวเติมเพื่อลดปัญหาการขุดเจาะ โดยการเติมสารตัวเติม (Mud additives) เป็นการเพิ่มคุณสมบัติของน้ำโคลนตามวัตถุประสงค์การใช้งานเบนโทไนต์ และน้ำ ซึ่งจะใช้วิธีการเติมสารบางชนิดลงไปผสมกับน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของแร่อินทรีย์ ได้แก่ แบไรต์ เบนโทไนต์ และน้ำ การเพิ่มสารตัวเติมแต่ละชนิดจะเพิ่มคุณสมบัติตามที่ต้องการตามชนิดสารนั้นๆ กำหนดไว้ดังนี้

- สารเพิ่มน้ำหนักของวัสดุ (Weight materials) ได้แก่ แบไรต์ (Barite, BaSO_4) แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) เฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_3) แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) และสารประกอบตะกั่ว (Lead compounds) เช่น กาลีนา ลีดซัลไฟด์

- สารเพิ่มความหนืด (Viscosifiers) ได้แก่ เบนโทไนต์ (Bentonite) โพลีไออนิก เซลลูโลส (Polyanionic cellulose) โพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) โซเดียมคาร์บอกซิเมทิล เซลลูโลส (Sodium carboxymethyl cellulose) ไฮดรอกซีเอทิล เซลลูโลส (Hydroxyethyl cellulose)
- สารเพิ่มความเป็นด่าง (Alkalinity) และการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH control) ได้แก่ โซดาไฟ (Caustic soda) ปูนขาว (Lime, calcium hydroxide) เบกกิ้ง โซดา (Soda bicarbonate) ฟอสเฟต (Phosphates) และโปแตสเซียม ไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide or caustic potash)
- สารเพิ่ม Thinners และ Dispersants ได้แก่ เทนิน (Tannins) ลิกไนต์ (lignite) และโครม ลิกโซลโฟเนต (Chrom Ligosulfonates)
- สารลดการซึมผ่านของน้ำโคลน (Filtration reduces) ได้แก่ คาร์บอกซิเมทิล เซลลูโลส หรือ ซีเอ็มซี (Carboxymethyl cellulose, CMC) ลิกไนต์ (Lignite) เบนโทไนต์ (Bentonite) โพลีไออนิก เซลลูโลส (Polyanionic cellulose) และโครม ลิกโซลโฟเนต (Chrom Ligosulfonates)
- สารลดการสูญเสียโคลน (Lost circulation materials) ได้แก่ เส้นใย (Fibrous) ขี้เลื่อย (Sawdust) แกลบ (Rice husk) ไมกา (Mica) และไดอะตอมแมคคัส เอิร์ธ (Diatomaceous earth)
- สารลดการกัดกร่อน (Corrosion inhibitors) ได้แก่ ซิงค์คาร์บอเนต (Zinc carbonate) โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfates) และ โซดาไฟ
- Flocculants ได้แก่ โพลีอะคริลาไมน์ (Polyacrylamine) และ เบนโทไนต์ เอทเทนเดอร์ (Bentonite extenders)
- สารลดแรงตึงผิว (Surfactants) ได้แก่ ผงซักฟอก (Detergent) และ Amine และ Sulfonates
- สารลดการบวมของหินดินดาน (Shale inhibitors) ได้แก่ เกลือแกง (Sodium chloride) โพแทสเซียมลิกไนต์ (Potassium lignite) โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride) และ แอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium sulfate) เป็นต้น
- สารหล่อลื่น (Lubricants) ได้แก่ แกรไฟต์ (Graphite) และสารหล่อลื่นสังเคราะห์ (Synthetic lubricants)

SIPE (2003) ได้สรุปคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำโคลนในงานต่างๆ (ตารางที่ 1) และ สรุปหน้าที่และคุณสมบัติของน้ำโคลนสำหรับขุดเจาะน้ำมัน (ตารางที่ 2) ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของชนิดน้ำโคลนต่างๆ

ประเภทน้ำโคลน	ประโยชน์ของการใช้น้ำโคลน	คุณสมบัติทั่วไป
พรีไฮเดรต เบนโทไนต์ (Prehydrated bentonite) ผสมกับน้ำ	- เพิ่มความหนืด และลดปริมาณของแข็ง - ควบคุมการสูญเสียโคลน - แผ่นโคลน (Mud cake) มีความบางและแข็งแรง	- เติมน้ำเบนโทไนต์ 75 ถึง 100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร - ทำการไฮเดรต (hydrate) ประมาณ 8 ถึง 10 ชั่วโมง - ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 9 โดยเติมโซดาไฟ
Spud mud	- ทำความสะอาดหลุม - เพิ่มความหนืด - เพิ่มอัตราการเจาะ	- เติมน้ำเบนโทไนต์ 40 ถึง 60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในน้ำจืด - ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 9 โดยเติมโซดาไฟ - บางครั้งเติมซีเอ็มซี-เอชวี โพลีเมอร์ เพื่อเพิ่มความหนืด ± 20 - การสูญเสียของไหล ± 30 มิลลิลิตร

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของชนิดน้ำโคลนต่างๆ (ต่อ)

ประเภทน้ำโคลน	ประโยชน์ของการใช้น้ำโคลน	คุณสมบัติทั่วไป
เบนโทไนต์ (Bentonite)/ ลิกโนซัลโฟเนต (Lignosulphonate)	- เติมเบนโทไนต์ เพื่อเพิ่มจุดคราก และความแข็งแรงของเจล - เติมลิกโนซัลโฟเนต เพื่อลดการสูญเสีย น้ำโคลน และลดจุดคราก และความแข็งแรงของเจล	- ความหนาแน่นน้อยกว่า 1.2 กิโลกรัมต่อลิตร - ความหนืดพลาสติก (Plastic viscosity, PV) เท่ากับ ± 20 - จุดคราก (Yield point, YP) เท่ากับ 8 ถึง 12 - ความแข็งแรงของเจล (Gel strength) เท่ากับ 2/4 - ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 9.5 ถึง 10.5
ยิปซัม (Gypsum)/ ลิกโนซัลโฟเนต (Lignosulphonate)	- เติมยิปซัม เพื่อเจาะในชั้นดินเหนียว ป้องกันการบวมของชั้นดินดาน หรือการละลายของชั้นเกลือ - เติมลิกโนซัลโฟเนต เพื่อลดการสูญเสีย น้ำโคลน และลดจุดคราก ความแข็งแรงของเจล และความหนืด	- ความหนาแน่นน้อยกว่า 1.3 กิโลกรัมต่อลิตร - ความหนืดพลาสติกเท่ากับ ± 20 - จุดครากเท่ากับ 10 ถึง 15 - ความแข็งแรงของเจลเท่ากับ 8/12 - ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 9.5 ถึง 10.5 - แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) เท่ากับ 600 ถึง 1200 ppm
เกลือเป็นผลผสมหลักของ น้ำโคลนชุดเจาะ (Salt drilling mud)	- ใช้น้ำโคลนเจาะในชั้นเกลือ - เกลือมีคุณสมบัติเป็นพลาสติก	- เติมแป้ง (Starch) ทดแทนโพลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic polymer)

ตารางที่ 2.2 หน้าที่และคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำโคลนที่ใช้สำหรับขุดเจาะน้ำมัน

หน้าที่	คุณสมบัติสำคัญ	ผลของคุณสมบัติต่ออัตราการเจาะ	สารเคมีสำหรับควบคุมน้ำโคลน
ควบคุมความดันในชั้นหิน	ความหนาแน่น (density)	- เพิ่มความหนาแน่นของน้ำโคลน - ลดอัตราการเจาะ	- เติมน้ำ - ลดโดยการเติมน้ำ (แล้วตรวจสอบค่าความหนืด)
อุ้มเศษชั้นหิน (Cutting)	ความหนืดพลาสติก (Plastic viscosity)	- เพิ่มความหนืดของน้ำโคลน - ลดอัตราการเจาะ	- ลดโดยการเติมน้ำ (แล้วตรวจสอบค่าความหนาแน่น) หรือทินเนอร์ (Thinner)
	จุดคราก (Yield point)	- เพิ่มจุดคราก - ลดอัตราการเจาะ	- เพิ่มโดยการเติมเบนโทไนด์ หรือเอ็กซ์ซี โพลีเมอร์ (XC-polymer) - ลดการเจือจาง (dilution)
	ความแข็งแรงของเจล (Gel strength)	- เพิ่มความแข็งแรงของเจล - ลดอัตราการเจาะ	- ลดโดยการเติมทินเนอร์ (Thinner) - เพิ่มโดยการเติมน้ำ
ป้องกันและช่วยพยุงผนังหลุมเจาะโดยแผ่นโคลน (Mud cake) ซึ่งช่วยลดการปนเปื้อนของชั้นหิน	การสูญเสียของไหล (Fluid loss)	- ลดการสูญเสียของน้ำโคลน - ลดอัตราการเจาะเล็กน้อย	- ลดโดยการเติมซีเอ็มซี (CMC) หรือ แป้ง (starch) - เพิ่มโดยการเติมน้ำ
	ปริมาณของแข็ง (Solid content)	- เพิ่มปริมาณของแข็ง - ลดอัตราการเจาะ	- ลดค่าต่างๆ ถ้าเป็นไปได้ โดยการกำจัด ดินเหนียว ทราย แป้ง ทราย และ เศษหิน ที่ไม่ต้องการออกไป

มนตรี เชาสกุลสม (2555) ส่วนประกอบของเถ้าหนักและเถ้าลอยมีความใกล้เคียงกัน ดังนั้น คุณสมบัติของทั้งสองไม่แตกต่างกันมาก แต่เนื่องจากเถ้าหนักมีการนำไปใช้ประโยชน์น้อยกว่าเถ้าลอย ทำให้เรื่องยุ่งยากในการกำจัดเถ้าหนักเหล่านี้ ปัจจุบันนี้มีการศึกษาและพัฒนานำเอาเถ้าจากถ่านหินลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น การนำเถ้าลอยมาเป็นส่วนผสมคอนกรีต อุตสาหกรรมซีเมนต์ อิฐมวลเบา เมื่อเถ้าลอยสัมผัสกับน้ำภายใต้อุณหภูมิปกติ จะเกิดปฏิกิริยาเคมีทำ

ให้มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน (Cementitious) ใต้อย่างดี จึงมีแนวคิดที่จะใช้เถ้าลอยในอุตสาหกรรมซีเมนต์ มีการใช้เถ้าลอยมาเสริมแรงในยางอีกด้วย

ทิพวดี เพ็ชรโชติ และ เล็ก สีคง (2548) สมบัติโคลนเจาะ ที่ผสมผงโคลโลไมด์และเถ้าลอย เพื่อทำการปรับปรุงสูตรน้ำโคลนเจาะให้มีต้นทุนต่ำ นอกจากนี้ยังทำการศึกษาสมบัติของ โคลโลไมด์ และเถ้าลอย ที่มีผลต่อน้ำโคลนเจาะ พบว่าโคลนเจาะที่มีส่วนผสมของ แบไรต์: โคลโลไมด์: เถ้าลอย เท่ากับ 70: 5: 25, 70: 10: 20, 70: 30: 0, และ 70: 0: 30 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด เมื่อนำมาผสมกับ เบนโทไนต์ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ทำให้เป็นน้ำโคลนเจาะที่ร้อยละ 10 ของของแข็ง ค่า pH 9.6-10 และความหนาแน่น 1.12-1.16 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สูตรที่แขวนลอยดีที่สุด คือ สูตรที่มีอัตราส่วน 70: 10: 20 และ 70: 30: 0 โดยมีค่าความหนืด 68-78 cP โดยน้ำโคลนเจาะทั้ง 4 สูตรถึงเกณฑ์มาตรฐานของโคลนเจาะตาม เอพีไอ (API)

Ayers, R.U. และ Ayers, L.W. (1995) ได้สรุปการนำมาใช้ประโยชน์ของกำมะถันและเถ้าถ่านหินในแถบยุโรป เช่น มีการนำกำมะถันมารวมกับการบดผลิตแผ่นยิปซัม เถ้าลอยและเถ้าหนักถูกนำมาใช้เป็นสารตัวเติมสำหรับผลิตภัณฑ์ซีเมนต์และคอนกรีต ใช้ในการปูถนนและเสริมอัดโครงสร้างให้มีความแข็งแรง ทางด้านการเกษตรสามารถนำเถ้านี้ไปแก้ไขปัญหาเรื่องดินเปรี้ยว เป็นการปรับสภาพดินให้เหมาะแก่การเพาะปลูก นอกจากนี้ยังนำเถ้าลอยไปใช้ในอุตสาหกรรมการขุดเจาะ โดยใช้เป็นตัวเติมในน้ำโคลน ทดแทนหรือผสมกับปูนขาว (Lime) การนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการขุดเจาะมีการศึกษาน้อยมาก ส่วนประกอบเถ้าถ่านหินส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่กลุ่มออกไซด์ ได้แก่ ร้อยละ 42.36 ของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ 17.91 ของอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 19.29 ของเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 4.49 ของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 0.71 ของแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ร้อยละ 0.35 ของโซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ร้อยละ 2.31 ของกำมะถันไดออกไซด์ (SO_3) ร้อยละ 0.58 ของค่าสูญเสียขณะแห้ง (Loss on drying, LOD) และ ร้อยละ 10.39 ของค่าสูญเสียขณะเผาไหม้ (Loss of ignition, LOI) ซึ่งประโยชน์ของเถ้าถ่านหิน โดยเฉพาะเถ้าลอยที่มีส่วนประกอบของแร่อะลูมินาสูง มีศักยภาพในการนำมาใช้ประโยชน์ ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ดี

Ahmaruzzaman (2010) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของถ่านลอยจากถ่านหินชนิดต่างๆ พบว่าถ่านลอยของถ่านหินบิทูมินัส ประกอบด้วย ซิลิกา อะลูมินา เหล็กออกไซด์ และแคลเซียม ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์บอน โดยการวัดโดยวิธี Loss On Ignition (LOI) ถ่านลอยของถ่านหินลิกไนต์และซับบิทูมินัส จะมีปริมาณของแคลเซียมและแมกนีเซียมออกไซด์ และปริมาณร้อยละซิลิกาและเหล็กออกไซด์ลดลง และมีปริมาณคาร์บอนต่ำกว่าถ่านลอยของถ่านหินบิทูมินัส ส่วนถ่านลอยของถ่านหินแอนทราไซต์มีปริมาณของซิลิกาน้อย ส่วนประกอบทางเคมีของถ่านลอยของถ่านหินแต่ละชนิด สรุปได้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบทางเคมีของถ่านลอยของถ่านหินแต่ละชนิด

Component (%wt.)	Bituminous	Sub-bituminous	Lignite
SiO ₂	20-60	40-60	15-45
Al ₂ O ₃	5-35	20-30	10-25
Fe ₂ O ₃	10-40	4-10	4-15
CaO	1-12	5-30	15-40
MgO	0-5	1-6	3-10
SO ₃	0-4	0-2	0-10
Na ₂ O	0-4	0-2	0-6
K ₂ O	0-3	0-4	0-4
LOI	0-15	0-3	0-5

Johannes (2011) ได้รายงานถึงคุณสมบัติของน้ำโคลนที่มีการพัฒนาขึ้นหลังจากการเติมสารตัวเติม โดยคุณสมบัติเบนโทไนต์มีการขยายตัวได้ดีในน้ำเพื่อเปลี่ยนเป็น Thixotropic gel ซึ่งมีผลทำให้โครงสร้างของแผ่นแร่ไม่ก้ำ เนื่องจากในอุตสาหกรรมการขุดเจาะปิโตรเลียมส่วนใหญ่ใช้เบนโทไนต์ในการเพิ่มความหนืดของน้ำโคลน เบนโทไนต์ถูกพบในธรรมชาติซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบไฮเดรียมและแคลเซียม เมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติของน้ำโคลนโดยใช้เกณฑ์มาตรฐานของ API และ Turkish Institute of Standards (TSE) โดยทั่วไปน้ำโคลนควรมีค่าความหนืดปรากฏ อย่างน้อย 15 cP

Jarrett และ Clapper (2010) ได้อธิบายถึงการควบคุมการซึมผ่านของน้ำโคลนว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำโคลนขุดเจาะ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อการขุดเจาะผ่านชั้นหินที่มีช่องว่างและความสามารถในการซึมผ่านได้ของชั้นหิน จะเกิดการซึมผ่านของน้ำโคลนเข้าสู่ชั้นหิน เมื่อความดันของน้ำมากกว่าความดันในชั้นหิน ในการซึมผ่านของน้ำโคลนเข้าสู่ชั้นหิน จะมีการสร้างผนังโคลนบางๆ ทำให้การสูญเสียของไหลได้น้อยลง โดยควรมีค่าของการสูญเสียของไหลไม่ควรเกิน 15 มิลลิลิตร ตามเกณฑ์มาตรฐานของ API and Turkish Institute of Standards (TSE)

Xianghai Meng และคณะ (2012) ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติวิทยากระแสน้ำโคลนที่เติมเถ้าคาร์บอน พบว่าคุณสมบัติที่เติมเถ้าคาร์บอนมีประสิทธิภาพของวิทยากระแสน้ำโคลนเพิ่มขึ้น เช่น ความหนืด จุดคราก (yield point, YP) และยังมีผลทำให้ค่าปริมาณของแข็งของเบนโทไนต์ต่ำ แต่น้ำโคลนที่ผสมเถ้าคาร์บอนนี้ทำให้การสูญเสียของน้ำโคลนและความหนาของผนังโคลนเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเถ้าคาร์บอน

Vassilios และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาผลของการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำโคลนขุดเจาะโดยการเติมถ่านหินลิกไนต์ของประเทศกรีซ ที่ร้อยละ 3 ถึง 6.42 โดยน้ำหนัก ทดสอบที่อุณหภูมิ 177 °C โดยให้ความร้อน 16 ชั่วโมง พบว่าน้ำโคลนที่ผสมลิกไนต์ทำให้เกิดการเป็นเจล ค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น และควบคุมลักษณะของการซึมผ่านของน้ำโคลน ลิกไนต์มีประโยชน์ในการควบคุมวิทยากระแสน้ำโคลนและการสูญเสียของน้ำโคลน เนื่องจากลิกไนต์มีส่วนประกอบหลัก คือ สารฮิวมิกและฟุลวิกที่เป็นตัวควบคุมการสูญเสียของไหลในน้ำโคลน

บทที่ 3

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

วัตถุประสงค์

เนื้อหาในบทนี้อธิบายถึงขั้นตอน วิธีการ ข้อปฏิบัติ โดยมีขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง การ จัดเตรียมตัวอย่าง วิธีการบด การคัดขนาดโดยการร่อนผ่านตะแกรง การเตรียมสารที่ใช้ในการทดลอง ก่อนการเตรียมเข้าสู่การทดลองและ การใช้เครื่องมือวิเคราะห์เคมี

3.1 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

3.1.1 การเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างถั่วลยถิกไนต์ถูกเก็บจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เบนโท ไนต์และแบไรต์ได้รับการสนับสนุนจากบริษัทไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด และบริษัทเวท เฮอร์ฟอร์ดประเทศไทย จำกัด

3.1.2 สารที่ใช้ในการทดลอง

สารที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำโคลน ผสมถั่วลยถิกไนต์ และสารตัวเติม ได้แก่ แบไรต์ (Barite; BaSO_4) เบนโทไนต์ (Bentonite; $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) โดโลไมต์ (Dolomite, MgCaCO_3) ถั่วแกลบ (Rice husk ash) ปูนขาว (Lime, CaO) แป้ง (Starch) และโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride; NaCl) น้ำกลั่น (Distilled water)

3.1.3 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างการวิเคราะห์ แบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ การวิเคราะห์ทางเคมีและ ทางกายภาพ โดยแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 การวิเคราะห์ทางเคมีก่อนทำการผสมเป็นน้ำโคลน

ทำการร่อนแบไรต์ เบนโทไนต์ ถั่วลยถิกไนต์ และสารตัวเติม ผ่านตะแกรงให้มีขนาด เล็กกว่า 75 ไมโครเมตร (เบอร์ 200) และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บในโถดูดความชื้น (desiccator) ก่อนบรรจุถุงซิปล็อค เพื่อทำการวิเคราะห์

ชุดการทดลองที่ 2 การวิเคราะห์ทางเคมีหลังทำการผสมเป็นน้ำโคลน

เลือกอัตราส่วนตัวอย่างน้ำโคลนผสมเถ้ายลยลิกไนต์ และสารตัวเติม หลังทำการผสมที่ให้ค่าเหมาะสมในช่วงอุณหภูมิ 30 60 และ 90 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นทำการบดและร่อนเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1

3.1.4 การเตรียมวิเคราะห์ทางกายภาพ

ชุดการทดลองที่ 1 การผสมน้ำโคลนกับเถ้ายลยลิกไนต์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

น้ำ 1,000 กรัม แบไรต์ 100 กรัม และเบนโทไนต์ 60 กรัม ผสมเถ้ายลยลิกไนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 1, 3 และ 5 เมื่อได้อัตราส่วนน้ำโคลนผสมเถ้ายลยลิกไนต์ที่เหมาะสม นำมาใช้เป็นน้ำโคลนตัวใหม่ผสมกับสารตัวเติม ได้แก่ โคโลไมต์ เถ้าแกลบ ปูนขาว และแป้ง อัตราส่วนร้อยละ 1, 3 และ 5

1) ชั่งน้ำหนักแบไรต์ 100 กรัม เบนโทไนต์ 60 กรัม เถ้ายลยลิกไนต์ สารตัวเติม และน้ำกลั่น ตามอัตราส่วนที่กำหนด แล้วทำการผสมเป็นเวลา 15 นาที

2) หลังจากนั้น นำไปทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพ และ ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ชุดการทดลองที่ 2 การผสมน้ำโคลนกับเถ้ายลยลิกไนต์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ชั่งน้ำหนักสารเช่นเดียวกับชุดที่ 1 แล้วนำไปต้มให้ได้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้น นำไปทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพ และ ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ชุดการทดลองที่ 3 การผสมน้ำโคลนกับเถ้ายลยลิกไนต์ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

ทำเช่นเดียวกันกับชุดการทดลองที่ 2 แต่เปลี่ยนเป็นอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

3.2 เครื่องมือและการวิเคราะห์

3.2.1 เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วย เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF)



รูปที่ 3.1 เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วย X-ray Fluorescence Horiba (ED)

ตัวอย่างสารเคมีจำนวน 21 ตัวอย่าง ทั้งก่อนและหลังทำการผสมน้ำโคลนชุดเจาะ นำมาหาส่วนประกอบทางเคมี โดยตัวอย่างปริมาณ 0.5 ถึง 1 กรัมของแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาบีบอัดให้พอดีและผิวหน้าเรียบกับที่ใส่สารตัวอย่าง (holder) โดยกระบอกบาง ก่อนจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Horiba (รุ่น XGT 5200) X-ray Fluorescence Spectrometer โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์ 200 วินาทีต่อตัวอย่าง ภายใต้การใช้งานหลอดเอกซเรย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร ที่มีกระแส 1 มิลลิแอมแปร์ และกำลัง 30 กิโลวัตต์ โดยผลลัพธ์ของการวิเคราะห์จะถูกแสดงออกมาเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของแสง (intensity) กับพลังงานที่คายออกมาในหน่วยของกิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) หลังจากนั้นจะถูกนำมาวิเคราะห์โดยโปรแกรมในเครื่องเพื่อหาเป็นปริมาณสารประกอบในหน่วยร้อยละต่อไป

3.2.2 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟกโตรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)



รูปที่ 3.2 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยวิธีการหักเหแสง Bruker (D2 Phaser)

ตัวอย่างสารเคมีจำนวน 21 ตัวอย่าง ทั้งก่อนและหลังทำการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหาโครงสร้างผลึกในผงตัวอย่าง โดยตัวอย่างปริมาณ 1 ถึง 1.5 กรัมของแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาบีบอัดให้พอดีและผิวหน้าเรียบกับที่ใส่สารตัวอย่าง (holder) โดยกระชกบาง ก่อนจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bruker (D2 Phaser) X-ray Diffractometer โดยจะใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 10 นาทีต่อตัวอย่าง ภายใต้การใช้งานสภาวะดังต่อไปนี้ หลอดทองแดงขนาด 0.4x12 มิลลิเมตร ที่มีกระแส 10 มิลลิแอมแปร์ และกำลัง 30 กิโลวัตต์ มีมุมในการวิเคราะห์ (2θ) เริ่มจาก 5 ถึง 60 องศา เวลาในการเปลี่ยน 0.2 วินาที โดยมุม (2θ) จะเพิ่มทีละ 0.02 องศา โดยผลลัพธ์ของการวิเคราะห์จะถูกแสดงออกมาเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของแสง (intensity) กับองศาที่วัดเปลี่ยนแปลงไป (2θ) หลังจากนั้นจะถูกนำมาวิเคราะห์หาชนิดของผลึกโดยโปรแกรมสำเร็จในเครื่อง และทำการหาปริมาณโดยใช้โปรแกรม Topas โดยผลที่ออกมาจะแสดงในหน่วยร้อยละของปริมาณผลึกที่วัดได้

3.2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)



รูปที่ 3.3 เครื่องวิเคราะห์ขนาด รูปร่าง และการกระจายตัว JEOL (JSM-6010LV)

ตัวอย่างสารเคมีจำนวน 20 ตัวอย่าง ทั้งก่อนและหลังทำการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหา ลักษณะพื้นผิว ขนาด รูปร่าง และการกระจายตัว โดยตัวอย่างใช้ปริมาณเพียงเล็กน้อยไม่ถึง 1 กรัมแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาติดลงบนแท่งโลหะและเคลือบทองเป็นการทำให้ตัวอย่างนำไฟฟ้า จากนั้นจะนำเอาตัวอย่างเข้าเครื่อง ก่อนทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง JEOL (รุ่น JSM-6010LV) ต้องปรับให้เป็นระบบสุญญากาศ (High Vacuum Mode) เพื่อไล่ความชื้น จึงทำให้ได้รายละเอียดที่ดี กำลังขยายสูง และภาพที่คมชัด โดยอาศัยหลักการการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็กหรือที่เรียกว่าเลนส์แม่เหล็กทำให้ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้ามากระทบกับชิ้นงาน เกิดอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนต่อชิ้นงาน เนื่องจากลำอิเล็กตรอนที่วิ่งมากระทบชิ้นงานมีพลังงานสูง ทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชิ้นงาน ใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 20 นาทีต่อตัวอย่าง ผลที่ได้จะออกมาเป็นภาพ ตามกำลังขยายที่ตั้งไว้

3.2.4 เครื่องวิเคราะห์ความหนืด (Viscometer)



รูปที่ 3.4 เครื่องวิเคราะห์ความหนืด จุกคราก และ gel strength fann (35SA 115-Volt)

ตัวอย่างจำนวน 84 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหาความหนืด (Viscosity) จุกคราก (Yield point) และ (Gel strength) ของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเถ้าลอยลิกไนต์ โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาใส่ไว้ในกระบอกและเลื่อนกระบอกหมุนลงไปในน้ำโคลนถึงเส้นที่กำหนดไว้ สำหรับการหาความหนืดทำได้โดยโยกแกนบังคับไปที่ความเร็ว 300 และ 600 รอบต่อนาที ส่วนการหา Gel strength ทำได้โดยการปรับความเร็วเป็นที่ 3, 6, 100, 200, 300 และ 600 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 25 นาทีต่อตัวอย่าง โดยค่าความหนืดที่ได้จะมีค่าเป็น เซนติพอยส์ (Centipoises)

3.2.5 เครื่องวิเคราะห์การซึมผ่าน (Filter press)



รูปที่ 3.5 เครื่องวิเคราะห์การซึมผ่าน Fann (SERIES 300)

ตัวอย่างจำนวน 84 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนชุดเจาะ นำมาหาการซึมผ่านของน้ำโคลนชุดเจาะผ่านตัวกรอง (Filtration) ของน้ำโคลนชุดเจาะผสมเกลืออลิกไนต์ โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาใส่ไว้ในกระบอกบรรจุน้ำโคลน ประกอบด้วย ท่อเหล็กทรงกระบอก ฝาปิดด้านบน ตะแกรงลวด กระดาษกรอง ประเก็นยาง และฝาครอบด้านล่าง โดยกระดาษกรองใช้เป็นตัวจับผงน้ำโคลน ให้สร้างเป็น Mud cake และปล่อยให้ส่วนที่เป็นน้ำ Mud filtrate ผ่านตะแกรงลวดลงไปยังหลอดแก้ววัดปริมาณด้านล่าง ถึงแก๊สไนโตรเจนเป็นตัวส่งความดันให้กระบอกบรรจุน้ำโคลน ใช้ความดัน 100 ± 5 ปอนด์ ต่อ ตารางนิ้ว ใช้เวลานาน 30 นาทีต่อตัวอย่าง โดยจะทำการบันทึกปริมาณของ Mud filtrate เมื่อถึงเวลา 1, 4, 9, 16, 25 และ 30 นาที ส่วนผงโคลน (Mud cake) ทำการบรรยายลักษณะ ได้แก่ สี ผิวเนื้อ ความอ่อนตัว ความกว้าง และความหนา

3.2.6 เครื่องวิเคราะห์ความหนาแน่น (Mud balance)



รูปที่ 3.6 เครื่องวิเคราะห์ความหนาแน่น

ตัวอย่างจำนวน 84 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหาความหนาแน่น (density) ของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเกลืออลิกไนต์ โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาใส่ไว้ในถ้วยใส่จนเต็ม และปิดฝา เช็ดน้ำโคลนที่ล้นออกมาจากรูเล็กๆที่ฝาและรอบๆถ้วยด้วยให้หมด วางคาน Mud balance ลงบนที่รับคาน และถ่วงดุลคานให้อยู่ในแนวระดับราบโดยเลื่อนตัวถ่วงตามคานสเกล อ่านความหนาแน่นตรงขอบของตุ้ม โดยความหนาแน่นที่ได้จะมีค่าเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3)

3.2.7 เครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)



รูปที่ 3.7 เครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง OAKTON (pH 700)

ตัวอย่างจำนวน 84 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหาความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเกลืออลิกไนต์ โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาใส่ไว้ในบีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้ววางหัววัดด้วยกระแสน้ำสะอาดแล้วเช็ดเบาๆ ให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู แล้วจุ่มหัววัดลงไปในน้ำโคลนที่จะวัด จากนั้นคนน้ำโคลนรอบๆหัววัด โดยการหมุนบีกเกอร์ ใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 10 นาทีต่อตัวอย่าง

3.2.8 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง (Solid content)



รูปที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง Fann (MODEL 50 ml)

ตัวอย่างจำนวน 84 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหาปริมาณของแข็ง (Solid content) ของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเกลืออลิกไนต์ โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาใส่ไว้ในกระบอกก้น 50 มิลลิลิตร เช็ดน้ำโคลนที่เกินออกให้หมดและหมุนกระบอกใส่น้ำโคลนเข้ากับกระบอกส่วนบน จากนั้นใส่กระบอกก้นเข้าไปในกล่องฉนวน และปิดฝากล่องฉนวนให้เข้าที่ วางหลอดวัดปริมาตรไว้ใต้ที่ปล่อยน้ำของกล่องควบแน่น และเปิดเครื่องทำความร้อน ให้ความร้อนต่อน้ำโคลนจนกระทั่งน้ำหยดกลั่นตัวออกมาหมดหรือจนกระทั่งไฟบอกเหตุที่ตัวควบคุมความร้อนดับ ซึ่งจะใช้เวลานานประมาณ 20 นาทีต่อตัวอย่าง โดยปริมาณของแข็งที่ได้จะมีค่าเป็นร้อยละ

3.2.9 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณทราย (Sand content)



รูปที่ 3.9 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณทราย Fann

ตัวอย่างจำนวน 84 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนชุดเจาะ นำมาหาปริมาณทราย (Sand content) ของน้ำโคลนชุดเจาะผสมเก็ลลอลยลิกไนต์ โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูกเทลงในหลอด Sand content จนถึงระดับ “Mud to Here” เติมน้ำเพิ่มเข้าไปจนถึงระดับ “Water to Here” ปิดปากหลอดแก้วด้วยจุกแล้วเขย่าขึ้นลงไปมา แล้วเทส่วนผสมนี้ลงบนตะแกรงล่างทุกอย่างในหลอดด้วยน้ำสะอาด จากนั้นสวมกรวยเข้ากับ Sand content tube ค่อยๆ กลับข้างตะแกรงลงบนกรวยล้างทรายที่ตกค้างอยู่บนตะแกรงกลับเข้าไปในหลอด Sand content tube ให้หมด แล้วอ่านปริมาณทรายที่ตกตะกอนกันหลอดที่มีสเกลบอกออกมาเป็นร้อยละของทรายที่มีอยู่ในน้ำโคลน (Sand content) โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 15 นาทีต่อตัวอย่าง

3.2.10 เครื่องวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity meter)



รูปที่ 3.10 เครื่องวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้า Fann (88C)

ตัวอย่างจำนวน 84 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหาความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) ของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเกลือกลีโคไลนส์ โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาใส่ไว้ในหลอดวัด โดยไม่ให้มีฟองอากาศ ต่อหลอดวัดเข้ากับขั้ววัด จากนั้นปรับช่วงของการแสดงค่าให้เหมาะสม โดยก่อนการวัดความต้านทานไฟฟ้าต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือโดยการวัดความต้านทานของน้ำเกลือที่ทราบค่าแน่นอน มาเปรียบเทียบกับความต้านทานไฟฟ้าของน้ำโคลนขุดเจาะ ใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 15 นาทีต่อตัวอย่าง โดยค่าความหนืดที่ได้จะมีค่าเป็น โอห์ม-เมตร (Ohm-Meters)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์และอธิบายผลการวิเคราะห์

วัตถุประสงค์

เนื้อหาในบทนี้อธิบายถึงการวิเคราะห์องค์ประกอบของเถ้าลอยลิกไนต์ สารตัวเติม และสารเคมีพื้นฐานของน้ำโคลนขุดเจาะ ซึ่งประกอบไปด้วย การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) การวิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟกโตรมิเตอร์ (XRD) และการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ในเถ้าลอยลิกไนต์ สารเติมแต่งและสารเคมีพื้นฐานของน้ำโคลนขุดเจาะ ทั้งก่อนการผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ และสำหรับอัตราส่วนที่เหมาะสมหลังการผสมน้ำโคลน

4.1 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF)

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ก่อนการผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ

การเตรียมตัวอย่างเถ้าลอยลิกไนต์ แบไรต์ เบนโทไนต์ และสารตัวเติม ได้แก่ โคลโลไมต์ เถ้าแกลบ ปูนขาว และแป้ง โดยบดตัวอย่างให้มีขนาดที่ละเอียด แล้วผ่านการคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 75 ไมโครเมตร (เบอร์ 200) หลังจากนั้นจะถูกบดอัดลงในที่ใส่ตัวอย่างให้ผิวหน้าเรียบด้วยแผ่นกระจกแก้ว ก่อนนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของตัวอย่าง ด้วยเครื่องมือหาธาตุองค์ประกอบโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุออกไซด์จากตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลจากการวิเคราะห์ XRF ตามลำดับเถ้าลอยลิกไนต์ แบไรต์ เบนโทไนต์ และสารตัวเติม ดังต่อไปนี้ คือ

เถ้าลอยลิกไนต์ (Fly ash) ส่วนใหญ่ประกอบด้วย SiO_2 , Al_2O_3 , CaO และ Fe_2O_3 คิดเป็นร้อยละ 34.90, 18.98, 16.57 และ 15.51 ตามลำดับ มีปริมาณของ SO_3 , K_2O , และ TiO_2 ประมาณร้อยละ 6

แบไรต์ (Barite) ส่วนใหญ่ประกอบด้วย BaO , SO_3 และ SiO_2 คิดเป็นร้อยละ 53.82, 27.08 และ 17.86 ตามลำดับ มีปริมาณของ Fe_2O_3 ประมาณร้อยละ 1

เบนโทไนต์ (Bentonite) ส่วนใหญ่ประกอบด้วย SiO_2 , Al_2O_3 , MgO และ Fe_2O_3 คิดเป็นร้อยละ 59.32, 10.65, 10.51 และ 10.34 ตามลำดับ มีปริมาณของ CaO , K_2O และ TiO_2 ประมาณร้อยละ 9

โดโลไมต์ (Dolomite) ส่วนใหญ่ประกอบด้วย CaO และ SiO_2 คิดเป็นร้อยละ 89.37 และ 5.48 ตามลำดับ มีปริมาณของ Al_2O_3 ร้อยละ 3 และ Fe_2O_3 ประมาณร้อยละ 2.2

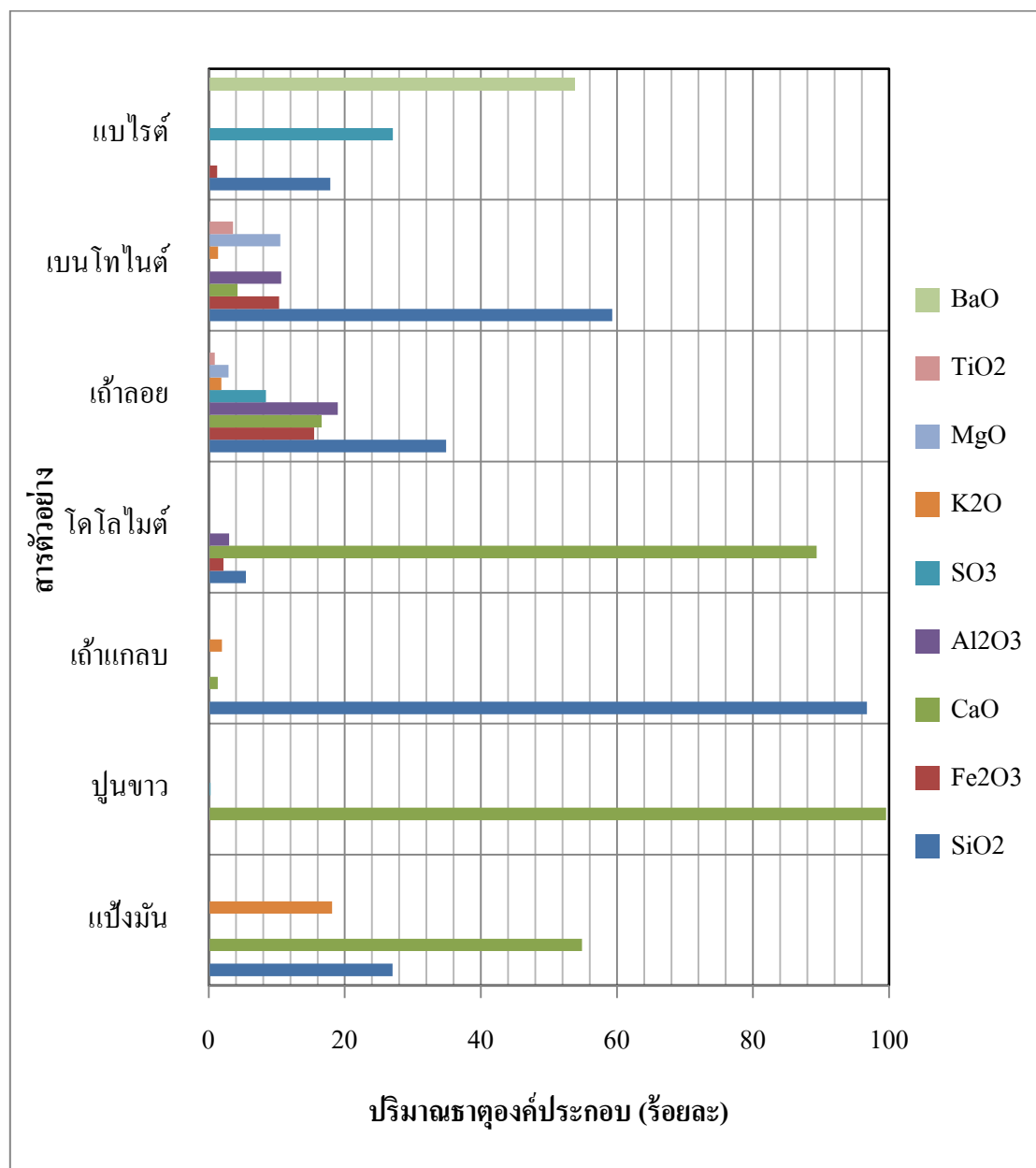
เถ้าแกลบ (Rice husk ash) ส่วนใหญ่ประกอบด้วย SiO_2 , Al_2O_3 , MgO และ Fe_2O_3 คิดเป็นร้อยละ 59.32, 10.65, 10.51 และ 10.34 ตามลำดับ มีปริมาณของ CaO , K_2O และ TiO_2 ประมาณร้อยละ 5

ปูนขาว (Lime) ส่วนใหญ่ประกอบด้วย SiO_2 , Al_2O_3 , MgO และ Fe_2O_3 คิดเป็นร้อยละ 59.32, 10.65, 10.51 และ 10.34 ตามลำดับ มีปริมาณของ CaO , K_2O และ TiO_2 ประมาณร้อยละ 9

แป้งมัน (Starch) ส่วนใหญ่ประกอบด้วย CaO และ SiO_2 คิดเป็นร้อยละ 54.85 และ 27.02 ตามลำดับ มีปริมาณของ K_2O ประมาณร้อยละ 18

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณร้อยละธาตุองค์ประกอบที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ในตัวอย่างก่อนการผสม

ธาตุประกอบ	แบไรต์	เบนโทไนต์	เถ้าลอย	โดโลไมต์	เถ้าแกลบ	ปูนขาว	แป้งมัน
SiO_2	17.9	59.3	34.9	5.5	96.7	-	27.0
Fe_2O_3	1.2	10.3	15.5	2.2	-	0.1	-
CaO	-	4.2	16.6	89.4	1.3	99.6	54.9
Al_2O_3	-	10.7	19.0	3.0	-	-	-
SO_3	27.1	-	8.4	-	-	0.3	-
K_2O	-	1.4	1.9	-	1.9	-	18.1
MgO	-	10.5	2.9	-	-	-	-
TiO_2	-	3.6	0.9	-	-	-	-
BaO	53.8	-	-	-	-	-	-



รูปที่ 4.1 ภาพแสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบเฉลี่ยในตัวอย่างก่อนการผสม

จากการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบหลักของตัวอย่างแต่ละตัว มีองค์ประกอบที่แตกต่างกันมาก โดยพบว่าเบนโทไนต์ ถ้ำลอย และถ้ำเกลบ มีปริมาณของ SiO₂ สูงสุดคือร้อยละ 59.3, 34.9 และ 96.7 ตามลำดับ ส่วนโดโลไมต์ ปูนขาว และแป้งมัน มีปริมาณของ CaO สูงสุดคือร้อยละ 89.4, 99.6 และ 54.9 ตามลำดับ และแบไรต์ มีปริมาณของ BaO สูงสุดคือร้อยละ 53.8

4.1.2 ผลการวิเคราะห์หลังการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเถ้าลอยลิกไนต์ พบว่าคุณสมบัติของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเถ้าลอยลิกไนต์นั้น โดยทั่วไปยังมีประสิทธิภาพต่ำกว่าน้ำโคลนขุดเจาะมาตรฐาน ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเถ้าลอยลิกไนต์จึงมีการเติมสารตัวเติมบางชนิดที่สามารถหาได้ตามท้องถิ่น ดังต่อไปนี้

- โดโลไมต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของความหนาแน่นและการควบคุมความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเถ้าลอยลิกไนต์
- เถ้าแกลบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการสูญเสียน้ำโคลนและเพิ่มความหนาของผนังโคลน
- ปูนขาว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการควบคุมความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเถ้าลอยลิกไนต์
- แป้งมัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของความหนืดและความแข็งแรงของเจลของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเถ้าลอยลิกไนต์

จากการทดลองมีจำนวนตัวอย่างที่ใช้ศึกษาในการผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ มีทั้งหมด 84 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.2 มีส่วนประกอบหลักดังนี้ แบไรต์ 100 กรัม เบนโทไนต์ 60 กรัม และน้ำกลั่น 1,000 กรัม สูตรพื้นฐาน (Base) คือตัวอย่างที่ 1 แล้วทำการเติมสารตัวเติม ประกอบด้วย เถ้าลอยลิกไนต์ โดโลไมต์ เถ้าแกลบ ปูนขาว และแป้งมัน โดยสูตรพื้นฐาน (Base) คือตัวอย่างที่ 1 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ใช้เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ 2 ถึง 6 และ 13 ถึง 24

ส่วนสูตรพื้นฐานตัวใหม่ (New-base) แบ่งออกเป็น 7 สูตร สำหรับใช้ในการเปรียบเทียบกับน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมกับเถ้าลอยลิกไนต์ และสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 องศาเซลเซียส ประกอบด้วยดังนี้

- (1) สูตรพื้นฐาน (ตัวอย่างที่ 2) ประกอบด้วย แบไรต์ 100 กรัม เบนโทไนต์ 60 กรัม น้ำกลั่น 1,000 กรัม ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ 7 ถึง 9
- (2) สูตรพื้นฐาน (ตัวอย่างที่ 3) ประกอบด้วย แบไรต์ 100 กรัม เบนโทไนต์ 60 กรัม น้ำกลั่น 1,000 กรัม ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใช้เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ 10 ถึง 12
- (3) สูตรพื้นฐานตัวใหม่ 1 (ตัวอย่างที่ 5) ประกอบด้วย แบไรต์ 100 กรัม เบนโทไนต์ 60 กรัม

น้ำกลั่น 1,000 กรัม และเถาลอย 34.8 กรัม ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ใช้เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ 25 ถึง 27, 31 ถึง 33, 37 ถึง 39 และ 43 ถึง 45

(4) สูตรพื้นฐานตัวใหม่ 1 (ตัวอย่างที่ 8) ประกอบด้วย แบไรต์ 100 กรัม เบนโทไนต์ 60 กรัม น้ำกลั่น 1,000 กรัม และเถาลอย 34.8 กรัม ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ 28 ถึง 30, 34 ถึง 36, 40 ถึง 42 และ 46 ถึง 48

(5) สูตรพื้นฐานตัวใหม่ 2 (ตัวอย่างที่ 4) ประกอบด้วย แบไรต์ 100 กรัม เบนโทไนต์ 60 กรัม น้ำกลั่น 1,000 กรัม และเถาลอย 11.6 กรัม ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ใช้เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ 49 ถึง 51, 58 ถึง 60, 67 ถึง 69 และ 76 ถึง 78

(6) สูตรพื้นฐานตัวใหม่ 2 (ตัวอย่างที่ 7) ประกอบด้วย แบไรต์ 100 กรัม เบนโทไนต์ 60 กรัม น้ำกลั่น 1,000 กรัม และเถาลอย 11.6 กรัม ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ 52 ถึง 54, 61 ถึง 63, 70 ถึง 72 และ 79 ถึง 81

(7) สูตรพื้นฐานตัวใหม่ 2 (ตัวอย่างที่ 10) ประกอบด้วย แบไรต์ 100 กรัม เบนโทไนต์ 60 กรัม น้ำกลั่น 1,000 กรัม และเถาลอย 11.6 กรัม ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ใช้เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ 55 ถึง 57, 64 ถึง 66, 73 ถึง 75 และ 82 ถึง 84

ตารางที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบหลังการผสมเป็นน้ำโคลนชุดเจาะ

ตัวอย่างที่	อุณหภูมิ	แบไรต์	เบนโทไนต์	เถาลอย	สารตัวเติม
	(องศาเซลเซียส)	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(ร้อยละโดยมวล)
1	30	100	60	-	-
2	60	100	60	-	-
3	90	100	60	-	-
4	30	100	60	11.6	-
5		100	60	34.8	-
6		100	60	58.0	-
7	60	100	60	11.6	-
8		100	60	34.8	-
9		100	60	58.0	-
10	90	100	60	11.6	-

ตารางที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบหลังการผสมเป็นน้ำโคลนชุดเจาะ (ต่อ)

ตัวอย่างที่	อุณหภูมิ	แบไรต์	เบนโทไนต์	เถ้าลอย	สารตัวเติม	
	(องศาเซลเซียส)	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(ร้อยละโดยมวล)	
11	90	100	60	34.8	-	
12		100	60	58.0	-	
13	30	100	60	-	1	โดโลไมต์
14		100	60	-	3	
15		100	60	-	5	
16	30	100	60	-	1	เถ้ากลบ
17		100	60	-	3	
18		100	60	-	5	
19	30	100	60	-	1	ปูนขาว
20		100	60	-	3	
21		100	60	-	5	
22	30	100	60	-	1	แป้งมัน
23		100	60	-	3	
24		100	60	-	5	
25	30	100	60	34.8	1	โดโลไมต์
26		100	60	34.8	3	
27		100	60	34.8	5	
28	60	100	60	34.8	1	
29		100	60	34.8	3	
30		100	60	34.8	5	
31	30	100	60	34.8	1	เถ้ากลบ
32		100	60	34.8	3	
33		100	60	34.8	5	
34	60	100	60	34.8	1	

ตารางที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบหลังการผสมเป็นน้ำโคลนชุดเจาะ (ต่อ)						
ตัวอย่างที่	อุณหภูมิ	แบไรต์	เบนโทไนต์	เถ้าลอย	สารตัวเติม	
	(องศาเซลเซียส)	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(ร้อยละโดยมวล)	
35	60	100	60	34.8	3	เถ้าแกลบ
36		100	60	34.8	5	
37	30	100	60	34.8	1	ปูนขาว
38		100	60	34.8	3	
39		100	60	34.8	5	
40	60	100	60	34.8	1	
41		100	60	34.8	3	
42		100	60	34.8	5	
43	30	100	60	34.8	1	แป้งมัน
44		100	60	34.8	3	
45		100	60	34.8	5	
46	60	100	60	34.8	1	แป้งมัน
47		100	60	34.8	3	
48		100	60	34.8	5	
49	30	100	60	11.6	1	โดโลไมต์
50		100	60	11.6	3	
51		100	60	11.6	5	
52	60	100	60	11.6	1	
53		100	60	11.6	3	
54		100	60	11.6	5	
55	90	100	60	11.6	1	
56		100	60	11.6	3	
57		100	60	11.6	5	
58	30	100	60	11.6	1	เถ้าแกลบ
59		100	60	11.6	3	

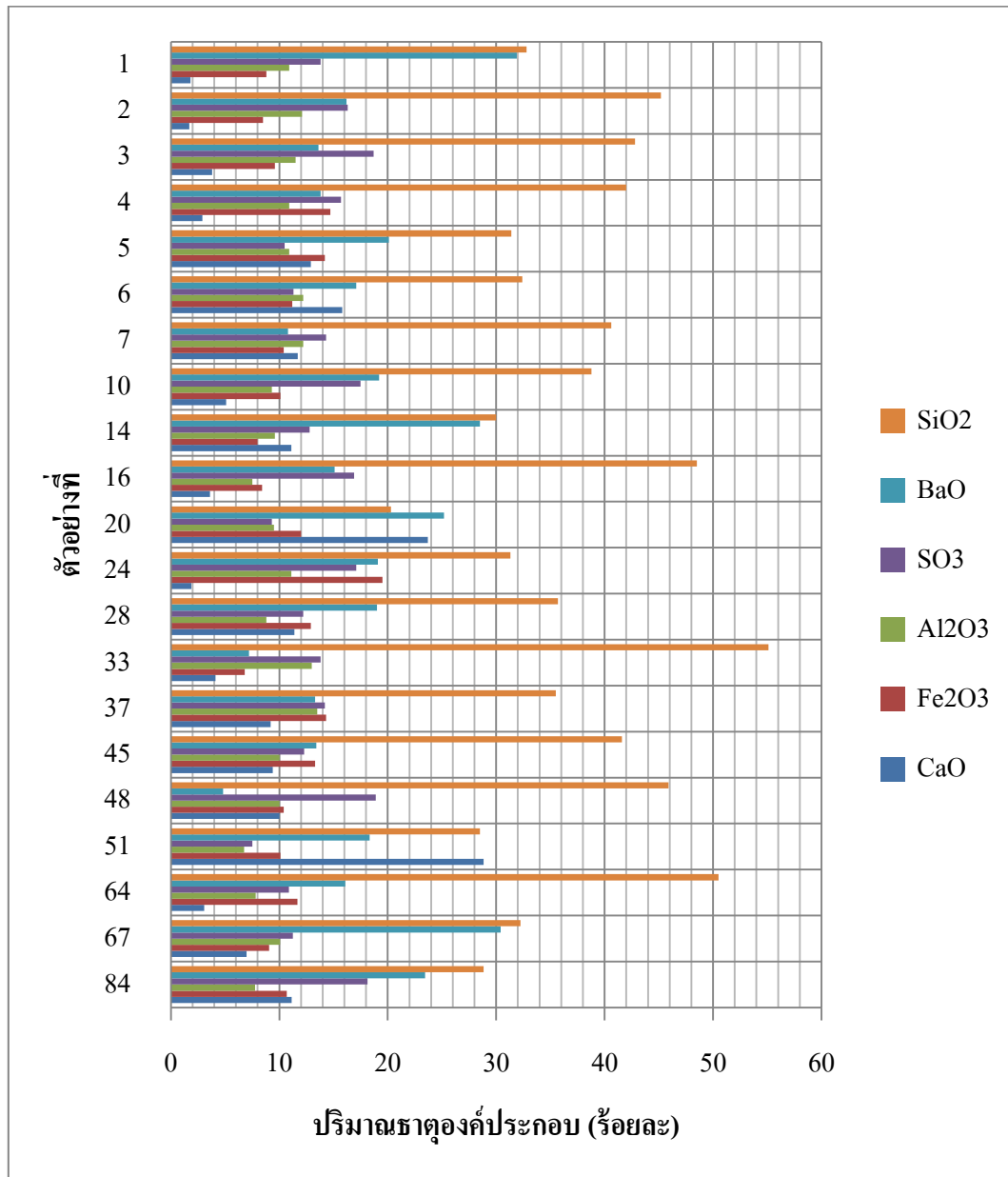
ตารางที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบหลังการผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ (ต่อ)

ตัวอย่างที่	อุณหภูมิ	แบไรต์	เบนโทไนต์	ถ้ำลอย	สารตัวเติม	
	(องศาเซลเซียส)	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(ร้อยละโดยมวล)	
60	30	100	60	11.6	5	ถ้ำกลบ
61	60	100	60	11.6	1	
62		100	60	11.6	3	
63		100	60	11.6	5	
64	90	100	60	11.6	1	
65		100	60	11.6	3	
66		100	60	11.6	5	
67	30	100	60	11.6	1	ปูนขาว
68		100	60	11.6	3	
69		100	60	11.6	5	
70	60	100	60	11.6	1	
71		100	60	11.6	3	
72		100	60	11.6	5	
73	90	100	60	11.6	1	
74		100	60	11.6	3	
75		100	60	11.6	5	
76	30	100	60	11.6	1	แป้งมัน
77		100	60	11.6	3	
78		100	60	11.6	5	
79	60	100	60	11.6	1	
80		100	60	11.6	3	
81		100	60	11.6	5	
82	90	100	60	11.6	1	
83		100	60	11.6	3	
84		100	60	11.6	5	

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบในบางตัวอย่างหลังการผสมสารตัวเดิมต่างๆ กับน้ำโคลนขุดเจาะผสมเถ้าลอยลิกไนต์ แสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.2 ซึ่งตัวอย่างที่นำมาหาปริมาณธาตุองค์ประกอบ เป็นตัวอย่างที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้เป็นน้ำโคลนขุดเจาะ ซึ่งนำมาใช้ศึกษาทั้งหมด 21 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณร้อยละธาตุองค์ประกอบที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ในตัวอย่างหลังการผสม

ตัวอย่างที่	ปริมาณธาตุองค์ประกอบ (ร้อยละ)					
	SiO ₂	BaO	SO ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
1	32.8	31.9	13.8	10.9	8.8	1.8
2	45.2	16.2	16.3	12.1	8.5	1.7
3	42.8	13.6	18.7	11.5	9.6	3.8
4	42.0	13.8	15.7	10.9	14.7	2.9
5	31.4	20.1	10.5	10.9	14.2	12.9
6	32.4	17.1	11.3	12.2	11.2	15.8
7	40.6	10.8	14.3	12.2	10.4	11.7
10	38.8	19.2	17.5	9.3	10.1	5.1
14	30.0	28.5	12.8	9.6	8.0	11.1
16	48.5	15.1	16.9	7.5	8.4	3.6
20	20.3	25.2	9.3	9.5	12.0	23.7
24	31.3	19.1	17.1	11.1	19.5	1.9
28	35.7	19.0	12.2	8.8	12.9	11.4
33	55.1	7.2	13.8	13.0	6.8	4.1
37	35.5	13.3	14.2	13.5	14.3	9.2
45	41.6	13.4	12.3	10.0	13.3	9.4
48	45.9	4.8	18.9	10.0	10.4	10.0
51	28.5	18.3	7.5	6.7	10.1	28.8
64	50.5	16.1	10.9	7.8	11.7	3.1
67	32.3	30.4	11.3	10.1	9.0	7.0
84	28.8	23.4	18.1	7.8	10.7	11.1



รูปที่ 4.2 ภาพแสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบเฉลี่ยในตัวอย่างหลังการผสม

ตัวอย่างน้ำโคลนหลังการผสมโดยส่วนใหญ่มีธาตุองค์ประกอบหลักที่เหมือนกัน โดยพบว่า มีปริมาณของ SiO₂ สูงสุดคือร้อยละ 20.3 ถึง 55.1 รองลงมามีปริมาณของ BaO (ร้อยละ 4.8 ถึง 31.9), SO₃ (7.5 ถึง 18.7), Al₂O₃ (6.7 ถึง 13.5), Fe₂O₃ (ร้อยละ 6.8 ถึง 19.5) และ CaO (ร้อยละ 1.7 ถึง 28.8)

ส่วนในตัวอย่างที่ 20 มีธาตุประกอบส่วนใหญ่เป็น BaO (ร้อยละ 25.2) รองลงมาเป็น CaO (ร้อยละ 23.7) และ SiO₂ (ร้อยละ 20.3) ตามลำดับ และในตัวอย่างที่ 51 มีธาตุประกอบส่วนใหญ่เป็น CaO (ร้อยละ 28.8) รองลงมาเป็น SiO₂ (ร้อยละ 28.5) และ BaO (ร้อยละ 18.3) ตามลำดับ

4.2 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟกโตรมิเตอร์ (XRD)

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ก่อนและหลังการผสมเป็นน้ำโคลนชุดเจาะ

การเตรียมตัวอย่างถ้ำลอยลิกไนต์ แบไรต์ เบนโทไนต์ และสารตัวเติม โดยบดตัวอย่างให้มีขนาดที่ละเอียด แล้วผ่านการคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 75 ไมโครเมตร (เบอร์ 200) หลังจากนั้นบดตัวอย่างลงในที่ใส่ตัวอย่างให้ผิวหน้าเรียบด้วยแผ่นกระจกแก้ว ก่อนนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแร่ผลึกประกอบของตัวอย่าง ด้วยเครื่องมือหาสารประกอบที่เป็นผลึกโดยวิธีการหักเหของแสง (XRD) ของบริษัท Bruker (D2-Phaser) สามารถบอกได้ว่าแร่ที่มีอยู่มีปริมาณเท่าไร แล้วทำการหาปริมาณแร่ในรูปของร้อยละ โดยใช้ซอฟต์แวร์ Topas โดยแต่ละตัวอย่างจะทำการทดลอง 3 ครั้ง แล้วทำการเทียบหาปริมาณแร่ผลึก และรายงานออกเป็นแถบสี กราฟแวนอนเป็นแกนของมุม 2θ กับแกนแนวตั้งเป็น ค่าความเข้มข้น (intensity) มักแสดงในรูปของ d-spacing (Å) จากสมการของ Bragg's Law คือ $n\lambda = 2d \sin \theta$

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณแร่จากตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3 ดังต่อไปนี้

ถ้ำลอยลิกไนต์ (Fly ash) ประกอบด้วย ควอร์ตซ์ร้อยละ 24.3 สีมาไทต์ร้อยละ 20.5 มุลไลต์ร้อยละ 17.2 แคลไซต์ร้อยละ 15.3 แอนไฮไดรต์ร้อยละ 14.3 และแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 8.4

แบไรต์ (Barite) ประกอบด้วย แบไรต์ร้อยละ 77.3 ควอร์ตซ์ร้อยละ 21.3 และแอนไฮไดรต์ร้อยละ 1.4

เบนโทไนต์ (Bentonite) ประกอบด้วย มอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 56.7 เคโอลิไนต์ร้อยละ 17 อะนอร์ไทต์ร้อยละ 8.5 แคลไซต์ร้อยละ 6.8 สีมาไทต์ร้อยละ 6.4 และควอร์ตซ์ร้อยละ 5

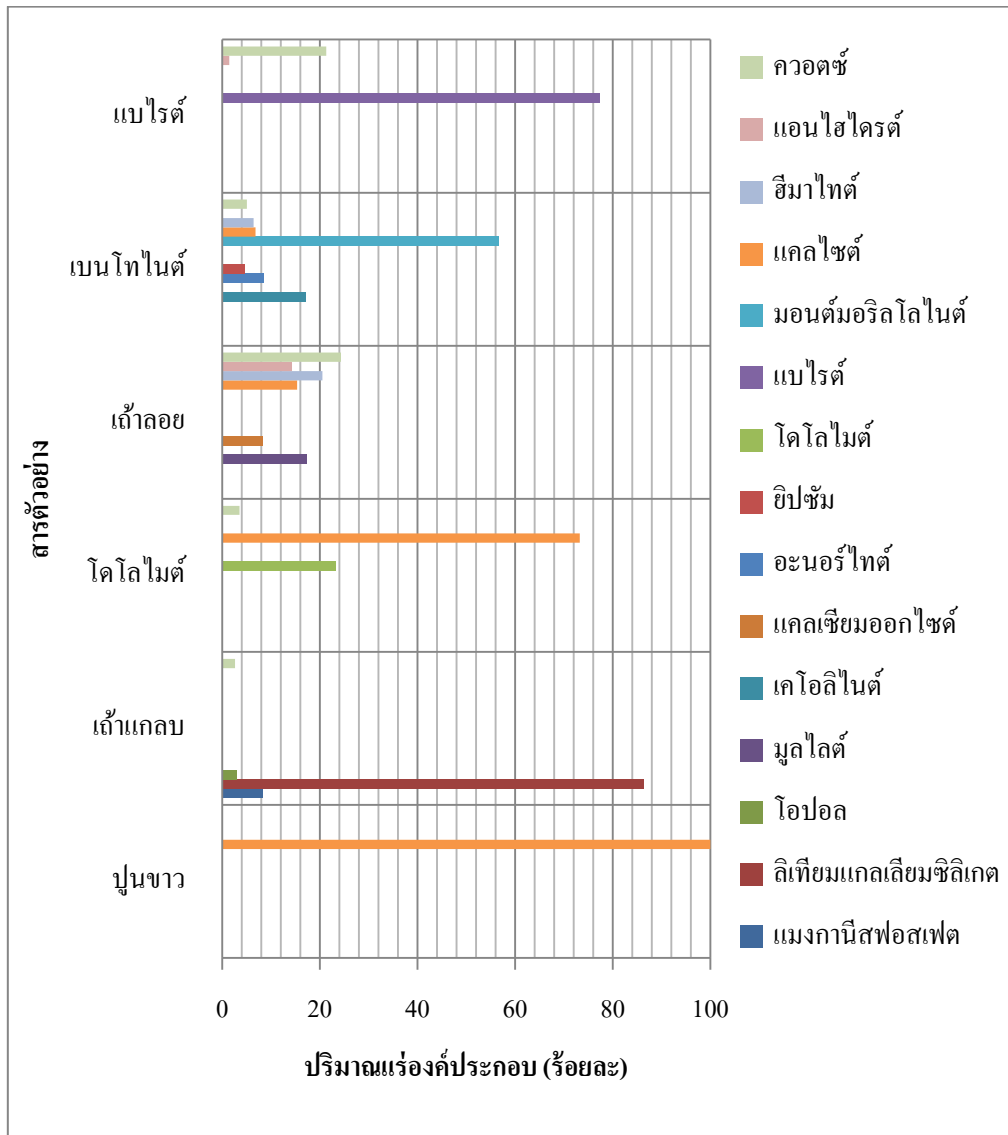
โดโลไมต์ (Dolomite) ประกอบด้วย โดโลไมต์ร้อยละ 3.5 แคลไซต์ร้อยละ 15.3 และควอร์ตซ์ร้อยละ 3.5

ถ้ำกลบ (Rice husk ash) ประกอบด้วย ลิเทียมแกลเลียมซิลิเกตร้อยละ 86.3 แมงกานีสฟอสเฟตร้อยละ 8.2 โอปอลร้อยละ 2.9 และควอร์ตซ์ร้อยละ 2.6

ปูนขาว (Lime) ประกอบด้วย แคลไซต์ร้อยละ 100

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณร้อยละแร่ประกอบในตัวอย่างก่อนการผสม

แร่ประกอบ	แบไรต์	เบนโทไนต์	เถ้าลอย	โดโลไมต์	เถ้าแกลบ	ปูนขาว
ควอร์ตซ์	21.3	5.0	24.3	3.5	2.6	-
แอนไฮไดรต์	1.4	-	14.3	-	-	-
ฮีมาไทต์	-	6.4	20.5	-	-	-
แคลไซต์	-	6.8	15.3	73.2	-	100
มอนต์มอริลโลไนต์	-	56.7	-	-	-	-
แบไรต์	77.3	-	-	-	-	-
โดโลไมต์	-	-	-	23.3	-	-
ยิปซัม	-	4.6	-	-	-	-
อะนอร์ไทต์	-	8.5	-	-	-	-
แคลเซียมออกไซด์	-	-	8.4	-	-	-
เคโอลินไนต์	-	17.0	-	-	-	-
มูลสัตว์	-	-	17.2	-	-	-
โอปอล	-	-	-	-	2.9	-
ลิเทียมแคลเลียมซิลิเกต	-	-	-	-	86.3	-
แมงกานีสฟอสเฟต	-	-	-	-	8.2	-



รูปที่ 4.3 ภาพแสดงปริมาณแร่ประกอบในตัวอย่างก่อนการผสม

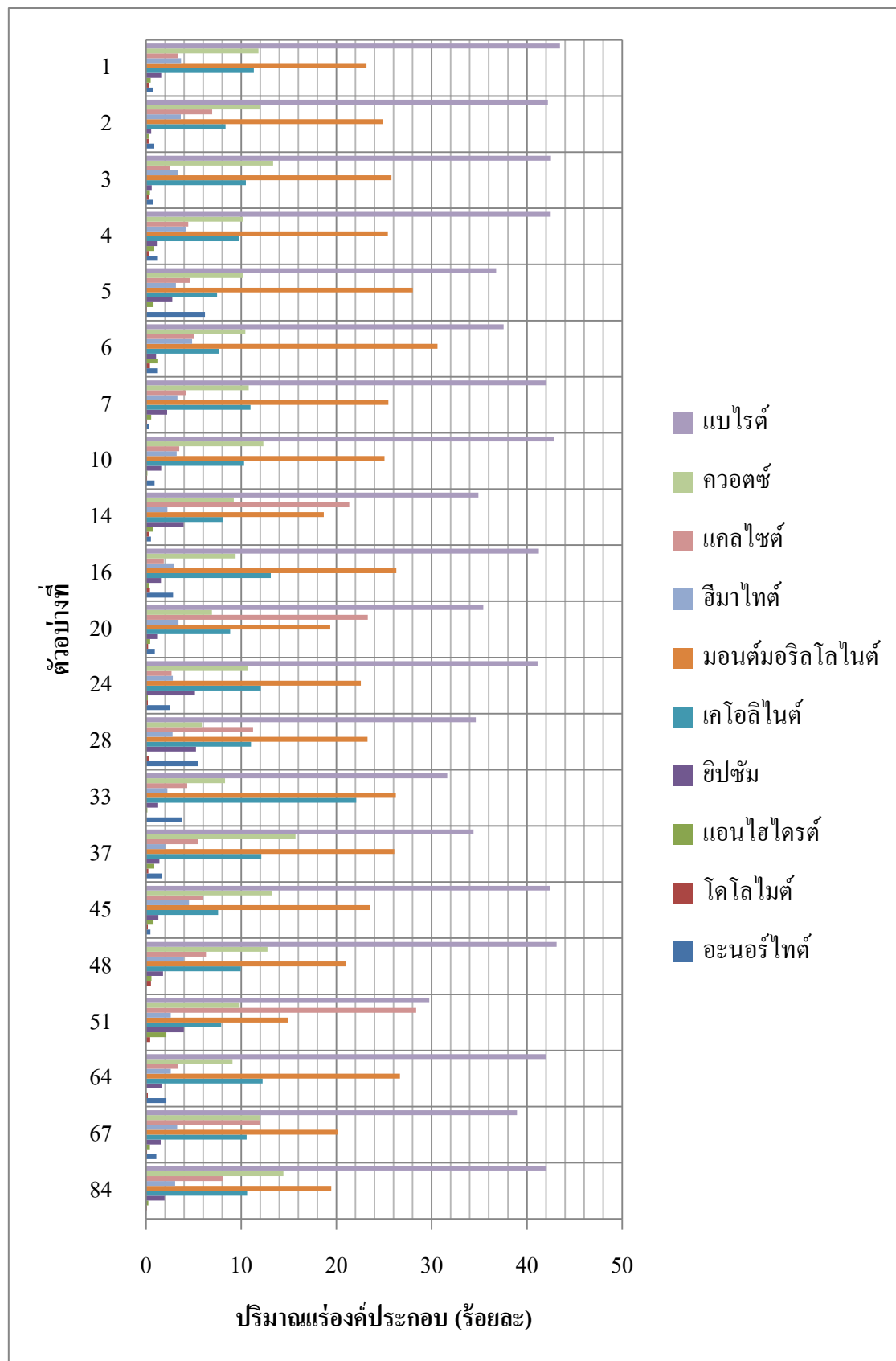
จากการวิเคราะห์แร่ประกอบหลักของตัวอย่างแต่ละตัว มีองค์ประกอบที่แตกต่างกันมาก โดยพบว่าแบริต์ มีปริมาณของแร่แบริต์สูงสุดคือร้อยละ 77.3 เบนโทไนต์ มีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์สูงสุดคือร้อยละ 56.7 ถั่วลยกลบมีปริมาณของควอตซ์สูงสุดคือร้อยละ 24.3 โคโลไมต์ มีปริมาณของแร่โคโลไมต์สูงสุดคือร้อยละ 73.2 ส่วนถั่วกลบ มีปริมาณของลิเทียมแอลเลียมซิลิเกตสูงสุดคือร้อยละ 86.3 และปูนขาวประกอบด้วยธาตุแคลไซต์ร้อยละ 100

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณร้อยละของแร่องค์ประกอบในตัวอย่างหลังการผสม

ตัวอย่างที่	แบไรต์	ควอตซ์	แคลไซต์	อีมาไทต์	มอนต์มอริลโลไนต์	เคโอลิไนต์	ยิปซัม	แอนไฮไดรต์	โดโลไมต์	อะนอร์ไทต์
1	43.47	11.81	3.37	3.68	23.15	11.33	1.61	0.49	0.37	0.72
2	42.20	11.98	6.96	3.66	24.87	8.35	0.55	0.29	0.27	0.87
3	42.52	13.35	2.50	3.33	25.79	10.50	0.59	0.40	0.27	0.75
4	42.49	10.22	4.43	4.18	25.40	9.80	1.13	0.87	0.31	1.17
5	36.77	10.16	4.62	3.14	28.02	7.47	2.75	0.80	0.09	6.18
6	37.56	10.44	5.04	4.83	30.60	7.70	1.07	1.19	0.41	1.16
7	42.07	10.79	4.21	3.31	25.44	10.98	2.21	0.54	0.12	0.33
10	42.87	12.33	3.48	3.23	25.05	10.29	1.59	0.14	0.11	0.91
14	34.92	9.23	21.36	2.25	18.66	8.06	3.96	0.70	0.34	0.52
16	41.25	9.40	1.87	2.96	26.29	13.10	1.58	0.31	0.40	2.84
20	35.42	6.91	23.29	3.41	19.34	8.84	1.18	0.45	0.23	0.93
24	41.12	10.70	2.68	2.82	22.55	12.05	5.13	0.21	0.21	2.53
28	34.65	5.88	11.25	2.79	23.27	11.02	5.25	0.06	0.37	5.46
33	31.65	8.30	4.33	2.25	26.23	22.07	1.20	0.15	0.03	3.79

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณร้อยละของแร่องค์ประกอบในตัวอย่างหลังการผสม (ต่อ)

ตัวอย่างที่	แบไรต์	ควอตซ์	แคลไซต์	อีมาไทต์	มอนต์มอริลโลไนต์	เคโอลิไนต์	ยิปซัม	แอนไฮไดรต์	โดโลไมต์	อะนอร์ไทต์
37	34.39	15.70	5.48	2.04	26.08	12.12	1.41	0.86	0.24	1.68
45	42.43	13.22	6.01	4.52	23.51	7.56	1.30	0.79	0.19	0.47
48	43.11	12.75	6.30	3.97	20.98	9.96	1.80	0.58	0.53	0.02
51	29.76	9.85	28.38	2.59	14.94	7.90	3.99	2.14	0.45	-
64	42.03	9.09	3.36	2.59	26.67	12.25	1.64	0.04	0.20	2.13
67	38.96	11.96	11.95	3.27	20.10	10.58	1.56	0.42	0.11	1.09
84	42.07	14.43	8.08	3.06	19.45	10.61	1.95	0.24	0.10	0.01



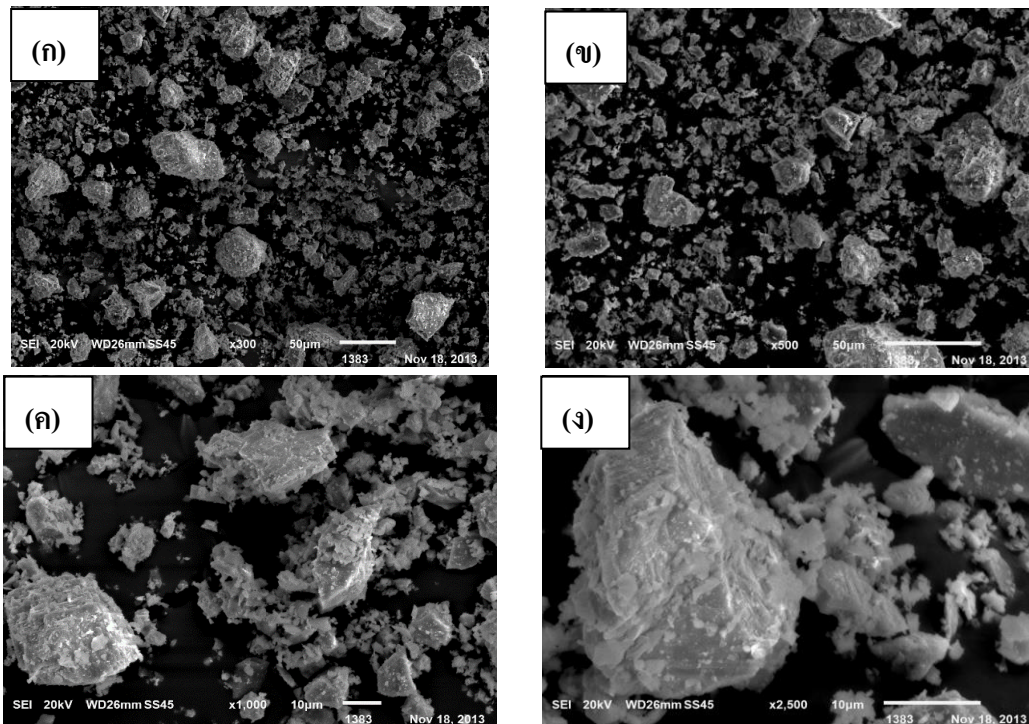
รูปที่ 4.4 ภาพแสดงปริมาณร้อยละของแร่องค์ประกอบในตัวอย่างหลังการผสม

ตัวอย่างน้ำโคลนหลังการผสมโดยมีแร่องค์ประกอบหลักที่เหมือนกัน การวิเคราะห์พบว่าน้ำโคลนมีปริมาณของแร่แบไรต์สูงสุดคือร้อยละ 29.8 ถึง 43.5 รองลงมามีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์คือร้อยละ 14.9 ถึง 30.6 เคโอลิไนต์มีปริมาณร้อยละ 7.5 ถึง 22.1 ควอร์ตซ์มีปริมาณร้อยละ 5.9 ถึง 15.7 แคลไซต์มีปริมาณร้อยละ 1.9 ถึง 28.4 ฮีมาไทต์มีปริมาณร้อยละ 2.0 ถึง 4.8 อีปซัมมีปริมาณร้อยละ 0.6 ถึง 5.3 โคโลไมต์มีปริมาณร้อยละ 0.2 ถึง 0.5 แอนไฮไดรต์มีปริมาณร้อยละ 0 ถึง 2.1 และอะนอร์ไทต์มีปริมาณร้อยละ 0 ถึง 6.2

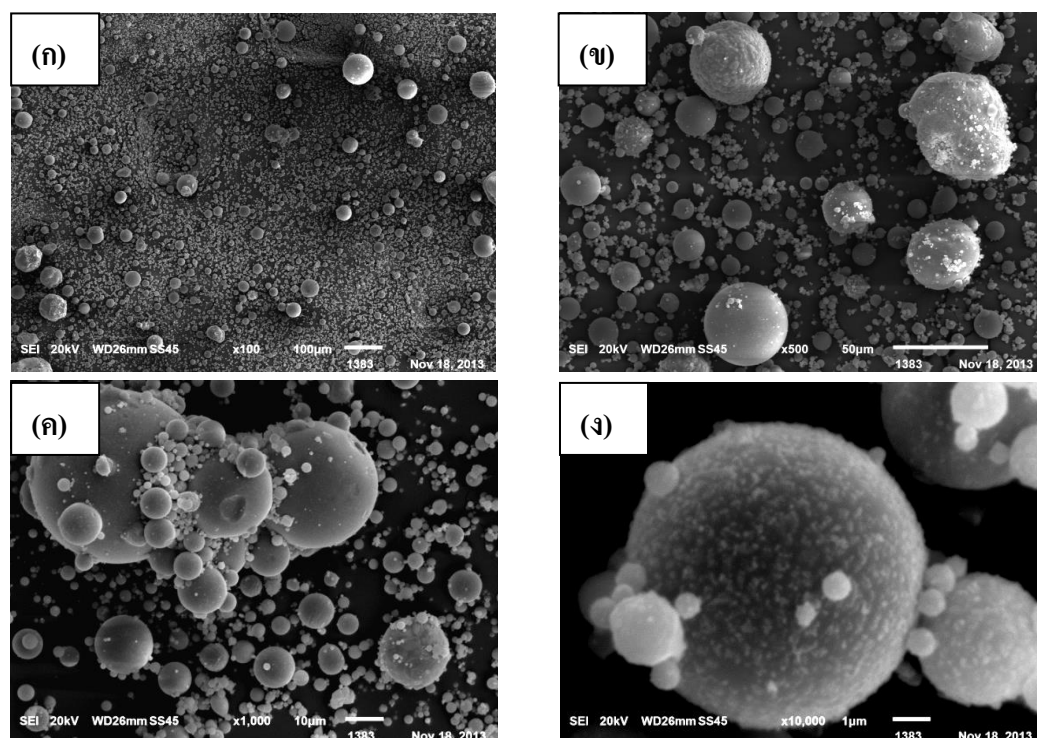
4.3 ผลการวิเคราะห์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ก่อนการผสมเป็นน้ำโคลนชุดเจาะ

การเตรียมตัวอย่างถ้ำลอยลิกันไนต์ แบไรต์ และเบนโทไนต์โดยนำตัวอย่างปริมาณเพียงเล็กน้อยไม่ถึง 1 กรัม แต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาติดลงบนแท่งโลหะและเคลือบทองเป็นการทำให้ตัวอย่างนำไฟฟ้า จากนั้นจะนำเอาตัวอย่างเข้าเครื่อง ก่อนทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง JEOL (รุ่น JSM-6010LV) ต้องกำหนดค่าของพลังงานที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วย ในการศึกษาใช้ที่ 20 kV และปรับระบบให้เป็นสุญญากาศ (High Vacuum Mode) เพื่อไล่ความชื้น จึงทำให้ได้รายละเอียดที่ดี กำลังขยายสูง และภาพที่คมชัด โดยอาศัยหลักการการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็กหรือที่เรียกว่าเลนส์แม่เหล็กทำให้ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้ามากระทบกับชิ้นงาน เกิดอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนต่อชิ้นงาน เนื่องจากลำอิเล็กตรอนที่วิ่งมากระทบชิ้นงานมีพลังงานสูง ทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชิ้นงาน ใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 20 นาทีต่อตัวอย่าง ผลที่ได้จะออกมาเป็นภาพตามกำลังขยายที่ตั้ง ตัวอย่างก่อนการผสมเป็นน้ำโคลนชุดเจาะแสดงโดยรูปที่ 4.5 ถึง 4.11

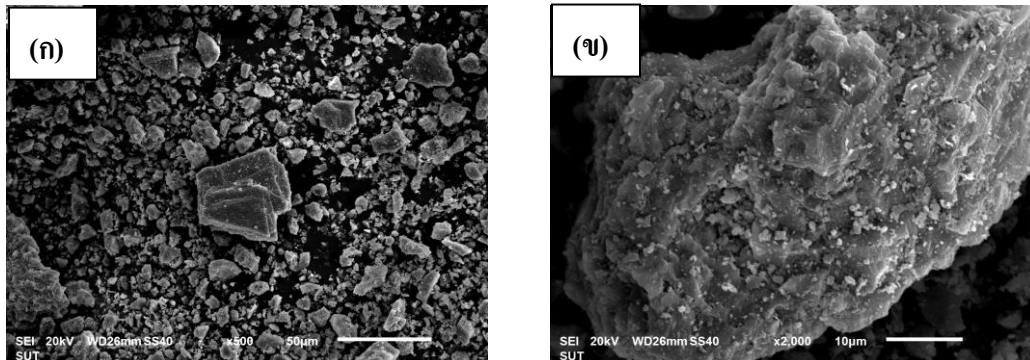


รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของแบไรต์ก่อนการผสม (ก)–(ข) ขนาดของแบไรต์และการกระจายตัว (ค)–(ง) ลักษณะพื้นผิวของแบไรต์ที่เป็นเกล็ดและเศษชิ้นที่เรียวแหลม

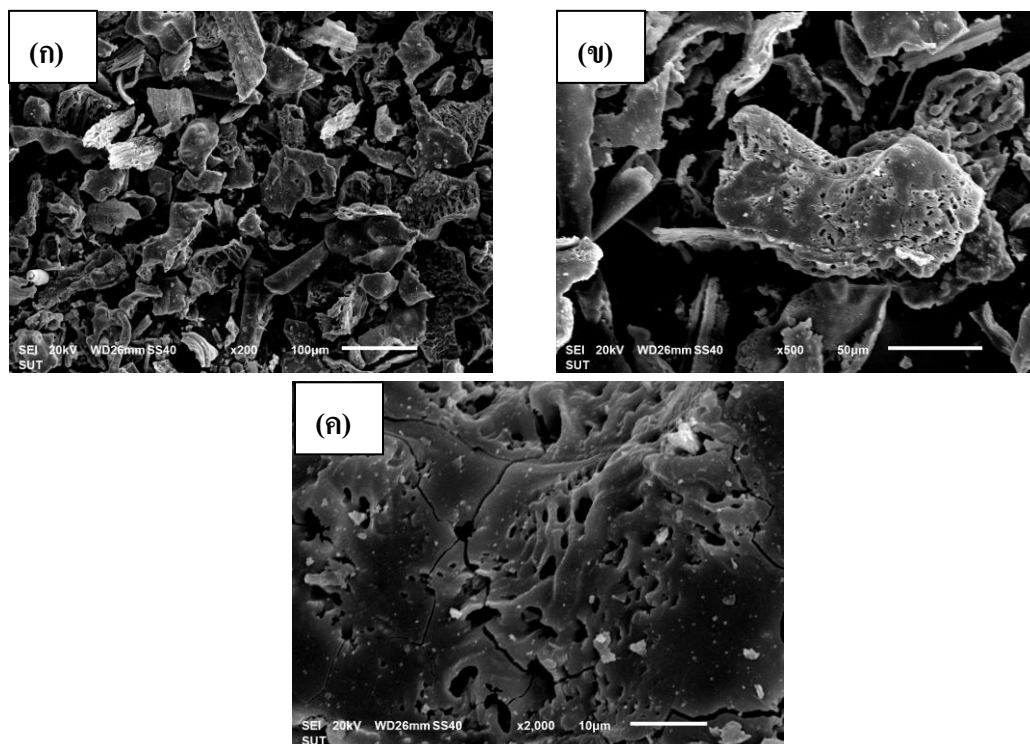


รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนการผสม (ก)–(ข) ขนาดของเถ้าลอยลิกไนต์ (ค) การกระจายตัวเม็ดละเอียดส่วนใหญ่จะกระจายตัวแยกจากกัน และ

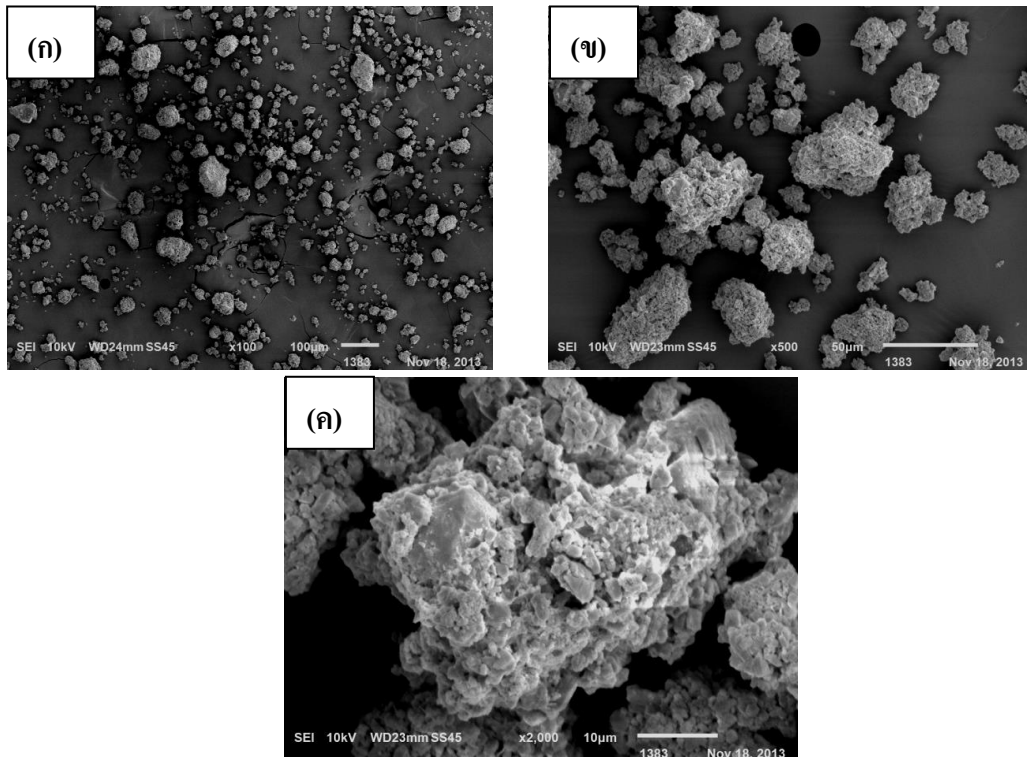
บางส่วนเกาะอยู่รอบๆเม็ดหยาบ (ง) แสดงลักษณะพื้นผิวของเถ้าลอยลิกไนต์ที่เป็นทรงกลม ขรุขระ และเรียบ



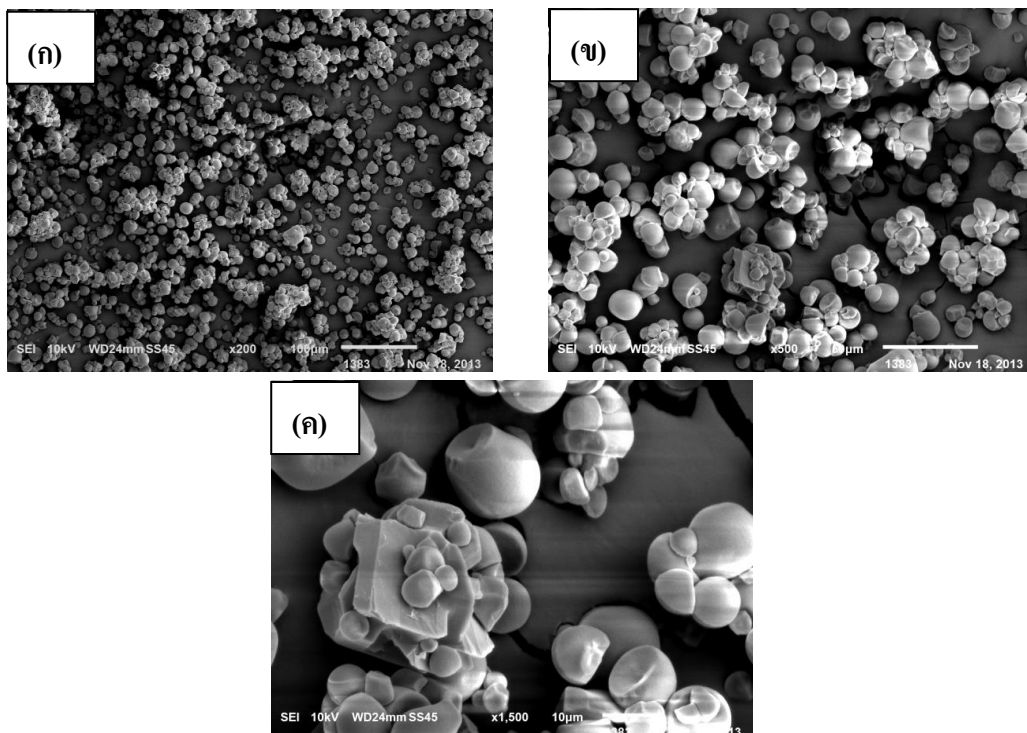
รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของโดโลไมต์ก่อนการผสม (ก) ขนาดของโดโลไมต์และการกระจายตัว (ข) ลักษณะพื้นผิวของโดโลไมต์เป็นเหลี่ยมและมีการเรียงตัวเป็นชั้นของผลึก



รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของเถ้าแกลบก่อนการผสม (ก) แสดงถึงขนาดของเถ้าแกลบ (ข)-(ค) แสดงลักษณะพื้นผิวของเถ้าแกลบเรียวยาวและมีรูพรุนขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่ว



รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของปูนขาวก่อนการผสม (ก)-(ข) ขนาดของปูนขาวและการกระจายตัว (ค) ลักษณะพื้นผิวของปูนขาวเป็นเม็ดเล็ก ๆ เกาะกันแน่นหนา

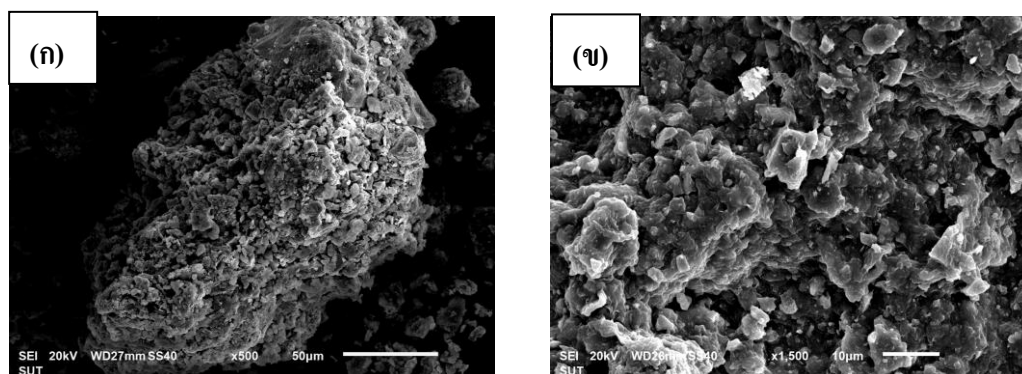


รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของแป้งมันก่อนการผสม (ก)-(ข) ขนาดของแป้งมัน (ค) ลักษณะพื้นผิวของแป้งมันเป็นทรงกลม ผิวเรียบเนียน จับตัวกันเป็นกระจุก

จากผลการวิเคราะห์ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของ แบไรต์ เบนโทไนต์ ถ้ำลอย
 ลิกไนต์ โดโลไมต์ ถ้ำเกลบ ปูนขาว และแป้งมัน ที่กำลังขยายตั้งแต่ 100 ถึง 10,000 เท่า พบว่า
 ลักษณะพื้นผิวแบไรต์ลักษณะพื้นผิวเป็นเหลี่ยมแหลมและมีเศษชิ้นเรียบแหลมเกาะอยู่รอบๆ เม็ด
 หยาบ ขนาดอยู่ระหว่าง 10-50 ไมโครเมตร เบนโทไนต์ลักษณะพื้นผิวเป็นเหลี่ยมมน และมีรูพรุน
 กระจายทั่วเม็ดแต่จำนวนไม่มาก ถ้ำลอยลิกไนต์เป็นทรงกลม มีทั้งส่วนที่ขรุขระและเรียบ ขนาดอยู่
 ระหว่าง 1-100 ไมโครเมตร โดโลไมต์เป็นเหลี่ยมมน ถ้ำเกลบเรียบยาวและมีรูพรุนขนาดเล็กกระจาย
 อยู่ทั่ว ปูนขาวเป็นเม็ดเล็กๆเกาะกันแน่นหนา แป้งมันเป็นทรงกลม ผิวเรียบเนียน ส่วนการกระจายตัว
 ของสารทั้งหมด เม็ดละเอียดส่วนใหญ่กระจายแยกกัน บางส่วนเกาะรอบๆเม็ดหยาบ และบางสาร
 เกาะกันเป็นกลุ่มๆ

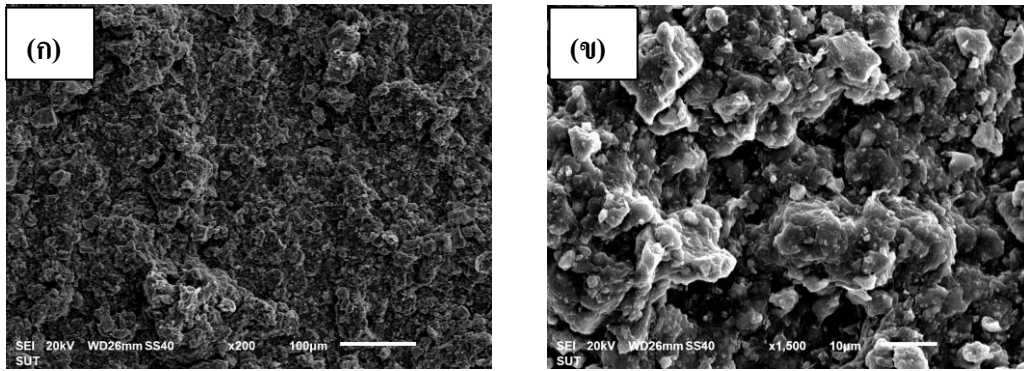
4.3.2 ผลการวิเคราะห์หลังการผสมเป็นน้ำโคลนชุดเจาะ

การเตรียมตัวอย่างหลังการผสมมีวิธีการเช่นเดียวกันกับตัวอย่างก่อนทำการผสม แต่
 สำหรับตัวอย่างในการศึกษาหลังการผสมนี้ ใช้เป็นแผ่นโคลนของน้ำโคลนที่มีสูตรเหมาะสม ตัวอย่าง
 หลังการผสมเป็นน้ำโคลนชุดเจาะแสดงโดยรูปที่ 4.14 ถึง 4.22

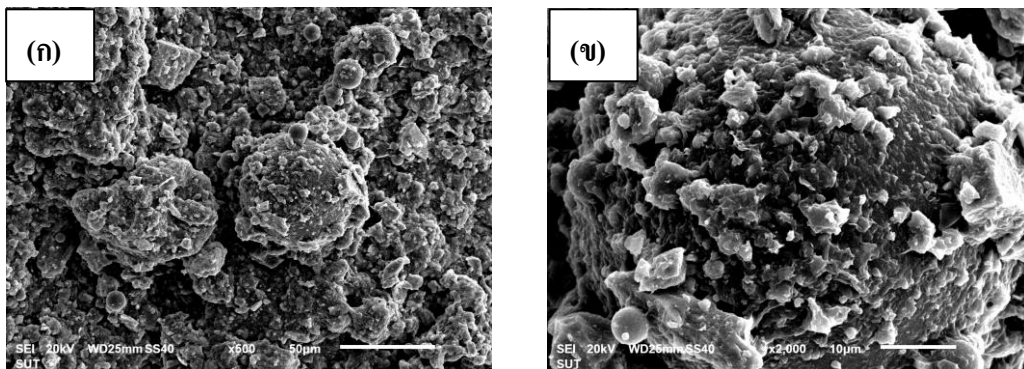


รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 1 (Base) หลังการผสม

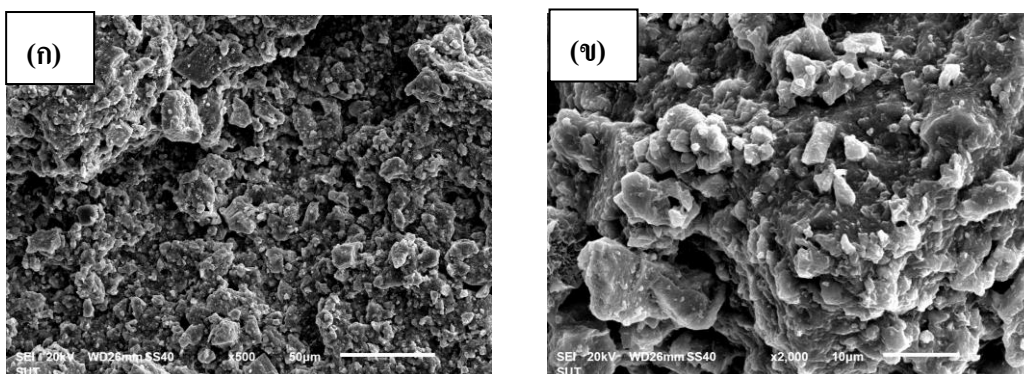
(ก)-(ข) ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ



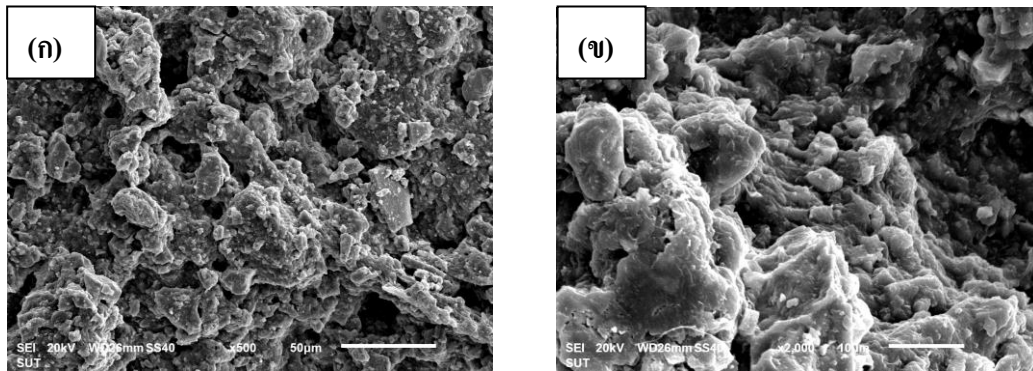
รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 3 หลังการผสม (ก)-(ข)
ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ เช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1



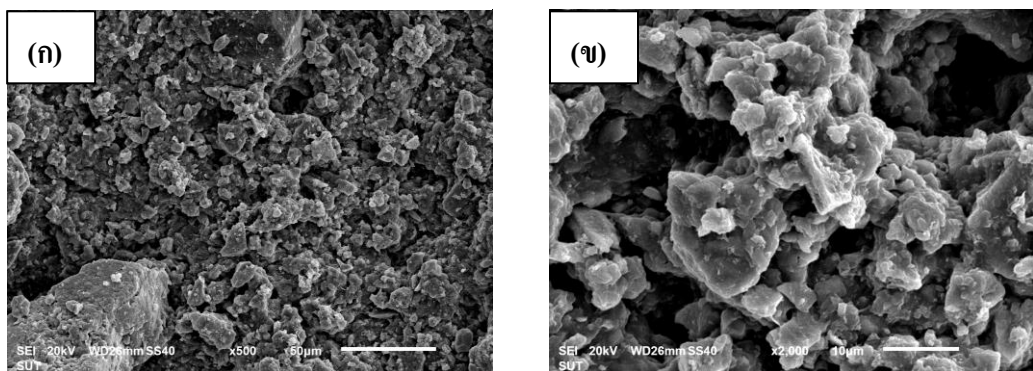
รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 4 หลังการผสม (ก)-(ข)
ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ โดยส่วนประกอบอื่นๆจะมันเกาะตัวกัน
อยู่บนเกล็ดลอย ที่มีลักษณะเป็นทรงกลม



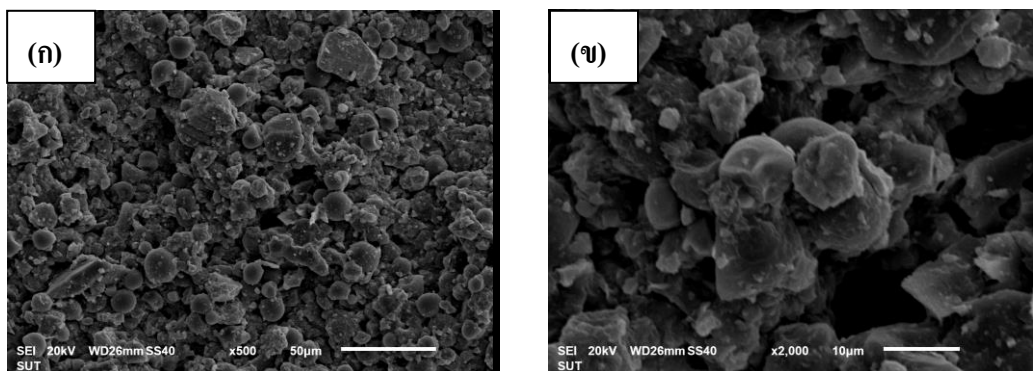
รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 14 หลังการผสม (ก)-(ข)
ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ เช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1



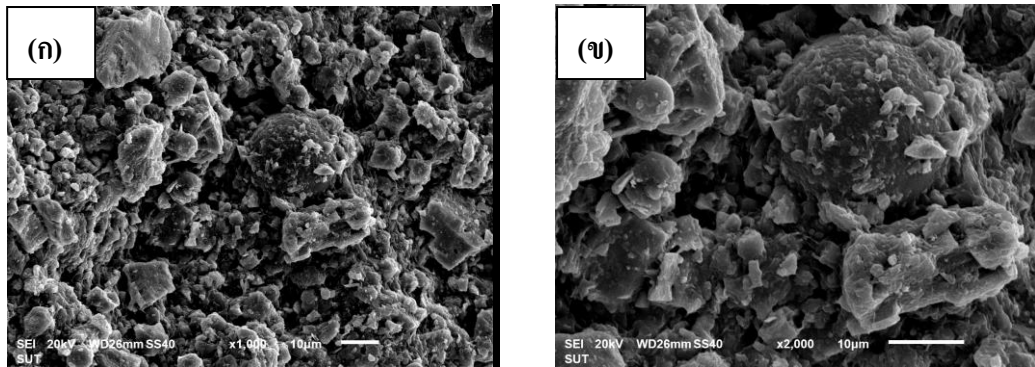
รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 16 หลังการผสม (ก)-(ข)
ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ เช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1



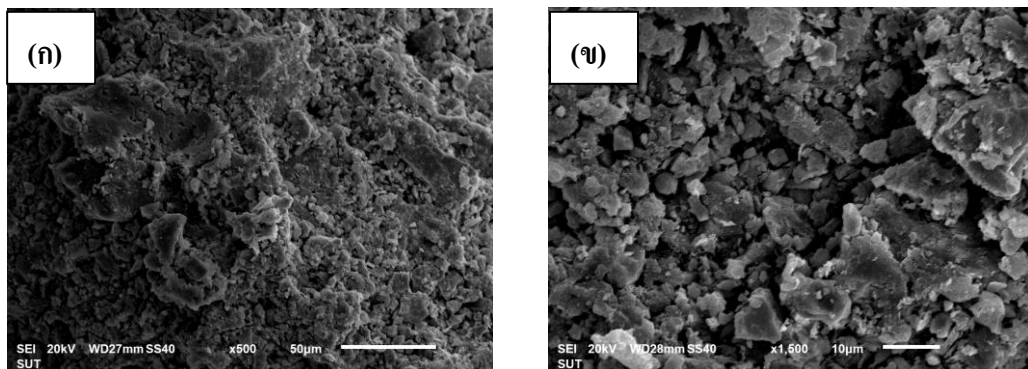
รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 20 หลังการผสม (ก)-(ข)
ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ เช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1



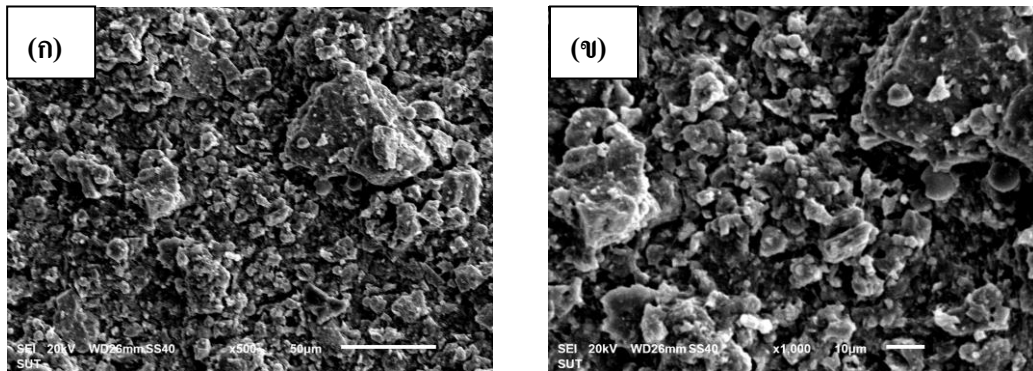
รูปที่ 4.18 แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 24 หลังการผสม (ก)-(ข)
ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ มีการกระจายตัวของกระจุกแป้งมันรวมกับส่วนประกอบอื่นๆ โดยยังเห็น
เป็นลักษณะทรงกลมของกลุ่มแป้งมัน



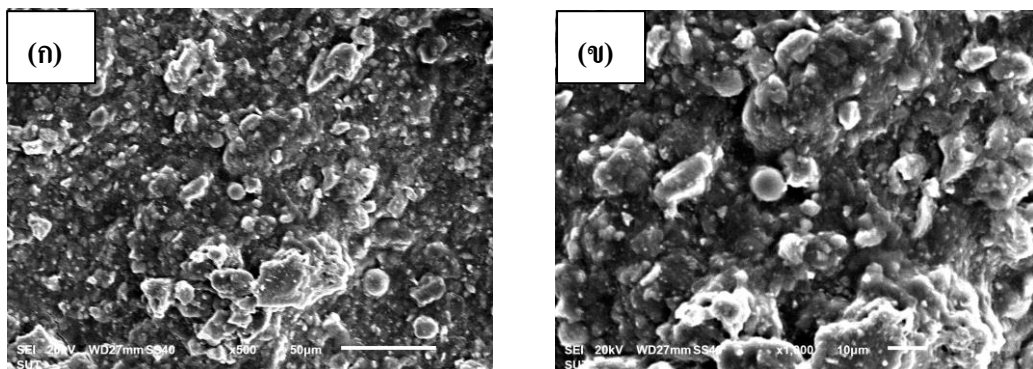
รูปที่ 4.19 แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 54 หลังการผสม (ก)-(ข) ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ มีการกระจายตัวของกลุ่มส่วนประกอบต่างๆที่จับตัวกัน โดยยังเห็นเป็นลักษณะทรงกลมของเถ้าลอย



รูปที่ 4.20 แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 64 หลังการผสม (ก)-(ข) ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ มีการกระจายตัวของกลุ่มส่วนประกอบต่างๆที่จับตัวกัน โดยจะเห็นเป็นลักษณะเศษชิ้นที่เหลื่อมคม



รูปที่ 4.21 แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 67 หลังการผสม (ก)-(ข) ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ มีการกระจายตัวของกลุ่มส่วนประกอบต่างๆที่จับตัวกัน โดยจะเห็นเป็นลักษณะเศษชิ้นที่เหลื่อมมน



รูปที่ 4.22 แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 84 หลังการผสม (ก)-(ข) แสดงลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ แต่มีการหลอมของส่วนประกอบเข้าด้วยกัน

จากผลการวิเคราะห์ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของตัวอย่างหลังการผสมเป็นน้ำโคลนที่กำลังขยายตั้งแต่ 500 ถึง 1,000 เท่า โดยใช้แผ่นโคลน (Mud cake) ในการศึกษา พบว่าลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างมีความขรุขระ มีการจับตัวกันแน่นของส่วนประกอบ และยังคงสภาพอนุภาคของสารนั้นๆ ถึงแม้จะผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 และ 90°C

ตัวอย่างที่ 1 เป็นสูตรพื้นฐาน พบว่ามีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ มีการจับตัวกันและเชื่อมประสานระหว่างส่วนประกอบต่างๆ สำหรับตัวอย่างอื่นๆ ก็มีลักษณะคล้ายตัวอย่างที่ 1 แต่จะพบว่ามีเพียงการจับตัวกันของส่วนประกอบเท่านั้น การเชื่อมประสานยังไม่ดี และในส่วนตัวอย่างที่ 24 ที่ใช้แป้งมันเป็นสารตัวเติมผสมกับน้ำโคลน ที่อุณหภูมิ 30°C มีการกระจายตัวของกระจุกแป้งมันรวมกันกับส่วนประกอบอื่นๆ โดยยังเห็นเป็นลักษณะทรงกลมของกลุ่มแป้งมัน และตัวอย่างที่ 84 ที่ใช้แป้งมันเป็นสารตัวเติมผสมกับน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ที่อุณหภูมิ 90°C แป้งมันมีการยึดเกาะรวมส่วนประกอบอื่นๆ เข้าเป็นเนื้อเดียวกันเกือบทั้งหมด

4.4 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องมือปฏิบัติการการขุดเจาะ (Drilling laboratory apparatus)

4.4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านวิทยาการกระแสน้ำโคลนขุดเจาะ (Rheological property)

ความสัมพันธ์ของค่าความเค้นเฉือน (Shear stress) กับอัตราการเฉือน (Shear rate) ได้จากการคำนวณค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ทั้ง 6 ค่าของน้ำโคลนขุดเจาะ จากเครื่องวัดความหนืด (Viscometer) ที่ความเร็วรอบ 3, 6, 100, 200, 300 และ 600 รอบต่อนาที ดังสมการต่อไปนี้

$$\tau = 0.01066\phi_1 N \quad (4.1)$$

$$\gamma = 1.703 \text{rpm} \quad (4.2)$$

เมื่อ τ คือ ความเค้นเฉือน (lb_f/ft^2)

γ คือ อัตราการเฉือน (sec^{-1})

ϕ_1 คือ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดความหนืด (Viscometer dial reading)

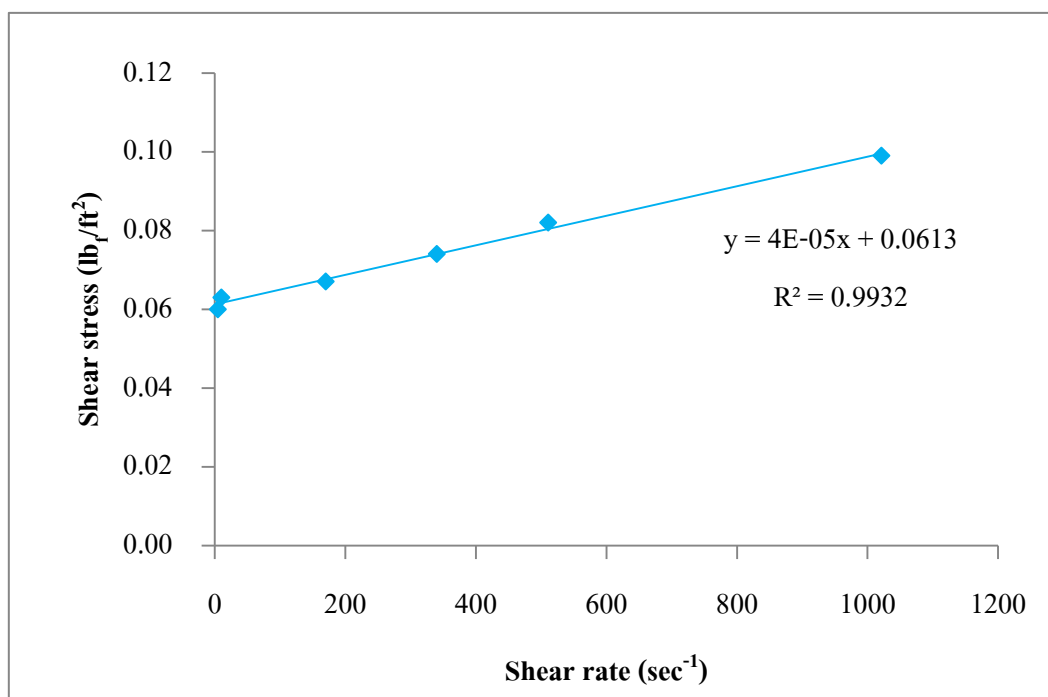
N คือ ปัจจัยช่วงการยึดของทอร์คของสปริง

rpm คือ ความเร็วการหมุน

ผลจากการคำนวณความเค้นเฉือนและอัตราการเฉือน แสดงในตารางที่ 4.6 และกราฟความสัมพันธ์ตามแบบจำลองบิงแฮมพลาสติก (Bingham Plastic model) แสดงโดยรูปที่ 4.23

ตารางที่ 4.6 ผลของความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือนของน้ำโคลนชุดเจาะ

รอบต่อนาที (rpm)	เฉลี่ยค่าที่อ่านได้	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	46	1021.8	0.099
300	38	510.9	0.082
200	34	340.6	0.074
100	31	170.3	0.067
6	29	10.2	0.063
3	28	5.1	0.060

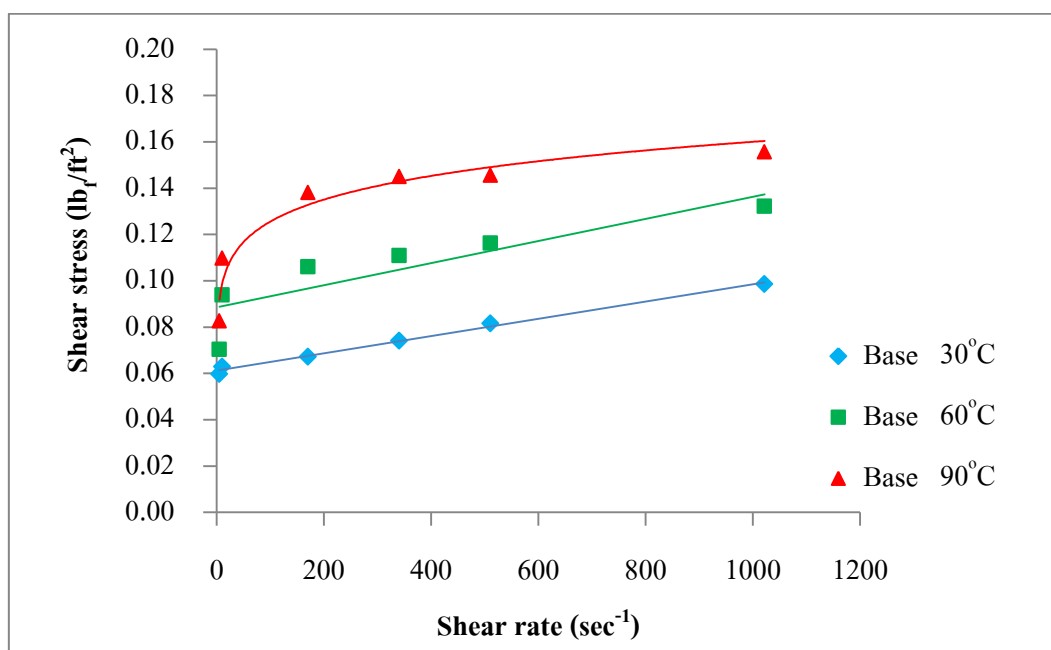


รูปที่ 4.23 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลน ที่เบนโทไนต์ 60 กรัม

จากการทดสอบพบว่าน้ำโคลนชุดเจาะเป็นของไหลแบบนอน-นิวโตเนียน (Non-newtonian fluids) ซึ่งมีลักษณะการไหลแบบพลาสติก (Plastic fluid flow) คือการไหลที่เมื่อออกแรงเค้นจนถึงความเค้นคราก (Yield stress) แล้วของไหลนั้นจะมีพฤติกรรมเหมือนของไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian fluids) และการไหลแบบบิงแฮมพลาสติก (Bingham plastic flow) คือมีการออกแรงเริ่มต้นค่าหนึ่งเพื่อทำให้ของไหลไหลได้ เรียกแรงกระทำนี้ว่า แรงเฉือนวิกฤต (Critical shear stress)

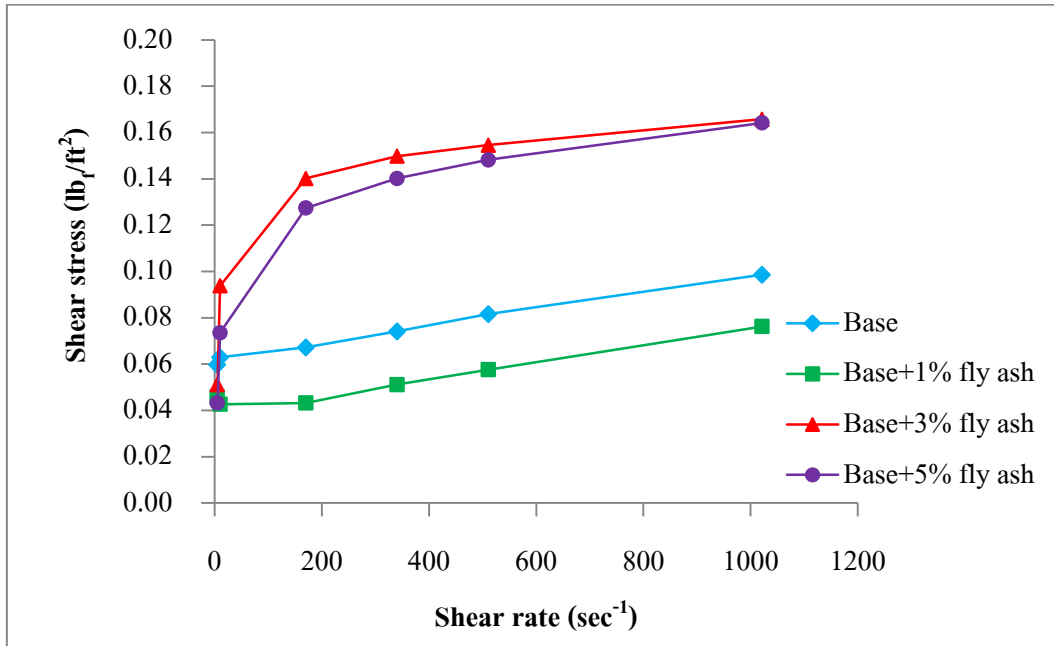
เมื่อเริ่มมีการไหลแล้วจะมีพฤติกรรมเหมือนของไหลแบบซูโดพลาสติก (Pseudoplastic fluids) ดังนั้นแบบจำลองด้านวิทยากระแสที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างน้ำโคลนคือ แบบจำลองบิงแฮมพลาสติก ในการศึกษาแบ่งตัวอย่างน้ำโคลนออกเป็นหลายกลุ่มที่แตกต่างกัน อุณหภูมิที่ใช้ศึกษาคือ 30 60 และ 90°C โดยผลที่ได้จากการทดสอบแสดงด้วยกราฟของค่าความเหนียวแน่น (Consistency) รูปที่ 4.24 ถึง 4.51

จากรูปที่ 4.24 แสดงค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลน (Base) ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C พบว่ามีค่าความเหนียวแน่นเพิ่มขึ้น และแสดงพฤติกรรมของไหลแบบซูโดพลาสติก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

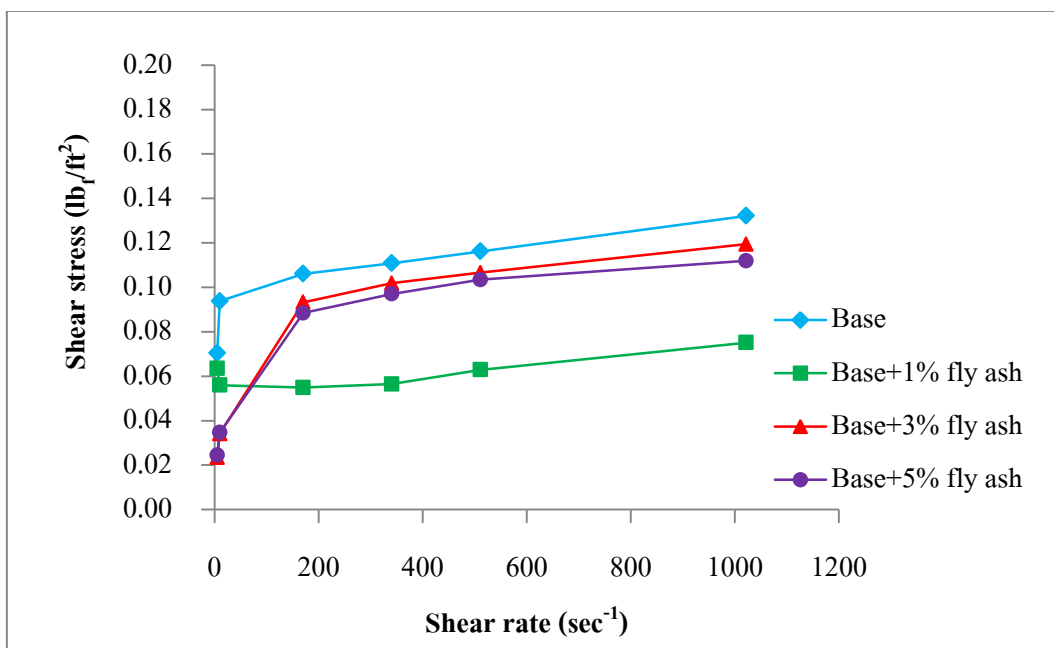


รูปที่ 4.24 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลน ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

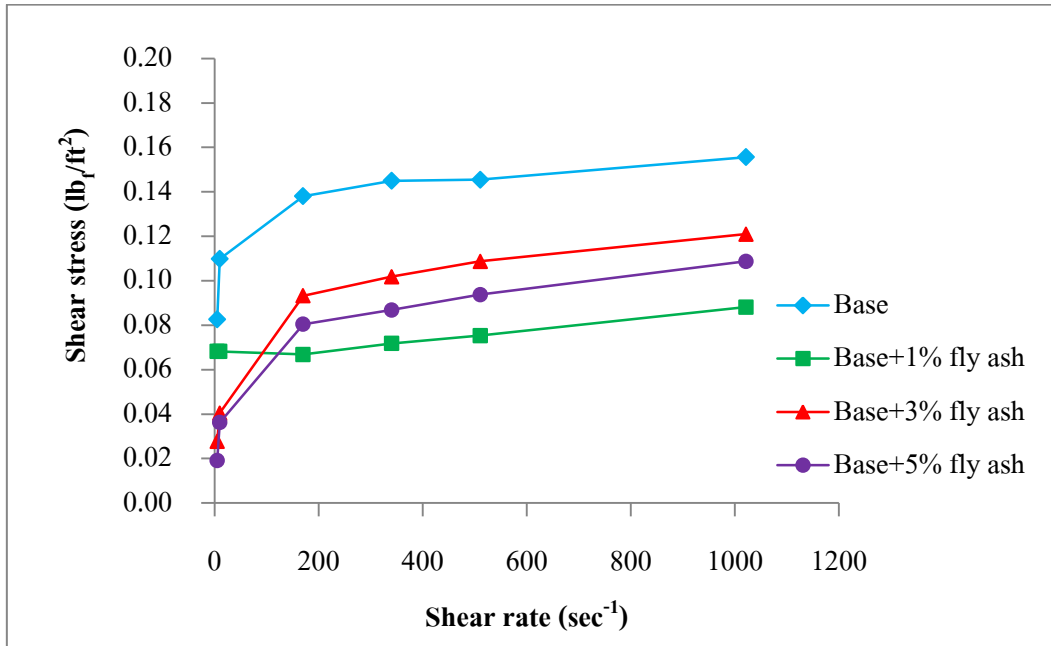
จากรูปที่ 4.25 และ 4.27 แสดงค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนผสมเถาลอย พบว่ามีค่าความเหนียวแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ในขณะที่มีค่าความเหนียวแน่นลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 4.25 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 30°C

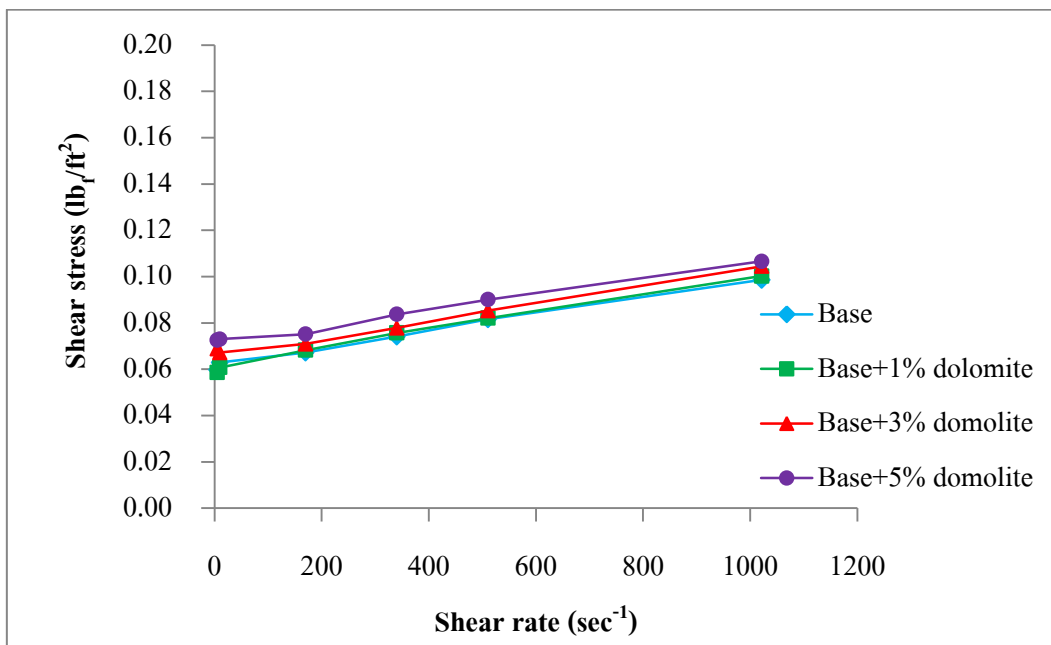


รูปที่ 4.26 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 60°C

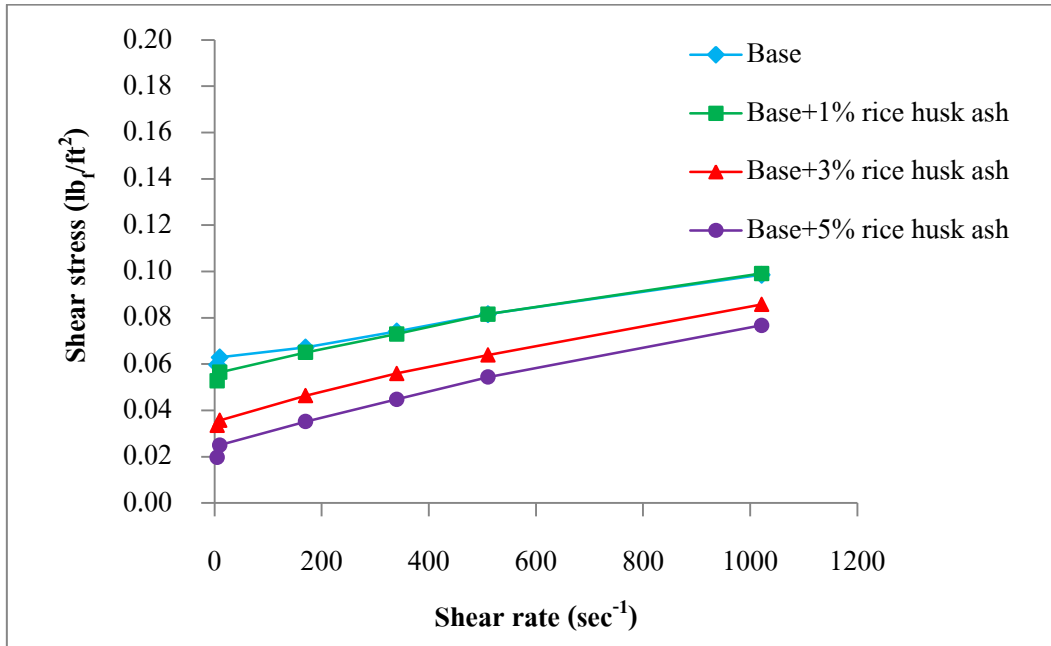


รูปที่ 4.27 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 90°C

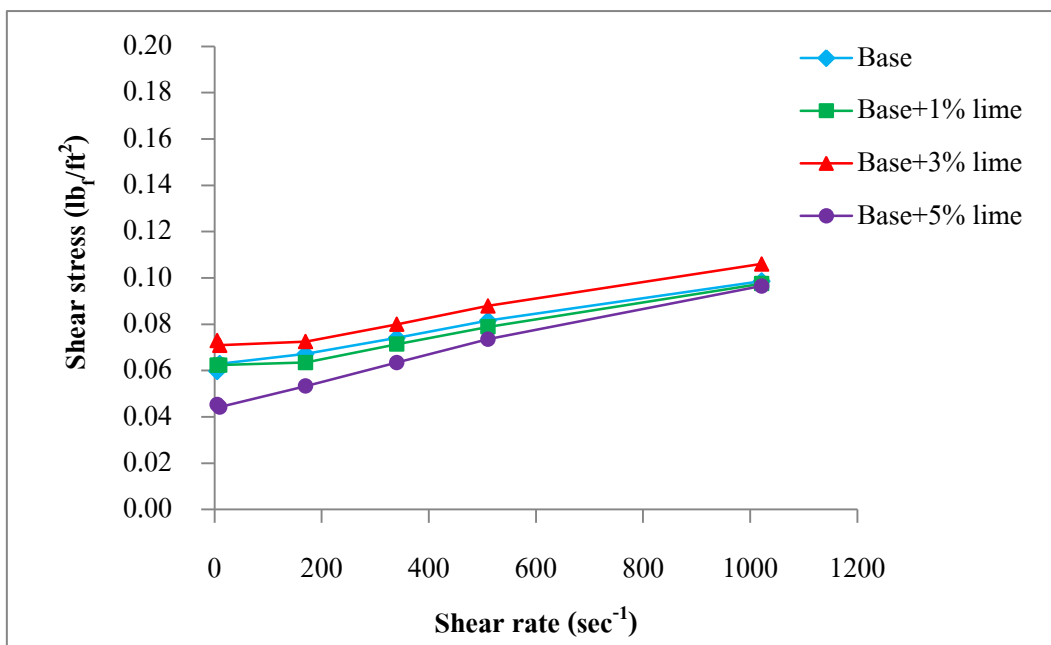
จากรูปที่ 4.28 ถึง 4.31 แสดงค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนผสมสารตัวเติม ได้แก่ โดโลไมต์ ปูนขาว และแป้งมัน พบว่ามีค่าความเหนียวแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ในขณะที่ น้ำโคลนผสมเถ้าเกลบ มีค่าความเหนียวแน่นลดลง เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น



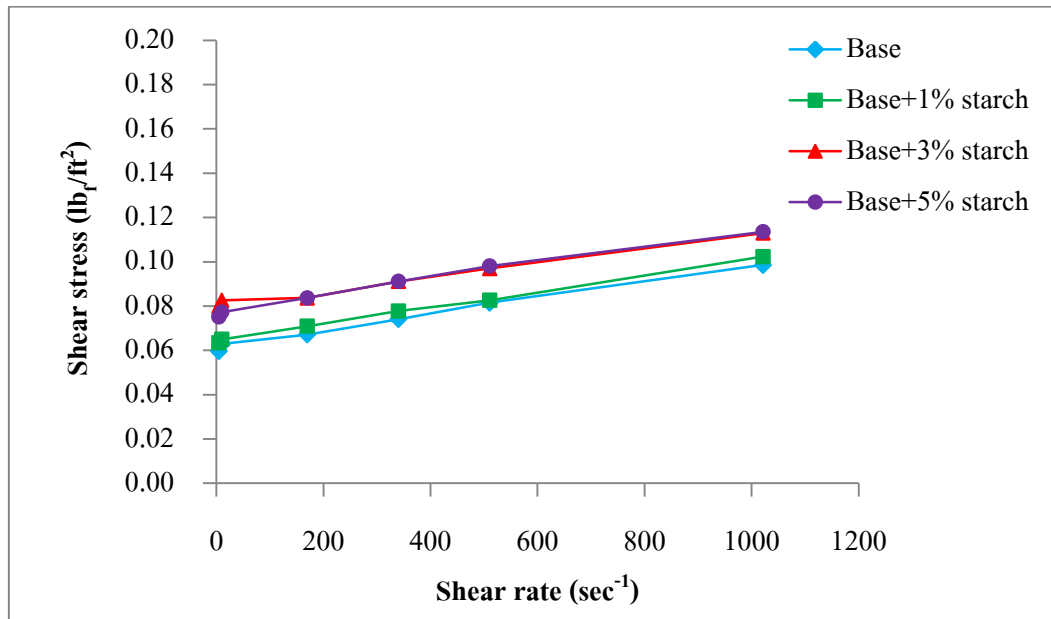
รูปที่ 4.28 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนผสมโดโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 30°C



รูปที่ 4.29 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนผสมเถ้าแกลบ ที่อุณหภูมิ 30°C

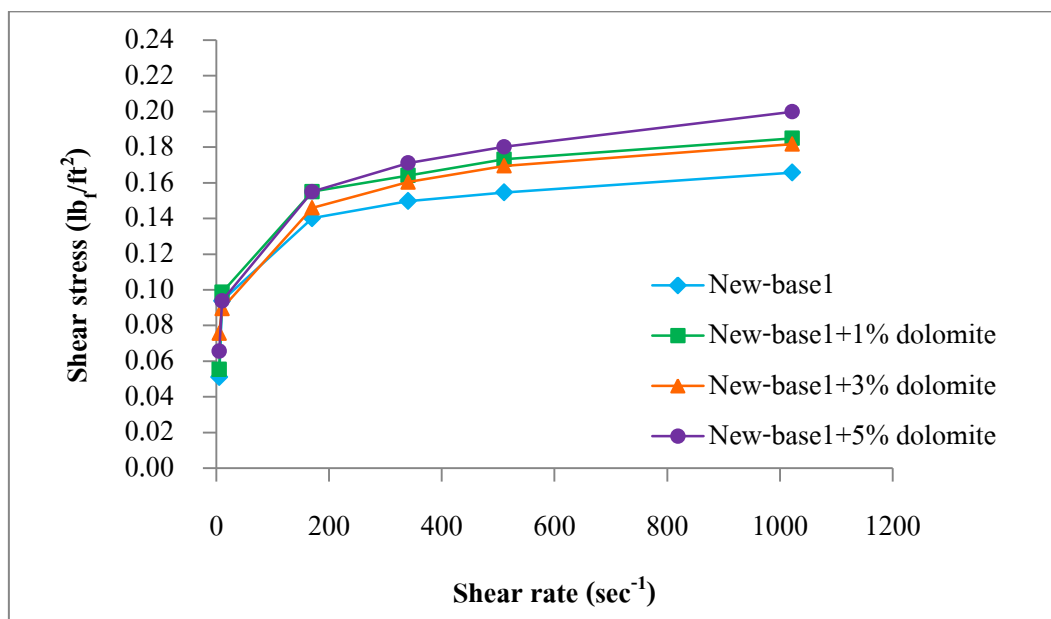


รูปที่ 4.30 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนผสมปูนขาว ที่อุณหภูมิ 30°C

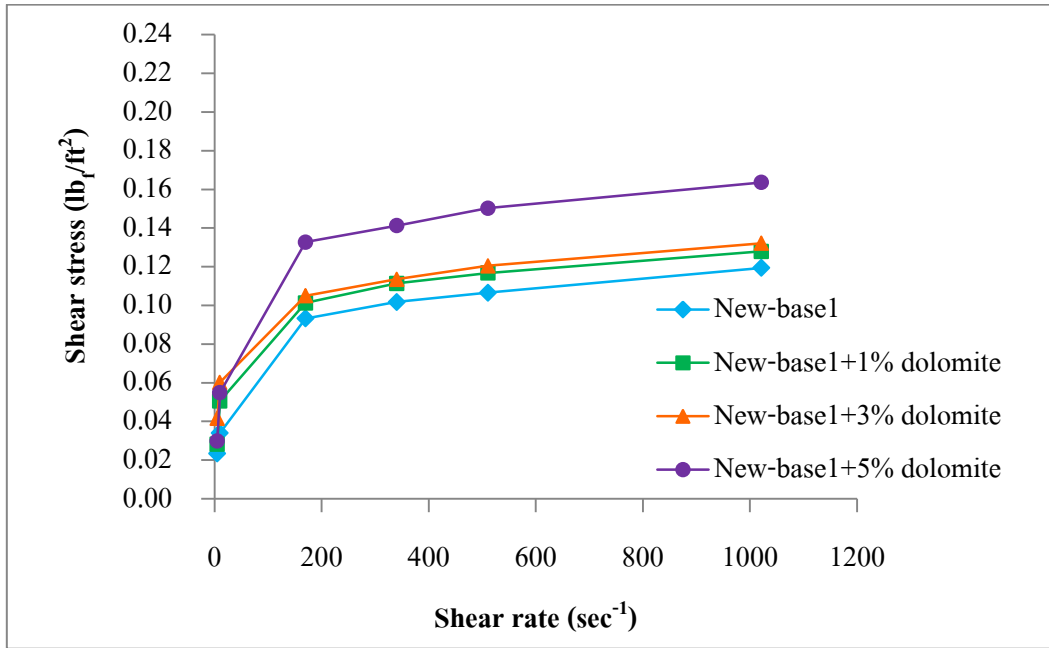


รูปที่ 4.31 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนผสมแป้งมัน ที่อุณหภูมิ 30°C

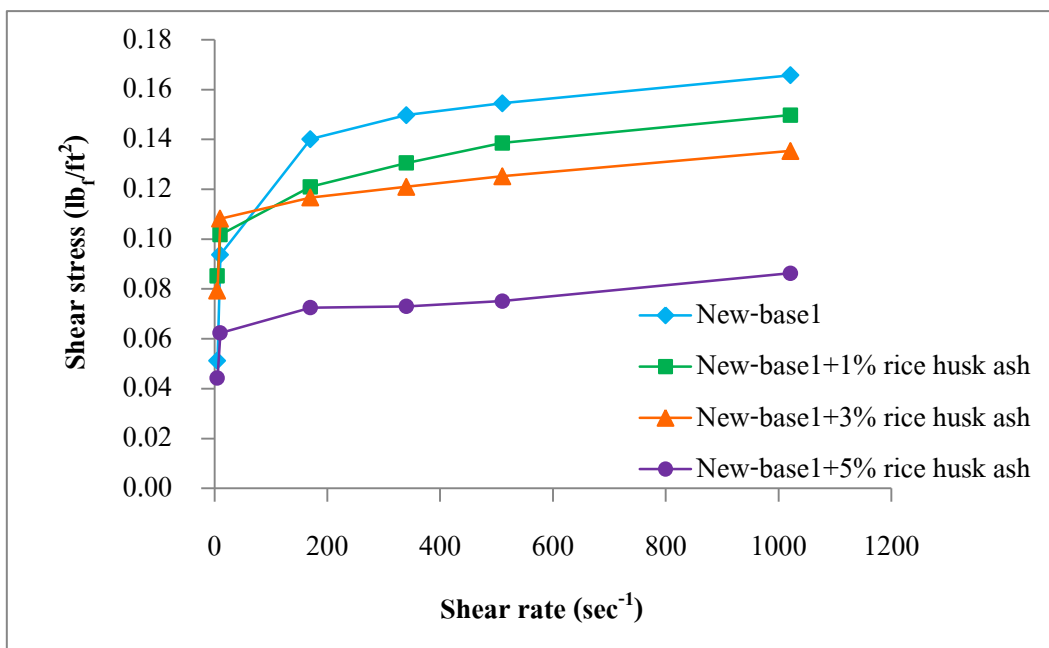
จากรูปที่ 4.32 และ 4.39 แสดงค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารตัวเดิม ได้แก่ โคโลไมต์ และปูนขาว พบว่ามีค่าความเหนียวแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่มีค่าความเหนียวแน่นลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมเถ้าแกลบ มีค่าความเหนียวแน่นลดลง เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมันมีค่าความเหนียวแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น



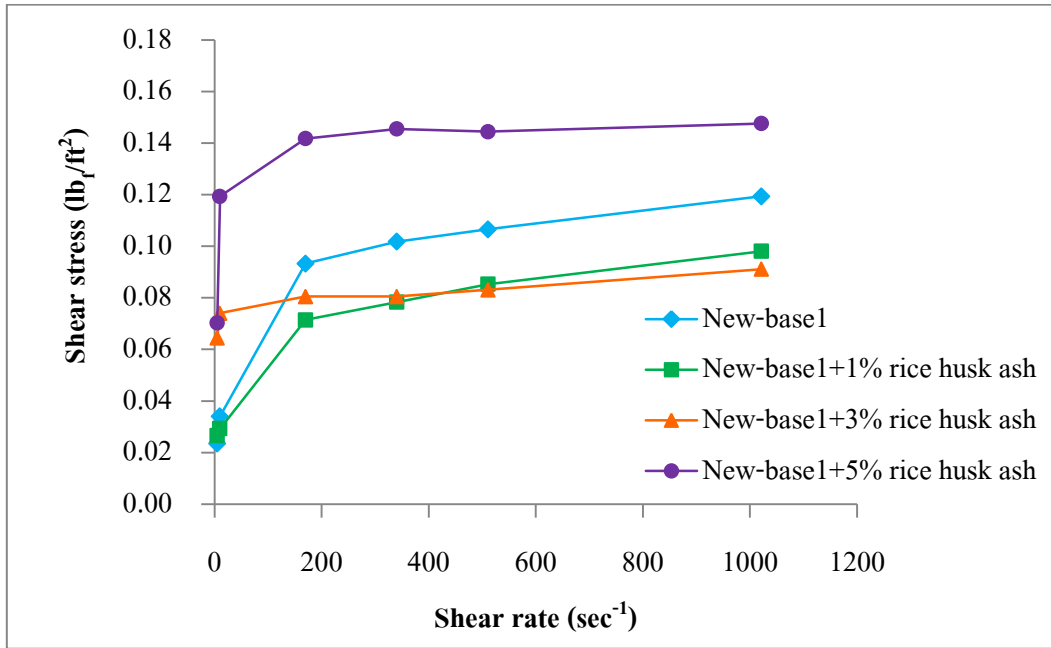
รูปที่ 4.32 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมโคโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 30°C



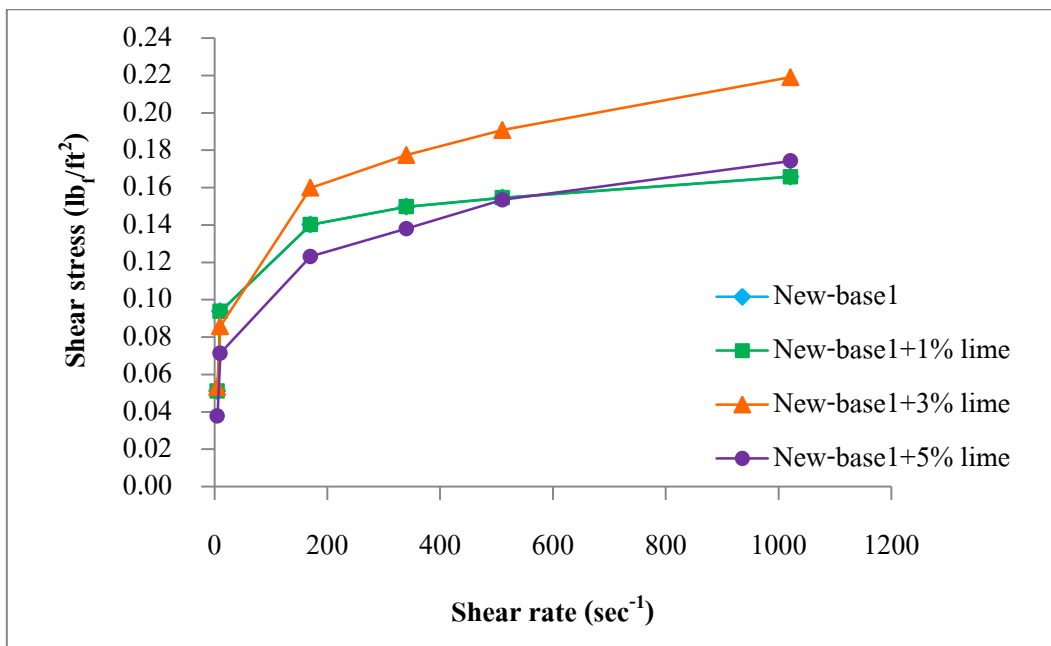
รูปที่ 4.33 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมโดโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 60°C



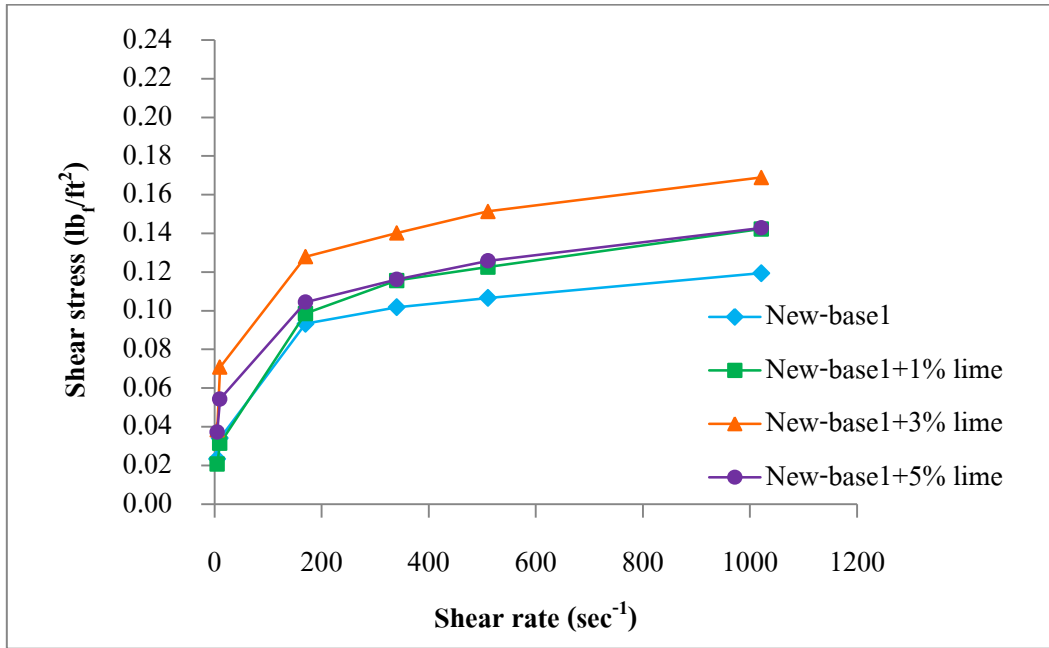
รูปที่ 4.34 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมเถ้าแกลบ ที่อุณหภูมิ 30°C



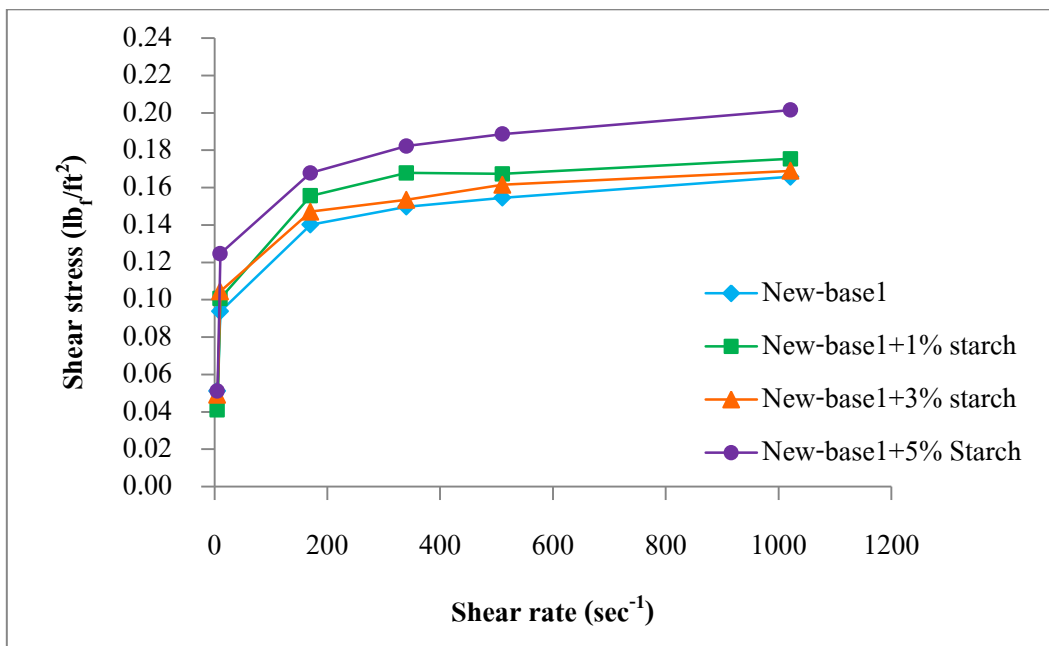
รูปที่ 4.35 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมเถ้าแกลบ ที่อุณหภูมิ 60°C



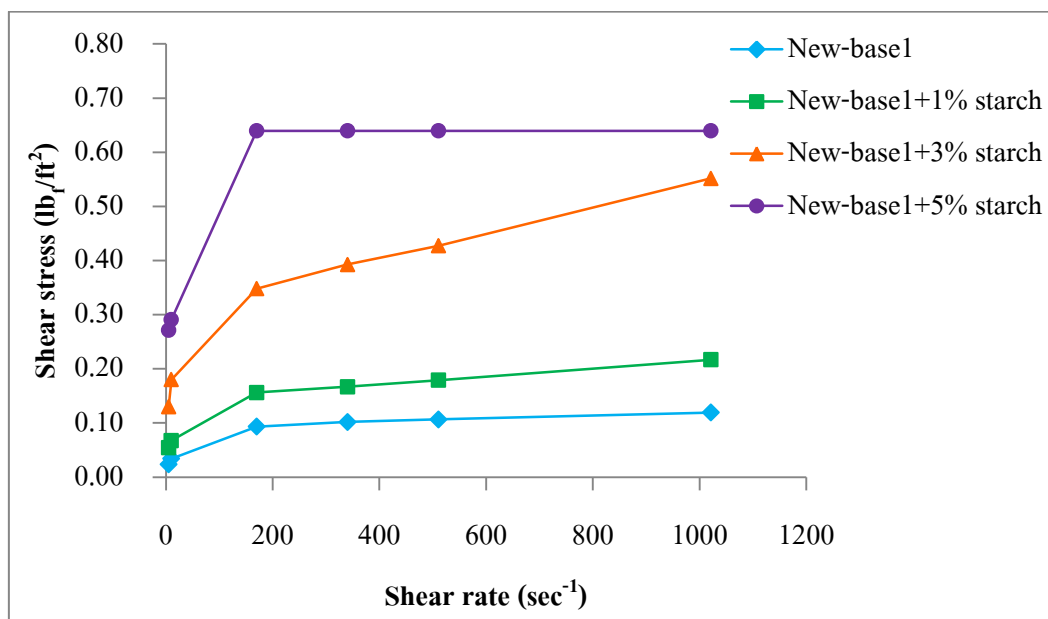
รูปที่ 4.36 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมปูนขาว ที่อุณหภูมิ 30°C



รูปที่ 4.37 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมปูนขาว ที่อุณหภูมิ 60°C

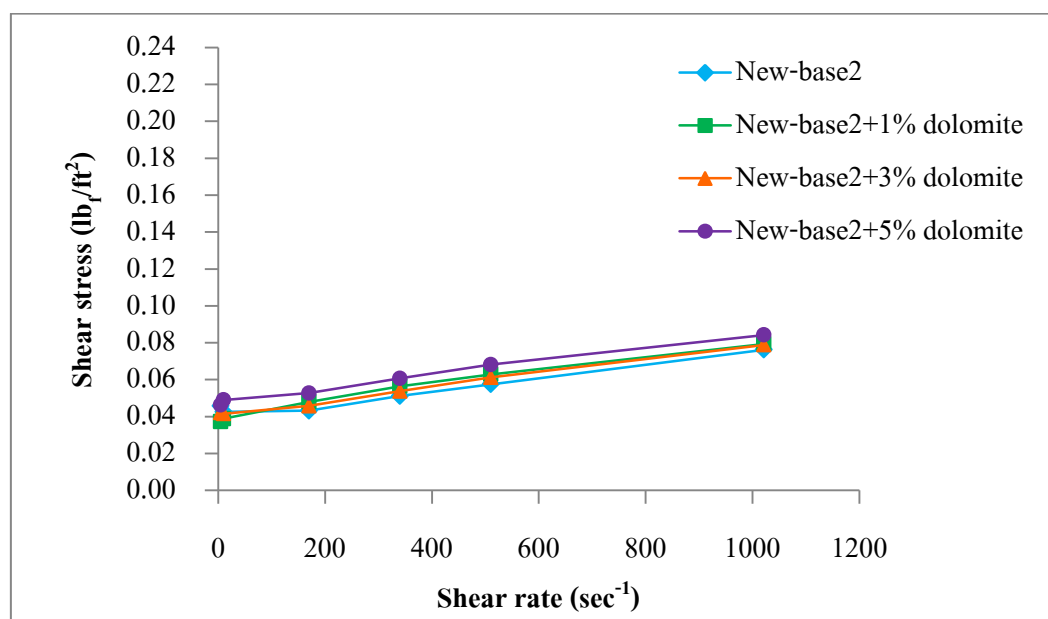


รูปที่ 4.38 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมัน ที่อุณหภูมิ 30°C

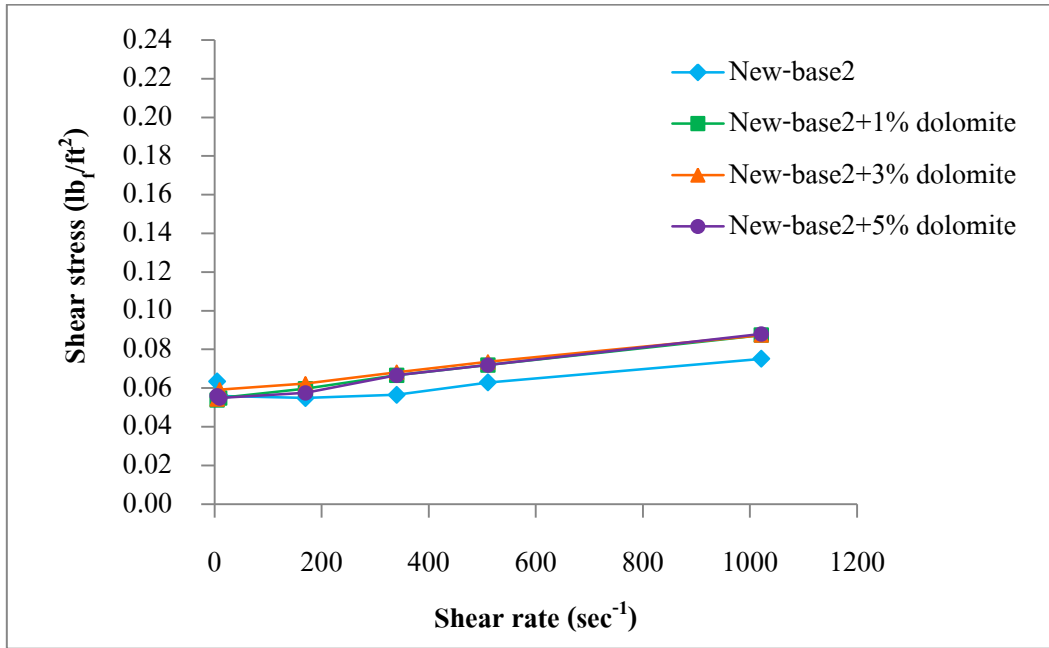


รูปที่ 4.39 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมัน ที่อุณหภูมิ 60°C

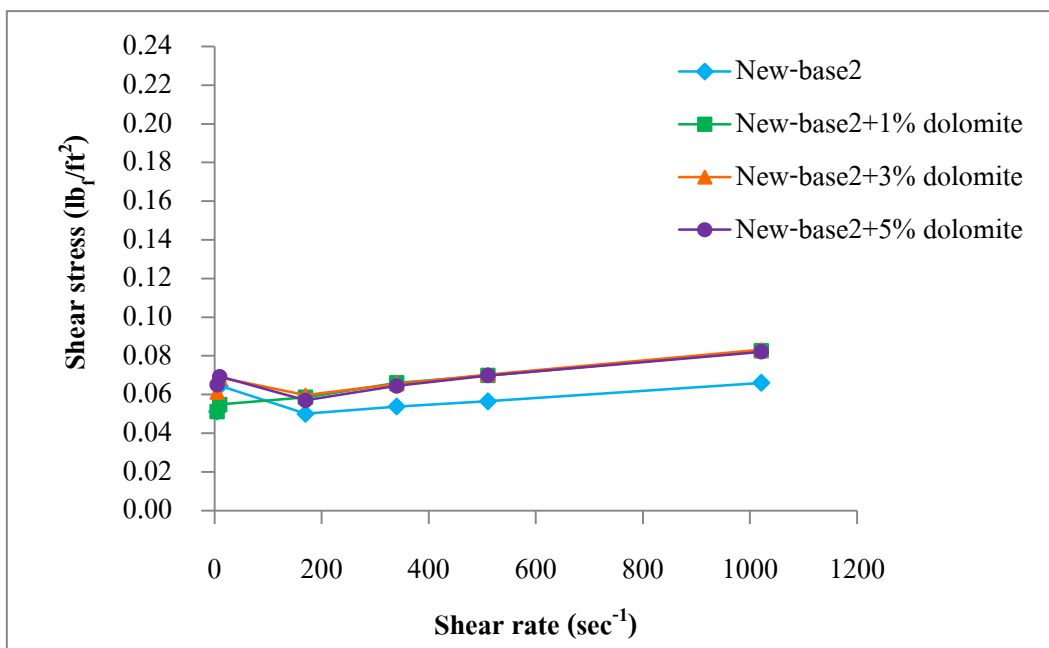
จากรูปที่ 4.40 และ 4.51 แสดงค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเดิม ได้แก่ โดโลไมต์ และแป้งมัน พบว่ามีค่าความเหนียวแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่น้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมเถ้าแกลบ มีค่าความเหนียวแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่มีค่าความเหนียวแน่นลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาว มีค่าความเหนียวแน่นลดลง เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น



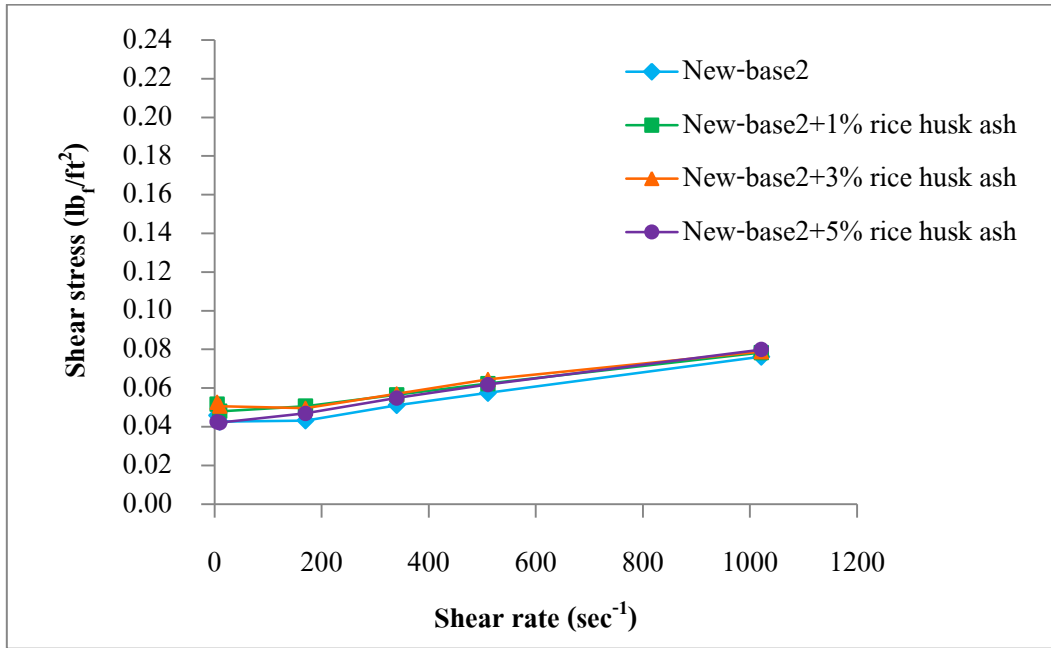
รูปที่ 4.40 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมโดโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 30°C



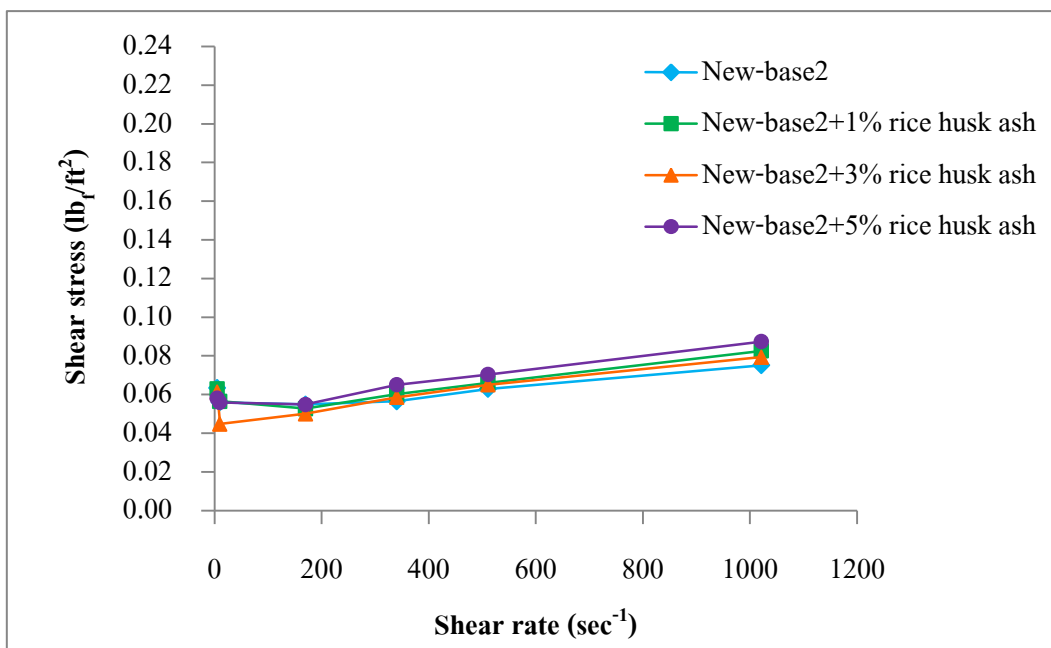
รูปที่ 4.41 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมโดโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 60°C



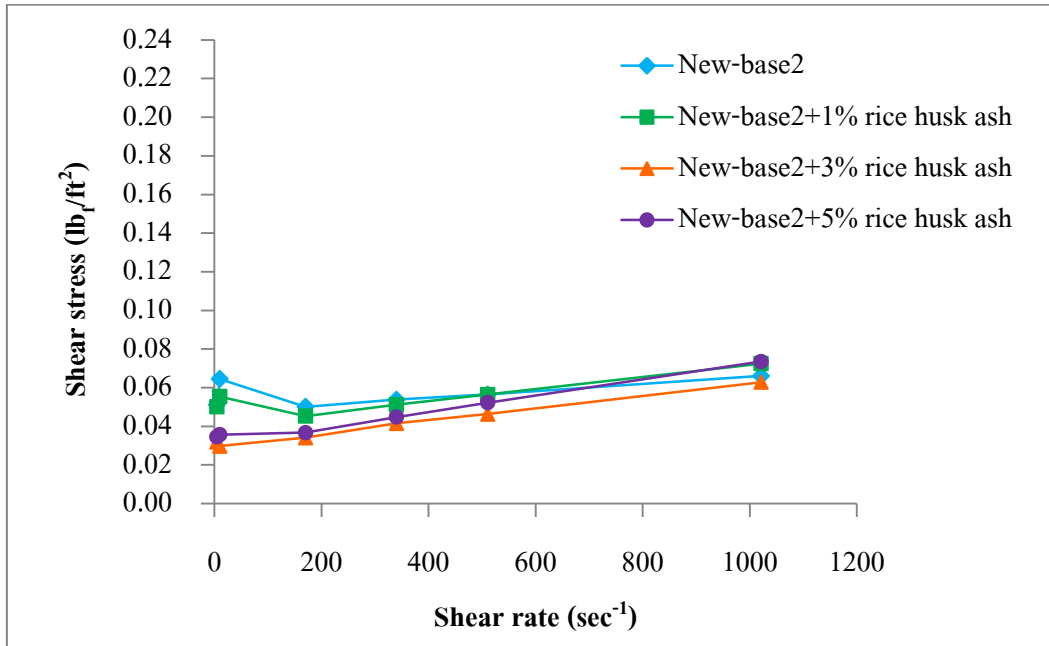
รูปที่ 4.42 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมโดโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 90°C



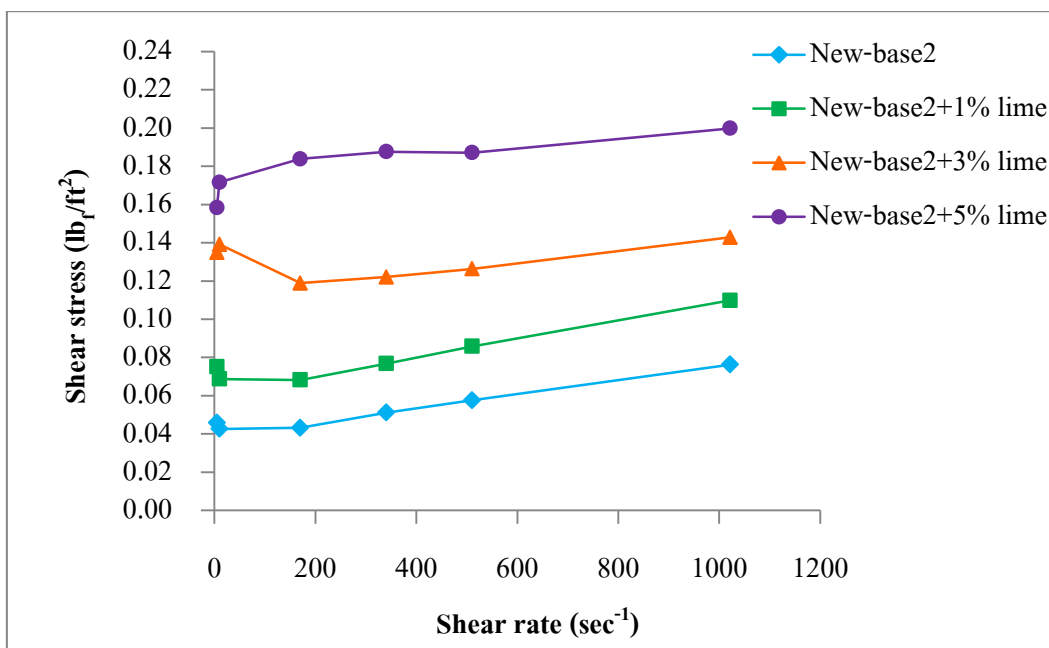
รูปที่ 4.43 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมเถ้าแกลบ ที่อุณหภูมิ 30°C



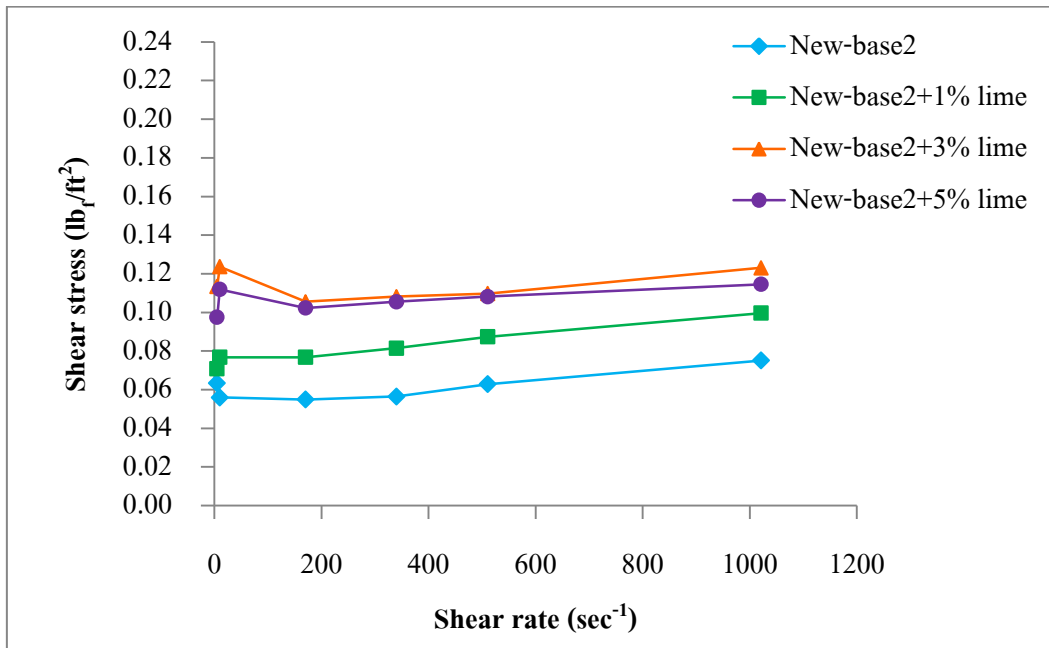
รูปที่ 4.44 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมเถ้าแกลบ ที่อุณหภูมิ 60°C



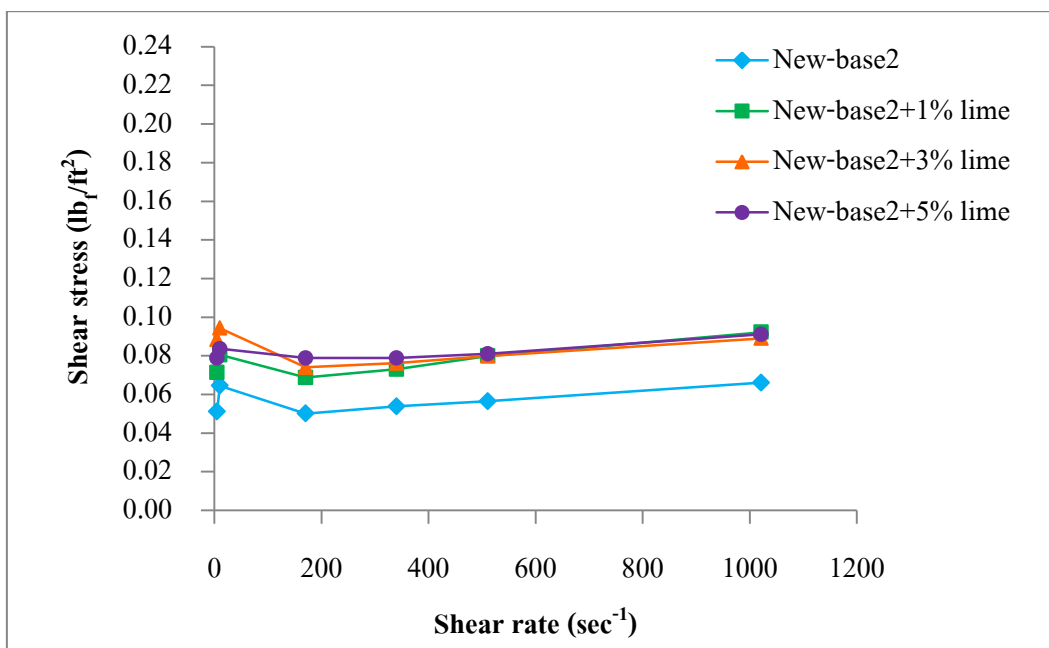
รูปที่ 4.45 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมเถ้าแกลบ ที่อุณหภูมิ 90°C



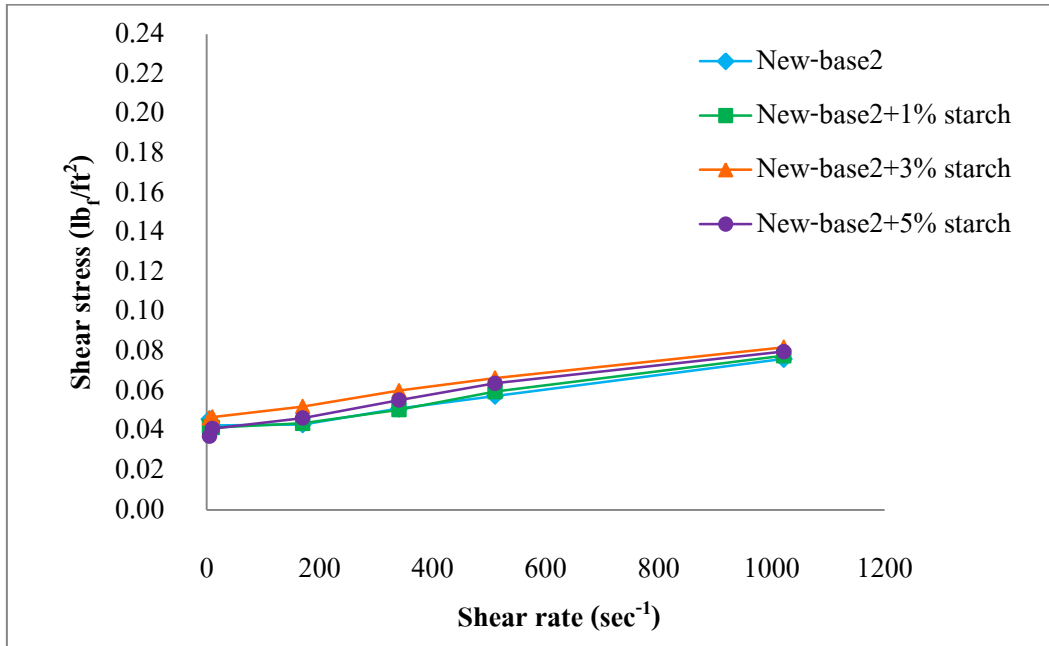
รูปที่ 4.46 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาว ที่อุณหภูมิ 30°C



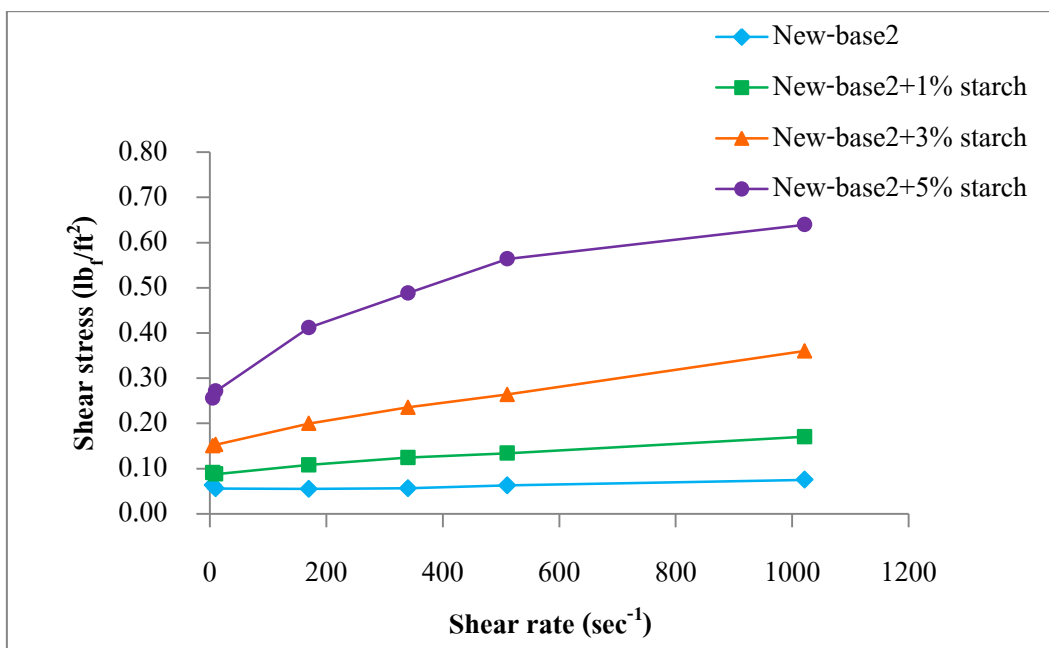
รูปที่ 4.47 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาว ที่อุณหภูมิ 60°C



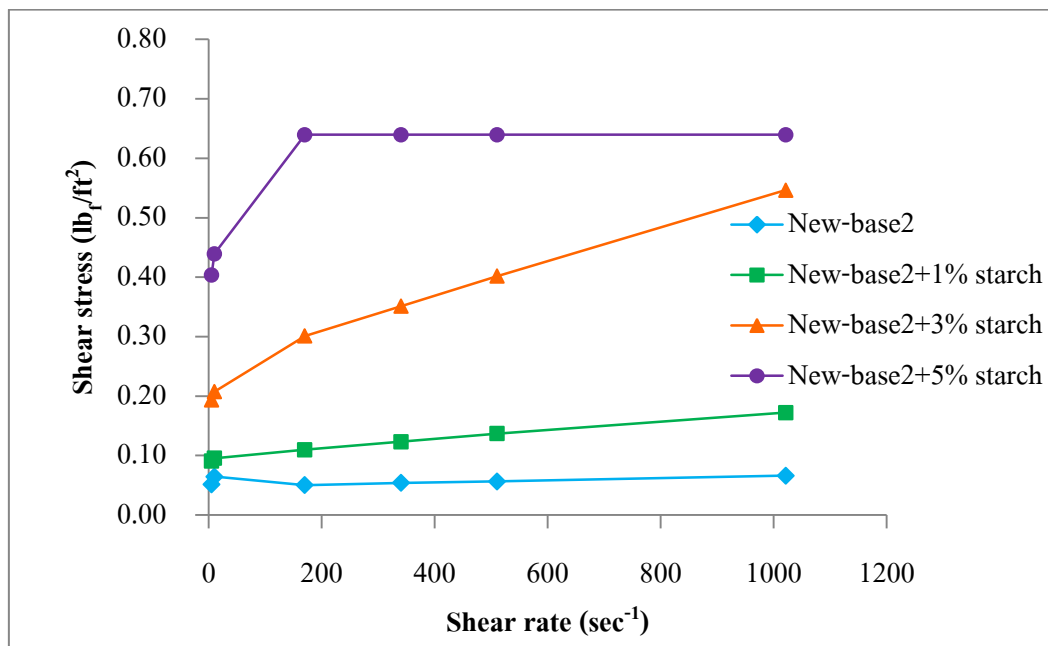
รูปที่ 4.48 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาว ที่อุณหภูมิ 90°C



รูปที่ 4.49 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมัน ที่อุณหภูมิ 30°C



รูปที่ 4.50 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมัน ที่อุณหภูมิ 60°C



รูปที่ 4.51 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมัน ที่อุณหภูมิ 90°C

ผลของพารามิเตอร์ด้านวิทยากระแสของน้ำโคลนสูตรพื้นฐาน น้ำโคลนผสมถั่วลันเตา และสารตัวเติม แสดงในตารางที่ 4.7 ประกอบด้วยค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ความหนืดพลาสติก (Plastic viscosity) จุดคราก (Yield point) ดัชนีพฤติกรรมการไหล (n) ดัชนีความเหนียวแน่นของไหล (k) ความแข็งแรงเจลเริ่มต้น (Initial gel strength) และความแข็งแรงเจลที่ 10 นาที (10 minute gel strength) น้ำโคลนแบ่งออกเป็น 8 ส่วนตามสูตรพื้นฐาน และอุณหภูมิดังนี้ สูตรพื้นฐานที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C สูตรพื้นฐานตัวใหม่ 1 ที่อุณหภูมิ 30 และ 60°C และสูตรพื้นฐานตัวใหม่ 2 ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C ข้อมูลจากการทดสอบด้านวิทยากระแสทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก ก ในส่วนพารามิเตอร์พฤติกรรมการไหลของแบบจำลองเพาเวอร์ลอว์ ได้แก่ ค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (Flow behavior index, n) และดัชนีความเหนียวแน่นของไหล (Fluid consistency index, k) คำนวณได้จากสมการที่ 4.1 และ 4.2 ค่าดัชนี (n) แสดงถึงการไหลแบบซูโดพลาสติก (Pseudo-plastic flow) โดยมีค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (Flow behavior index, n) น้อยกว่า 1 โดยพฤติกรรมการไหลของน้ำโคลนดั้งเดิมปกติจะปรากฏอยู่ระหว่างแบบจำลองบิงแฮมพลาสติกกับเพาเวอร์ลอว์ จึงเรียกน้ำโคลนนี้ว่าเป็น “ของไหลแบบซูโดพลาสติก”

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ด้านวิทยากระแสน้ำโคลนชุดเจาะผสมสารตัวเติม

อุณหภูมิ (°C)	ตัวอย่างที่	สูตร	ความหนืด ปรากฏ (cP)	แบบจำลองบิงแฮมพลาสติก		แบบจำลองเพาเวอร์ลอว์		ความแข็งแรง ของเจลเริ่มต้น (lb _f /100 ft ²)	ความแข็งแรง ของเจล 10 นาที (lb _f /100 ft ²)
				ความหนืด พลาสติก(cP)	จุดคราก (lb _f /100 ft ²)	n	K (eq'cP)		
30	1	Base	23	8	30	0.27	3554	27	31
	4	Base+1%fly ash	18	9	18	0.41	1088	19	26
	5	Base+3%fly ash	39	5	67	0.10	19598	21	22
	6	Base+5%fly ash	39	8	62	0.15	14097	22	19
	13	Base+1%dolomite	24	9	30	0.29	3262	22	33
	14	Base+3%dolomite	25	9	31	0.29	3286	28	38
	15	Base+5%dolomite	25	8	35	0.24	4735	33	37
	16	Base+1%rice husk ash	23	8	30	0.28	3365	22	28
	17	Base+3%rice husk ash	20	10	20	0.42	1087	15	19
	18	Base+5%rice husk ash	18	11	15	0.50	584	9	9
	19	Base+1%lime	23	9	28	0.31	2795	24	33
	20	Base+3%lime	25	9	33	0.27	3898	31	40

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ด้านวิทยากระแสน้ำโคลนชุดเจาะผสมสารตัวเติม (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวอย่างที่	สูตร	ความหนืด ปรากฏ (cP)	แบบจำลองบิงแฮมพลาสติก		แบบจำลองเพาเวอร์ลอว์		ความแข็งแรง ของเจลเริ่มต้น (lb _f /100 ft ²)	ความแข็งแรง ของเจล 10 นาที (lb _f /100 ft ²)
				ความหนืด พลาสติก(cP)	จุดคราก (lb _f /100 ft ²)	n	K (eq'cP)		
30	21	Base+5%lime	23	11	24	0.39	1533	21	26
	22	Base+1%starch	24	9	30	0.31	2880	26	35
	23	Base+3%starch	27	8	38	0.22	5880	34	41
	24	Base+5%starch	27	7	39	0.21	6287	32	40
60	2	Base	31	8	47	0.19	8713	30	32
	7	Base+1%fly ash	18	6	24	0.22	3822	28	35
	8	Base+3%fly ash	28	5	46	0.16	9198	10	13
	9	Base+5%fly ash	26	4	45	0.11	12124	12	10
90	3	Base	37	5	64	0.10	19001	37	42
	10	Base+1%fly ash	16	5	22	0.20	3973	27	35
	11	Base+3%fly ash	28	6	45	0.15	9947	11	13
	12	Base+5%fly ash	26	7	37	0.21	5945	5	10

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ด้านวิทยากระแสน้ำโคลนชุดเจาะผสมสารตัวเติม (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวอย่างที่	สูตร	ความหนืด ปรากฏ (cP)	แบบจำลองบิงแฮมพลาสติก		แบบจำลองเพาเวอร์ลอว์		ความแข็งแรง ของเจลเริ่มต้น (lb _f /100 ft ²)	ความแข็งแรง ของเจล 10 นาที (lb _f /100 ft ²)
				ความหนืด พลาสติก(cP)	จุดคราก (lb _f /100 ft ²)	n	K (eq'cP)		
30	5	New-base1	39	5	67	0.10	19598	21	22
	25	New-base1 +1%dolomite	43	6	76	0.09	22985	32	18
	26	New-base1+ 3%dolomite	43	6	74	0.10	21763	31	34
	27	New-base1+ 5%dolomite	47	9	75	0.15	16763	24	25
	31	New-base1+1%rice husk ash	35	5	60	0.11	16481	21	36
	32	New-base1+3%rice husk ash	32	5	54	0.11	14886	31	34

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ด้านวิทยากระแสน้ำโคลนชุดเจาะผสมสารตัวเติม (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวอย่างที่	สูตร	ความหนืด ปรากฏ (cP)	แบบจำลองบิงแฮมพลาสติก		แบบจำลองเพาเวอร์ลอว์		ความแข็งแรง ของเจลเริ่มต้น (lb _f /100 ft ²)	ความแข็งแรง ของเจล 10 นาที (lb _f /100 ft ²)
				ความหนืด พลาสติก(cP)	จุดคราก (lb _f /100 ft ²)	n	K (eq'cP)		
30	33	New-base1+5%rice husk ash	20	5	30	0.20	5155	21	19
	37	New-base1+1%lime	46	8	77	0.12	20154	32	12
	38	New-base1+3%lime	51	13	76	0.10	24291	26	19
	39	New-base1 +5%lime	41	10	62	0.18	11713	11	18
	43	New-base1+1%starch	46	6	81	0.09	25222	31	15
	44	New-base1+3%starch	40	4	72	0.07	25731	24	18
	45	New-base1+5%starch	47	6	83	0.09	25014	26	19
60	8	New-base1	28	5	46	0.16	9198	10	13
	28	New-base1+ 1%dolomite	30	5	50	0.13	12251	20	8

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ด้านวิทยากระแสน้ำโคลนชุดเจาะผสมสารตัวเติม (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวอย่างที่	สูตร	ความหนืด ปรากฏ (cP)	แบบจำลองบิงแฮมพลาสติก		แบบจำลองเพาเวอร์ลอว์		ความแข็งแรง ของเจลเริ่มต้น (lb _f /100 ft ²)	ความแข็งแรง ของเจล 10 นาที (lb _f /100 ft ²)
				ความหนืด พลาสติก(cP)	จุดคราก (lb _f /100 ft ²)	n	K (eq'cP)		
60	29	New-base1+ 3%dolomite	31	6	51	0.13	12492	20	17
	30	New-base1+ 5%dolomite	38	6	64	0.12	16744	26	9
	34	New-base1+1%rice husk ash	23	6	34	0.20	5801	24	10
	35	New-base1+3%rice husk ash	21	4	35	0.13	8708	32	32
	36	New-base1 +5%rice husk ash	34	4	61	0.08	19784	22	35
	40	New-base1+1%lime	33	9	48	0.22	7662	14	6
	41	New-base1+3%lime	40	8	63	0.16	13467	15	18

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ด้านวิทยากระแสน้ำโคลนชุดเจาะผสมสารตัวเติม (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวอย่างที่	สูตร	ความหนืด ปรากฏ (cP)	แบบจำลองบิงแฮมพลาสติก		แบบจำลองเพาเวอร์ลอว์		ความแข็งแรง ของเจลเริ่มต้น (lb _f /100 ft ²)	ความแข็งแรง ของเจล 10 นาที (lb _f /100 ft ²)
				ความหนืด พลาสติก(cP)	จุดคราก (lb _f /100 ft ²)	n	K (eq'cP)		
60	42	New-base1 +5%lime	34	8	51	0.18	9584	21	13
	46	New-base1+1%starch	51	18	66	0.28	7634	23	25
	47	New-base1+3%starch	129	58	142	0.37	10306	68	44
	48	New-base1+5%starch	-	-	-	-	-	131	130
30	4	New-base2	18	9	18	0.41	1088	19	26
	49	New-base2+ 1%dolomite	19	8	22	0.30	2318	14	22
	50	New-base2+ 3%dolomite	19	8	21	0.35	1652	12	28
	51	New-base2+ 5%dolomite	20	8	25	0.32	2192	19	28

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ด้านวิทยากระแสน้ำโคลนชุดเจาะผสมสารตัวเติม (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวอย่างที่	สูตร	ความหนืด ปรากฏ (cP)	แบบจำลองบิงแฮมพลาสติก		แบบจำลองเพาเวอร์ลอว์		ความแข็งแรง ของเจลเริ่มต้น (lb _f /100 ft ²)	ความแข็งแรง ของเจล 10 นาที (lb _f /100 ft ²)
				ความหนืด พลาสติก(cP)	จุดคราก (lb _f /100 ft ²)	n	K (eq'cP)		
30	58	New-base2+ 1% rice husk ash	18	8	22	0.30	2318	17	32
	59	New-base2+ 3% rice husk ash	19	7	24	0.30	2318	22	29
	60	New-base2+ 5% rice husk ash	19	9	21	0.39	1300	17	23
	67	New-base2+ 1% lime	26	11	29	0.38	1925	21	45
	68	New-base2+ 3% lime	34	8	52	0.18	9584	42	69
	69	New-base2+ 5% lime	47	6	82	0.10	24793	59	70
	76	New-base2+ 1%starch	18	9	20	0.40	1163	18	26
	77	New-base2+ 3%starch	19	7	24	0.33	2004	21	25
	78	New-base2+ 5%starch	19	8	23	0.34	1824	18	20

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ด้านวิทยากระแสน้ำโคลนชุดเจาะผสมสารตัวเติม (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวอย่างที่	สูตร	ความหนืด ปรากฏ (cP)	แบบจำลองบิงแฮมพลาสติก		แบบจำลองเพาเวอร์ลอว์		ความแข็งแรง ของเจลเริ่มต้น (lb _f /100 ft ²)	ความแข็งแรง ของเจล 10 นาที (lb _f /100 ft ²)
				ความหนืด พลาสติก(cP)	จุดคราก (lb _f /100 ft ²)	n	K (eq'cP)		
60	7	New-base2	18	6	24	0.22	3822	28	35
	52	New-base2+ 1% dolomite	21	7	27	0.27	3217	23	32
	53	New-base2+ 3% dolomite	21	7	28	0.23	4299	25	29
	54	New-base2+ 5% dolomite	21	8	26	0.27	3217	29	33
	61	New-base2+ 1% rice husk ash	19	8	23	0.33	2004	18	40
	62	New-base2+ 3% rice husk ash	19	7	24	0.26	3218	30	42

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ด้านวิทยากระแสน้ำโคลนชุดเจาะผสมสารตัวเติม (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวอย่างที่	สูตร	ความหนืด ปรากฏ (cP)	แบบจำลองบิงแฮมพลาสติก		แบบจำลองเพาเวอร์ลอว์		ความแข็งแรง ของเจลเริ่มต้น (lb _f /100 ft ²)	ความแข็งแรง ของเจล 10 นาที (lb _f /100 ft ²)
				ความหนืด พลาสติก (cP)	จุดคราก (lb _f /100 ft ²)	n	K (eq cP)		
60	63	New-base2+ 5% rice husk ash	21	8	25	0.31	2387	27	38
	70	New-base2+ 1% lime	23	6	35	0.20	6119	36	37
	71	New-base2+ 3% lime	29	6	45	0.16	9928	35	66
	72	New-base2+ 5% lime	27	3	48	0.08	15552	40	46
	79	New-base2+ 1%starch	40	17	46	0.34	3745	32	57
	80	New-base2+ 3%starch	85	45	79	0.45	3901	72	81
	81	New-base2+ 5%starch	150	36	229	0.25	26772	110	141
90	10	New-base2	16	5	22	0.20	3973	27	35
	55	New-base2+ 1% dolomite	19	6	27	0.24	3744	27	29

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ด้านวิทยากระแสน้ำโคลนชุดเจาะผสมสารตัวเติม (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวอย่างที่	สูตร	ความหนืด ปรากฏ (cP)	แบบจำลองบิงแฮมพลาสติก		แบบจำลองเพาเวอร์ลอว์		ความแข็งแรง ของเจลเริ่มต้น (lb _f /100 ft ²)	ความแข็งแรง ของเจล 10 นาที (lb _f /100 ft ²)
				ความหนืด พลาสติก(cP)	จุดคราก (lb _f /100 ft ²)	n	K (eq'cP)		
90	56	New-base2+ 3%dolomite	20	6	27	0.24	3063	25	37
	57	New-base2+ 5% dolomite	19	6	27	0.24	3063	29	40
	64	New-base2+ 1% rice husk ash	17	8	19	0.33	1730	23	30
	65	New-base2+ 3% rice husk ash	15	8	14	0.45	689	24	15
	66	New-base2+ 5% rice husk ash	17	10	15	0.49	618	19	21
	73	New-base2+ 1% lime	22	6	32	0.18	6373	28	46
	74	New-base2+ 3% lime	21	4	33	0.14	7875	34	45

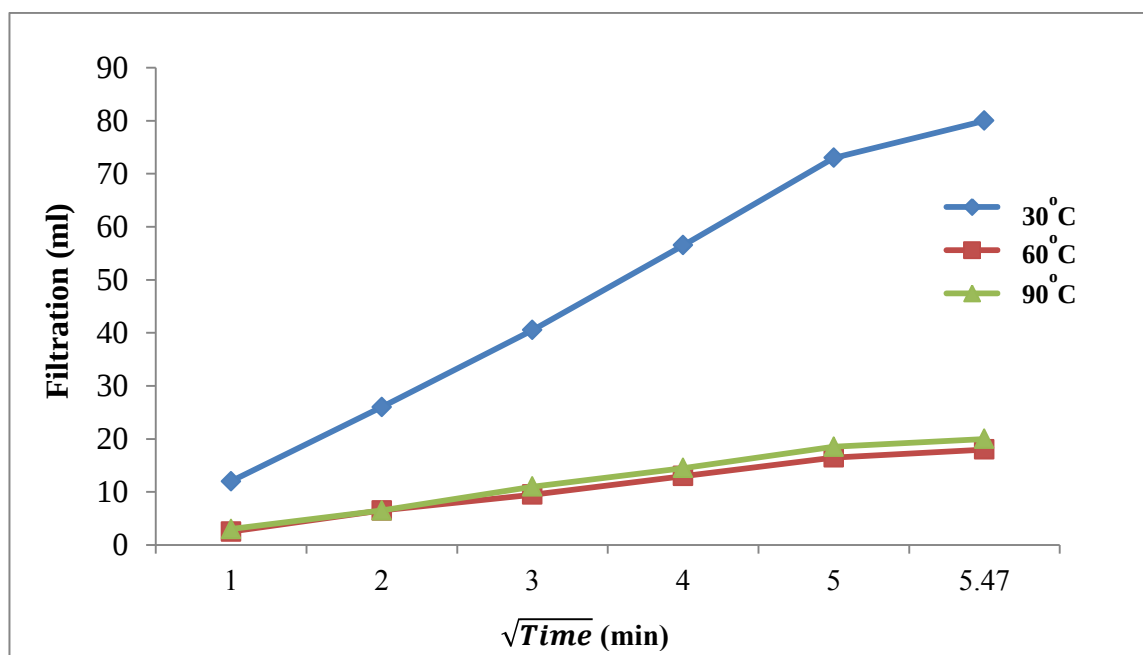
ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ด้านวิทยากระแสน้ำโคลนชุดเจาะผสมสารตัวเติม (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวอย่างที่	สูตร	ความหนืด ปรากฏ (cP)	แบบจำลองบิงแฮม		แบบจำลองเพาเวอร์ลอว์		ความแข็งแรง ของเจลเริ่มต้น (lb _f /100 ft ²)	ความแข็งแรง ของเจล 10 นาที (lb _f /100 ft ²)
				ความหนืด พลาสติก(cP)	จุดคราก (lb _f /100 ft ²)	n	K (eq'cP)		
90	75	New-base2+ 5% lime	21	5	33	0.18	6373	32	40
	82	New-base2+ 1%starch	40	17	48	0.34	3920	38	55
	83	New-base2+ 3%starch	128	68	121	0.44	6286	85	109
	84	New-base2+ 5%starch	150	0	300	0.00	153000	167	213

4.4.2 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของน้ำโคลนชุดเจาะ (Filtration)

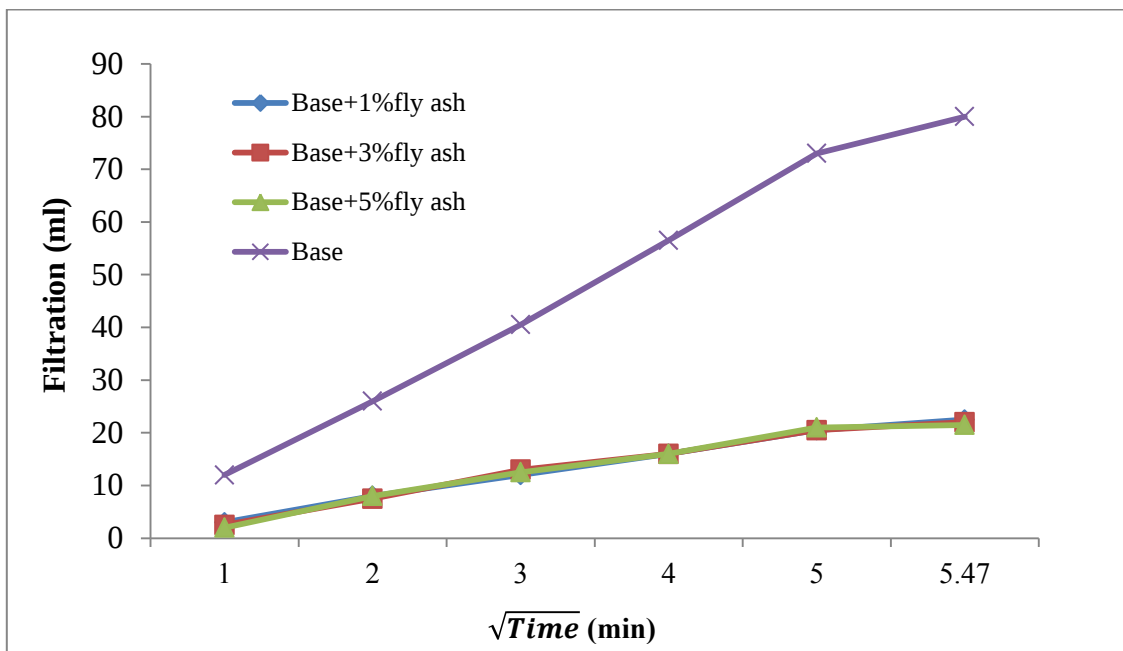
การซึมผ่านของน้ำโคลน คือการวัดปริมาณการสูญเสียน้ำของน้ำโคลน (Mud filtrate) เข้าสู่ชั้นหิน (Formation) โดยผ่านแผ่นโคลน (Mud cake) ที่ทำหน้าที่ปิดกั้นระหว่างผนังหลุมกับชั้นหิน ซึ่งควบคุมการสูญเสียของไหล ผลการซึมผ่านของน้ำโคลน แสดงไว้ในรูปที่ 4.52 ถึง 4.79 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณการสูญเสียน้ำของน้ำโคลน ภายใน 30 นาที ตามมาตรฐาน API มีหน่วยวัดเป็นมิลลิลิตร และความหนาของแผ่นโคลนแสดงในรูปที่ 4.80 ถึง 4.83 ส่วนข้อมูลการทดสอบทั้งหมดแสดงใน ภาคผนวก ก

จากรูปที่ 4.52 พบว่าน้ำโคลนสูตรพื้นฐาน ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C พบว่าปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิส่งผลต่อการซึมผ่าน โดยของไหลมีความหนืดลดลงและเกิดการจับตัวกันตกตะกอน ซึ่งส่งผลให้เกิดความหนาของแผ่นโคลนเพิ่มขึ้น

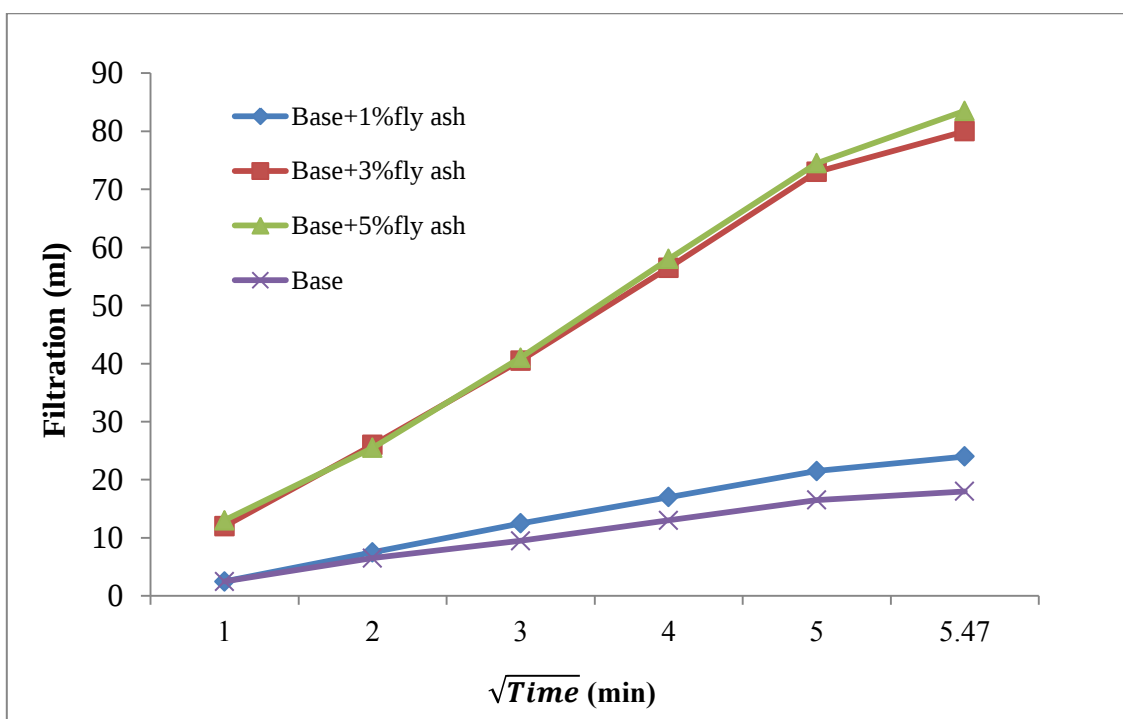


รูปที่ 4.52 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลน ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

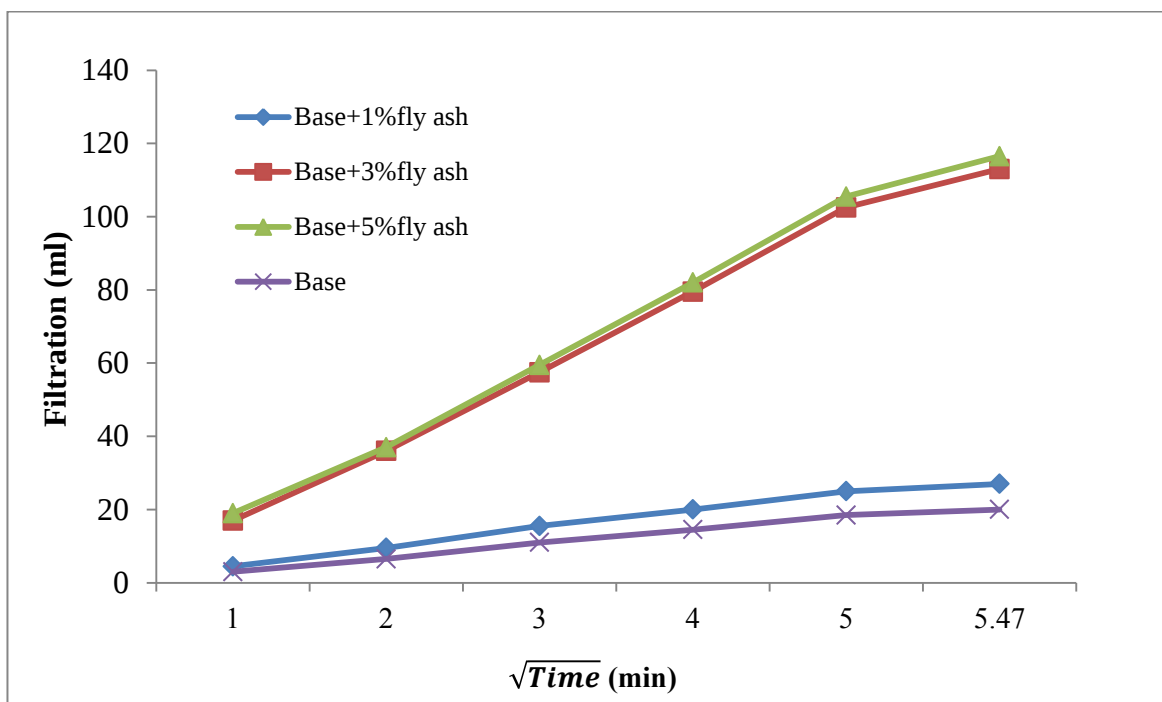
จากรูปที่ 4.53 ถึง 4.55 พบว่าน้ำโคลนผสมแก้าลอยความเข้มข้นร้อยละ 1 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C ทั้ง 9 สูตร มีปริมาณการสูญเสียน้ำของน้ำโคลนเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 19.5 ถึง 116.5 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.53 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 30°C

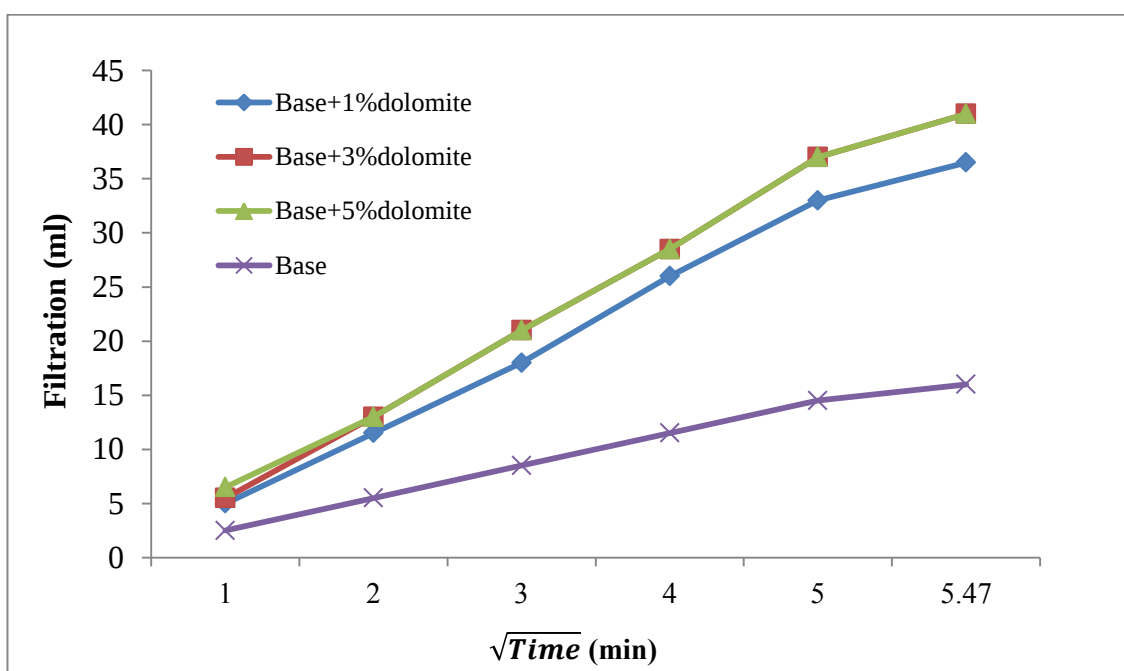


รูปที่ 4.54 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 60°C

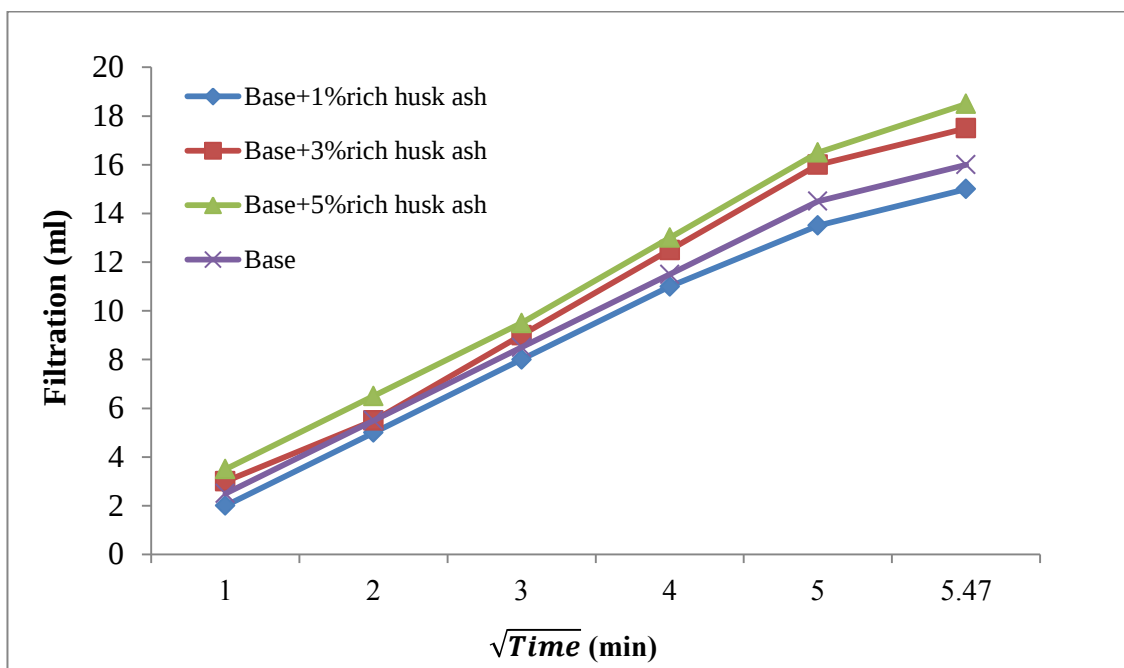


รูปที่ 4.55 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 90°C

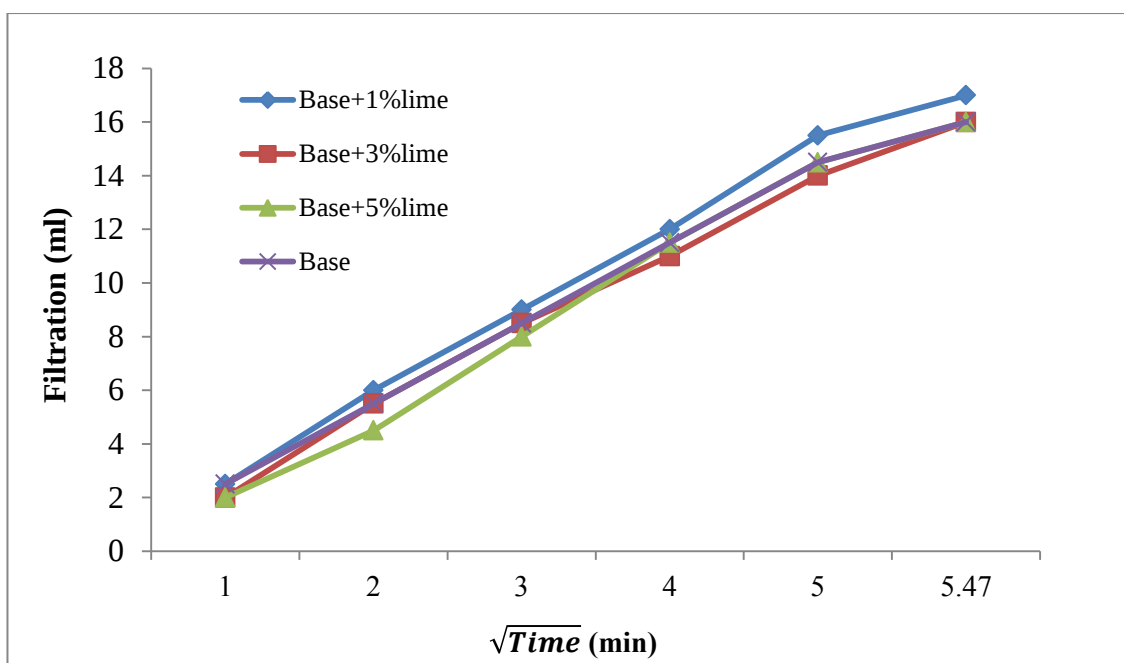
จากรูปที่ 4.56 ถึง 4.59 พบว่าน้ำโคลนผสมสารตัวเติม ได้แก่ โดโลไมต์ ปูนขาว และแป้งมัน มีค่าปริมาณการสูญเสียน้ำลดลง ในขณะที่น้ำโคลนผสมเถ้าแกลบ มีค่าการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น



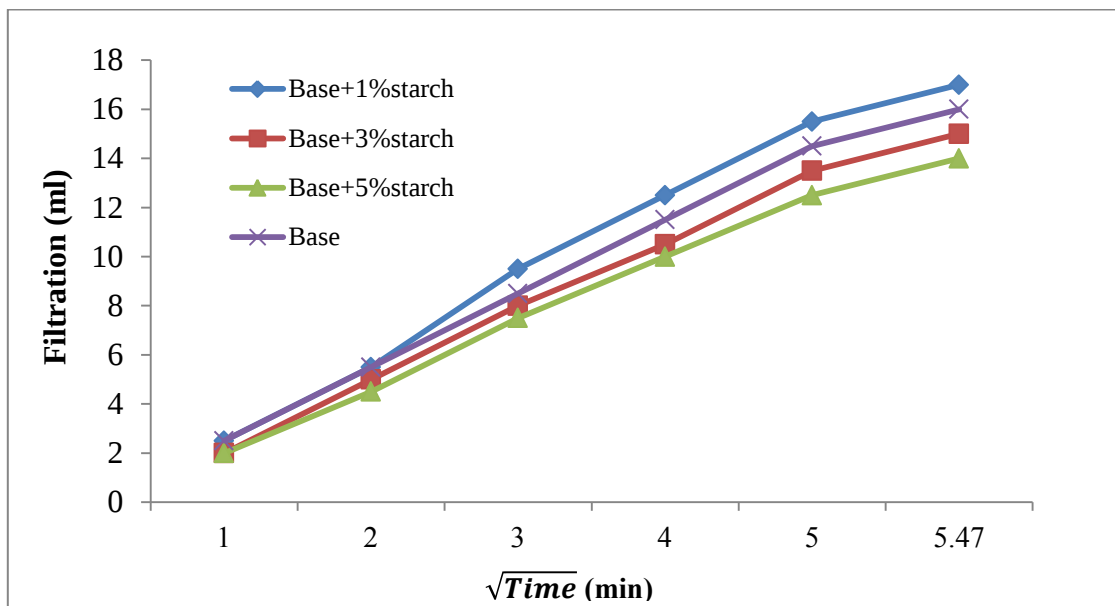
รูปที่ 4.56 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนผสมโดโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 30°C



รูปที่ 4.57 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนผสมเถ้าแกลบ ที่อุณหภูมิ 30°C

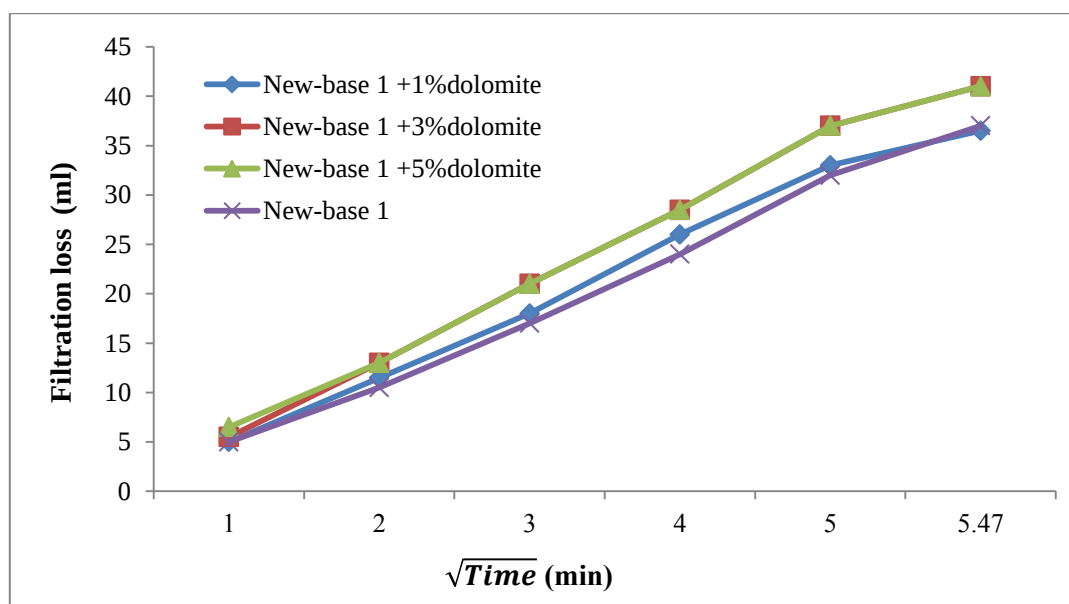


รูปที่ 4.58 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนผสมปูนขาว ที่อุณหภูมิ 30°C

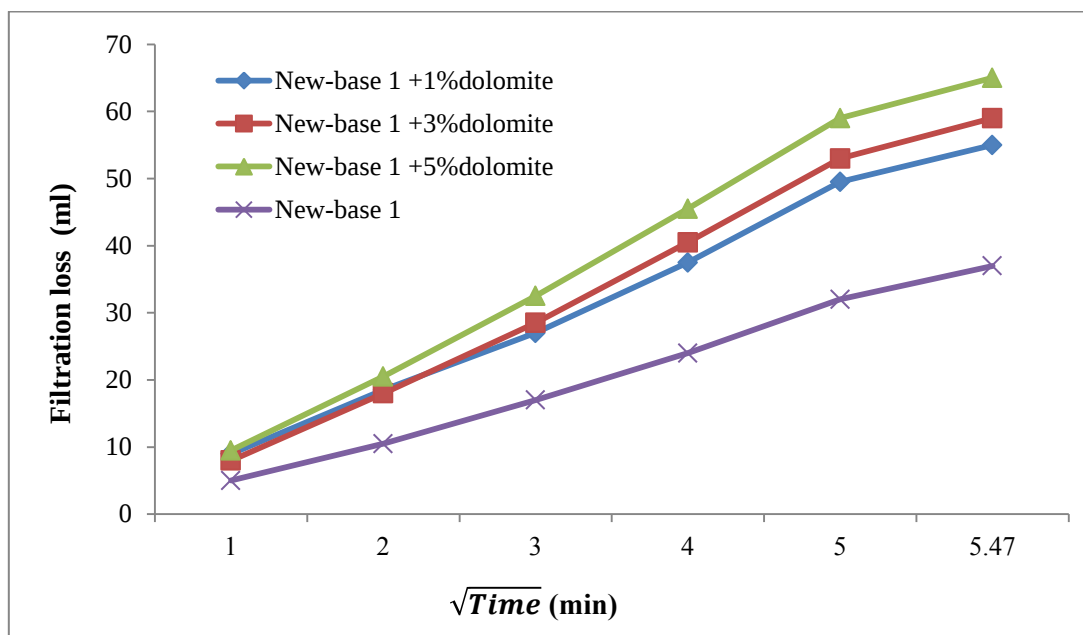


รูปที่ 4.59 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนผสมแป้งมัน ที่อุณหภูมิ 30°C

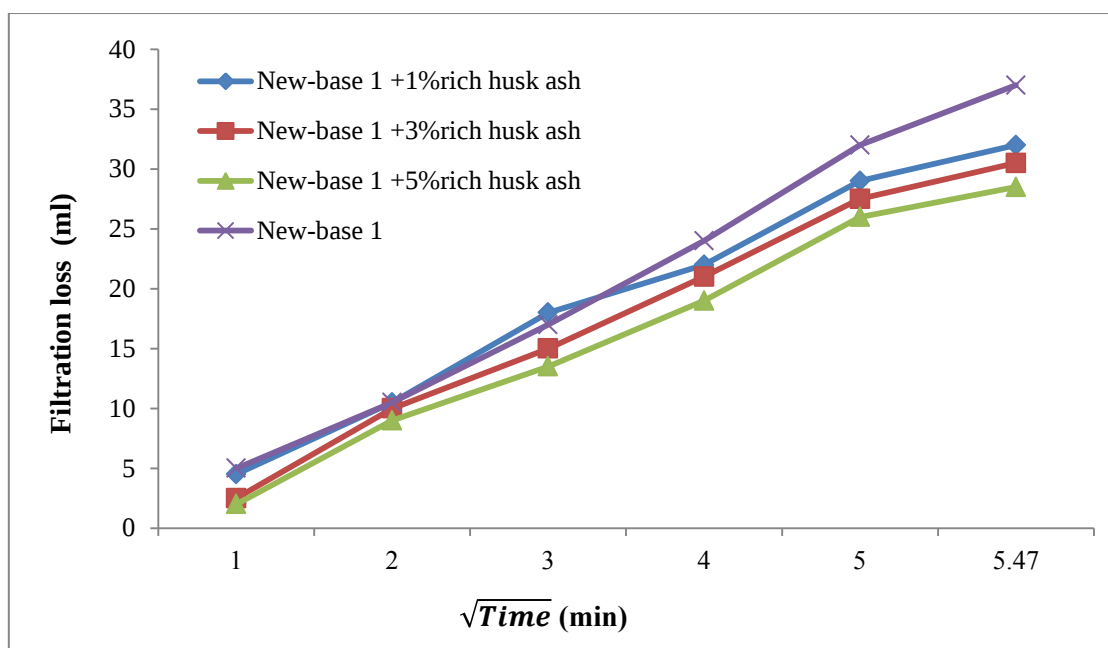
จากรูปที่ 4.60 ถึง 4.67 พบว่าน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารตัวเติม ได้แก่ โดโลไมต์ และเถ้าแกบลบ มีปริมาณการสูญเสียน้ำลดลง เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่น้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมปูนขาว มีค่าปริมาณการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมัน มีค่าปริมาณการสูญเสียน้ำลดลง เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น



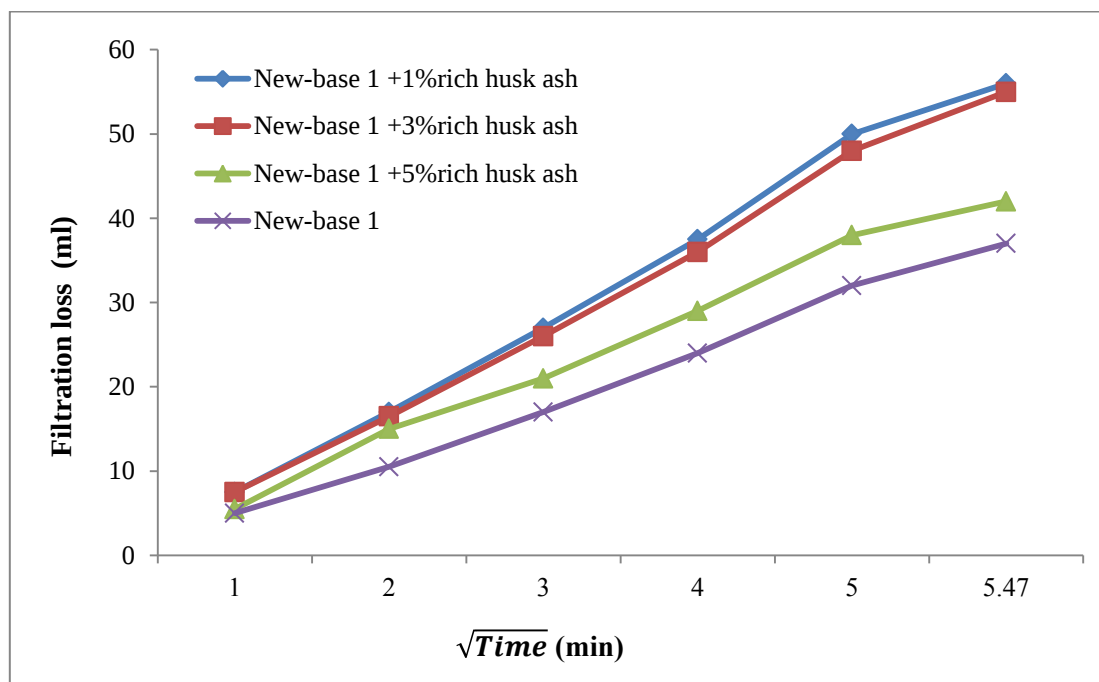
รูปที่ 4.60 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมโดโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 30°C



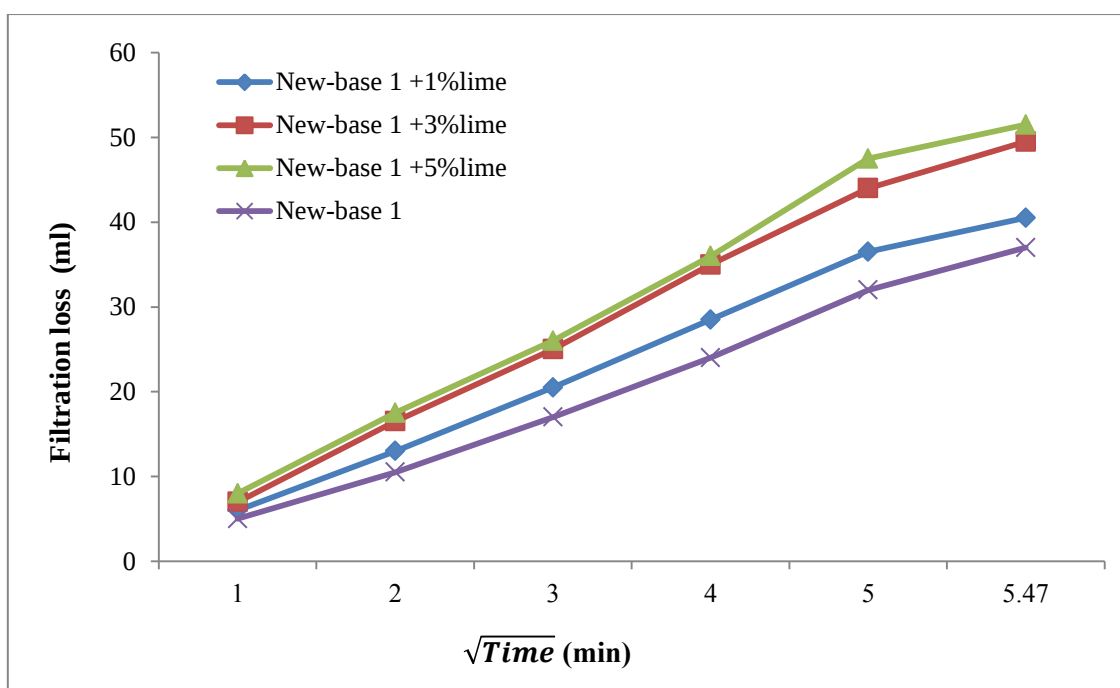
รูปที่ 4.61 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมโดโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 60°C



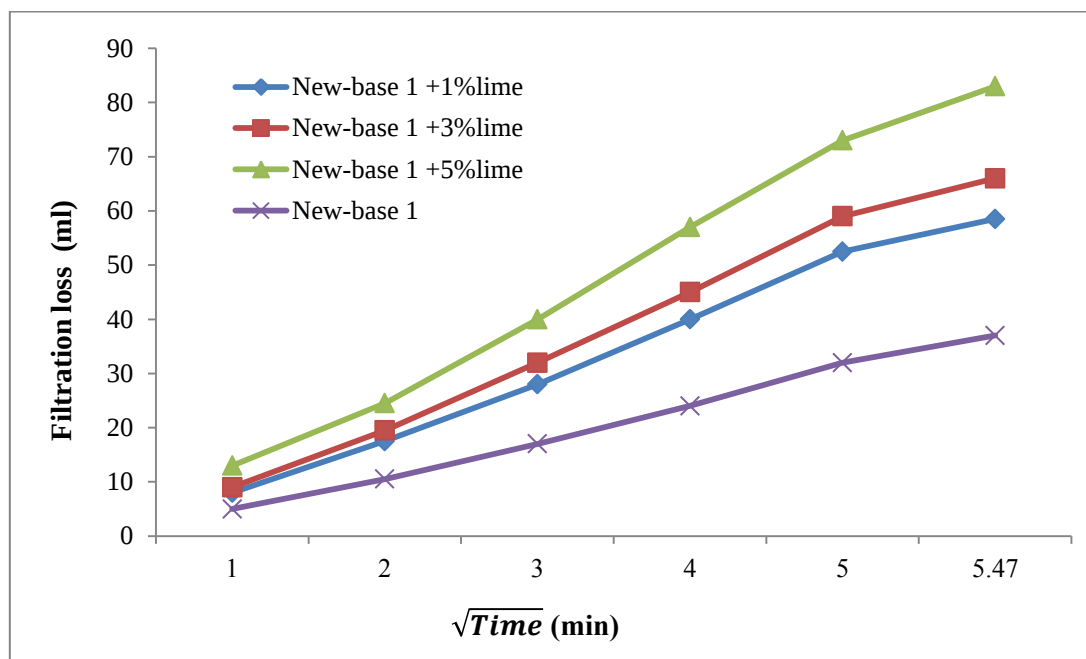
รูปที่ 4.62 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมเถ้าแกลบ ที่อุณหภูมิ 30°C



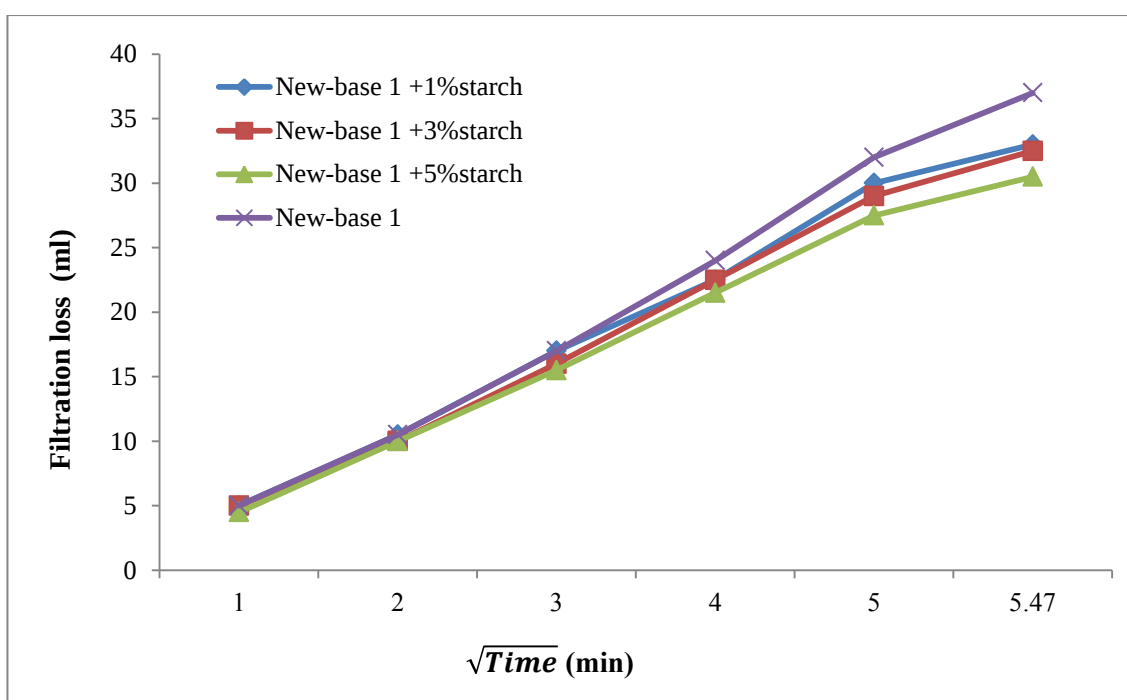
รูปที่ 4.63 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมเถ้าแกลบ ที่อุณหภูมิ 60°C



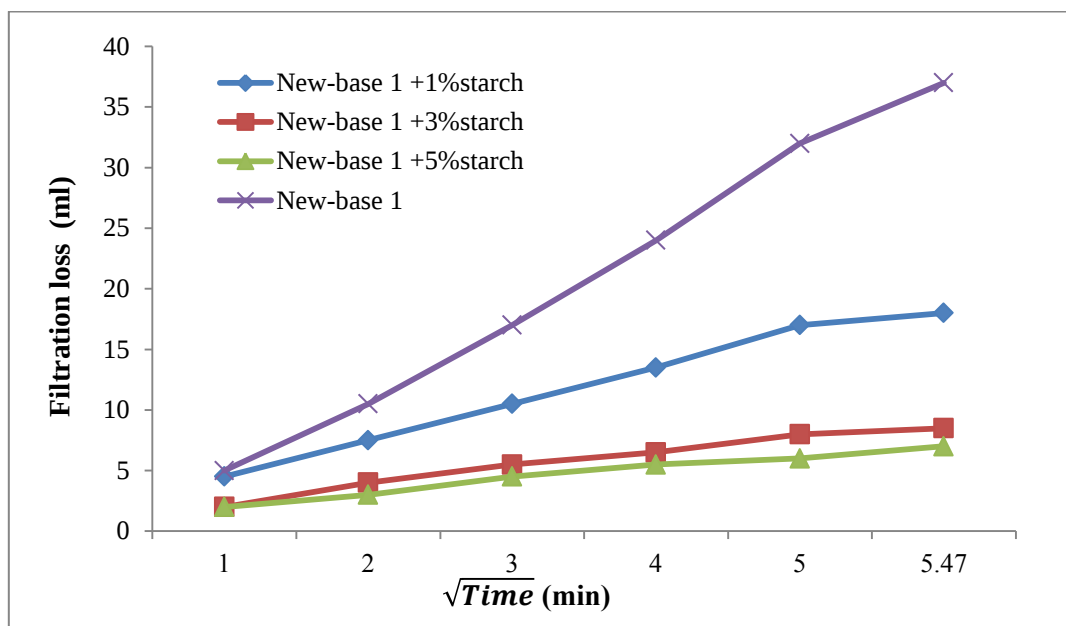
รูปที่ 4.64 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมปูนขาว ที่อุณหภูมิ 30°C



รูปที่ 4.65 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมปูนขาว ที่อุณหภูมิ 60°C

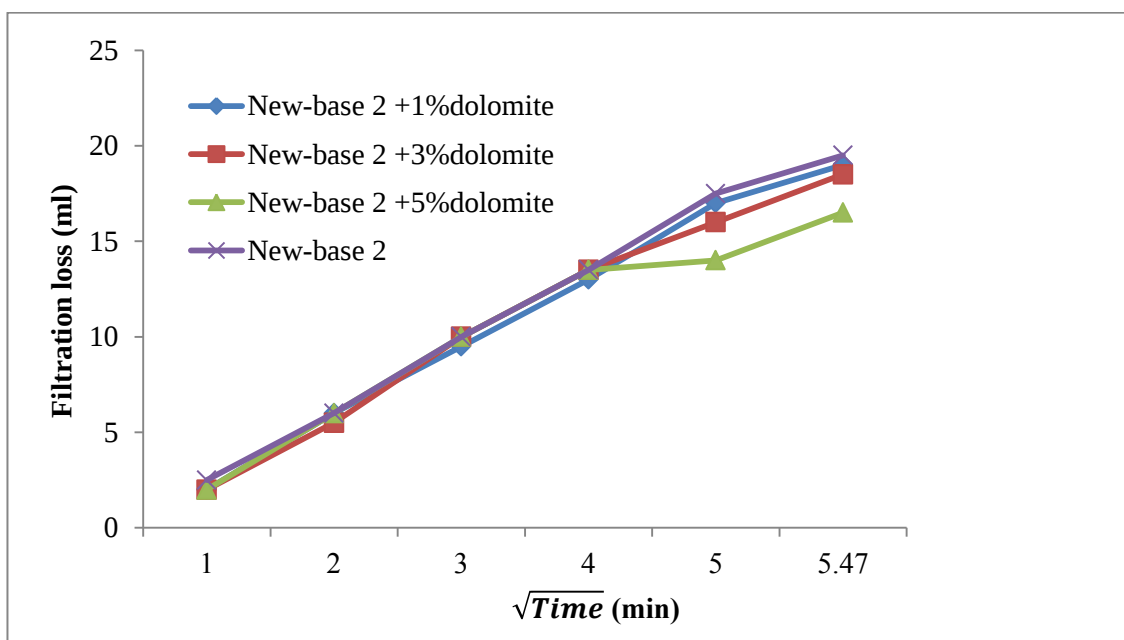


รูปที่ 4.66 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมัน ที่อุณหภูมิ 30°C

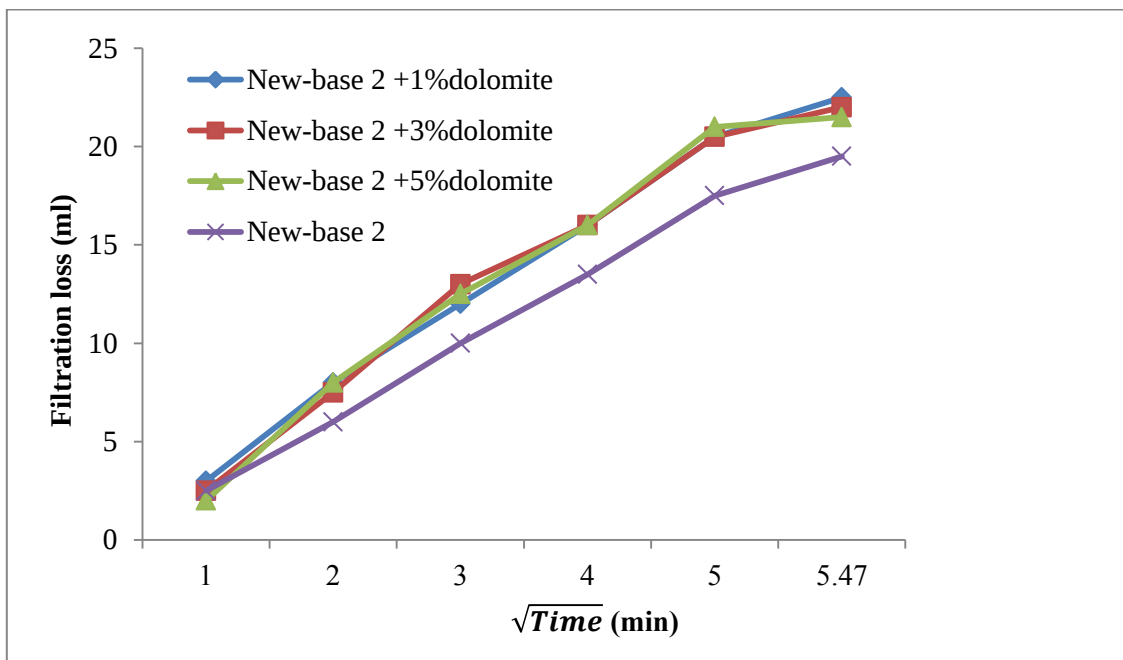


รูปที่ 4.67 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมัน ที่อุณหภูมิ 60°C

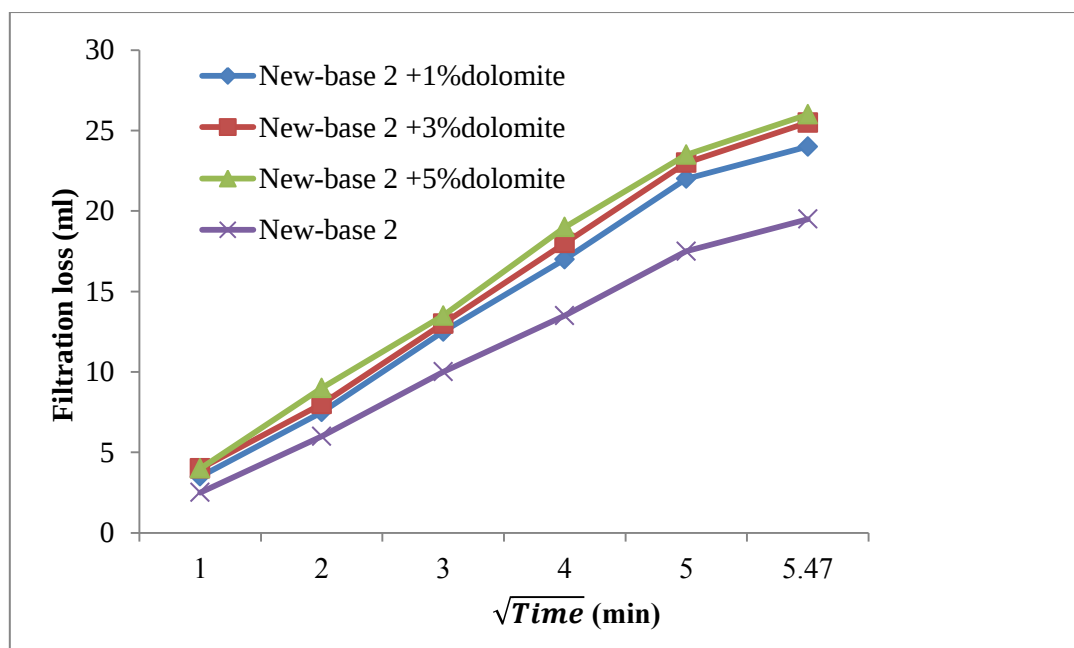
จากรูปที่ 4.68 ถึง 4.79 พบว่าน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเติม ได้แก่ โดโลไมต์ เถ้าแกลบ และปูนขาว มีค่าปริมาณการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่น้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมัน มีค่าการสูญเสียน้ำลดลง เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น



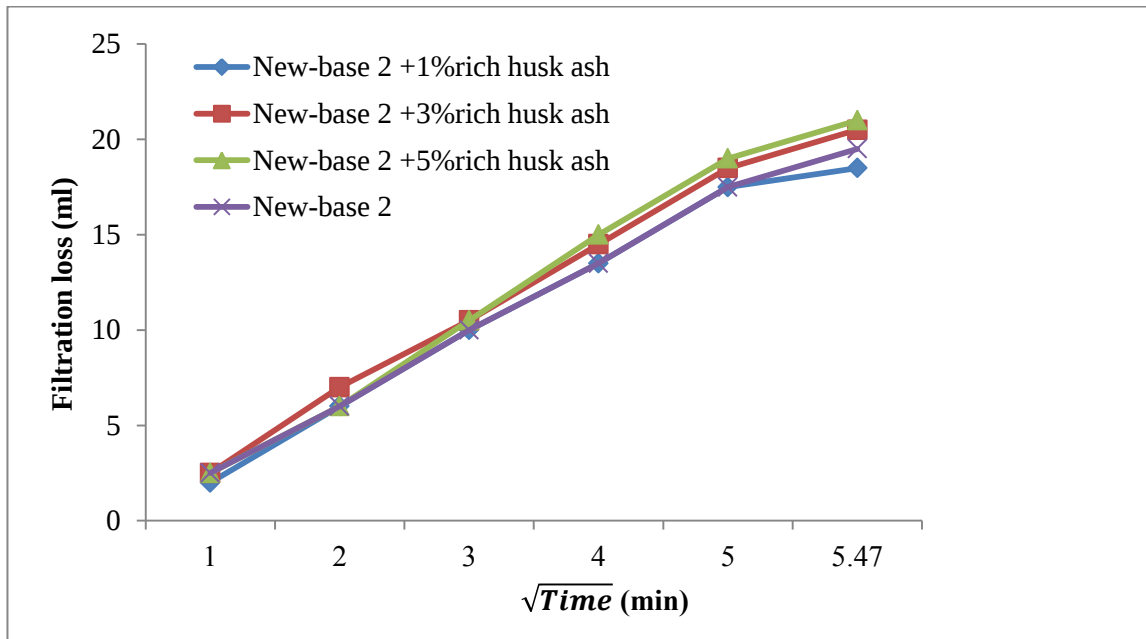
รูปที่ 4.68 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมโดโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 30°C



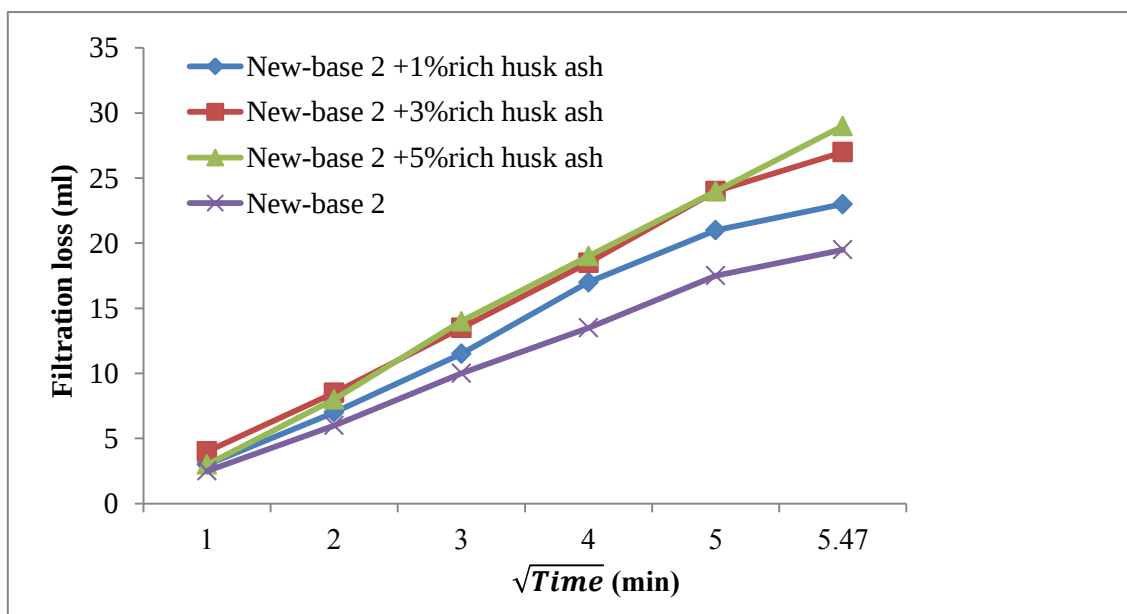
รูปที่ 4.69 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมโดโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 60°C



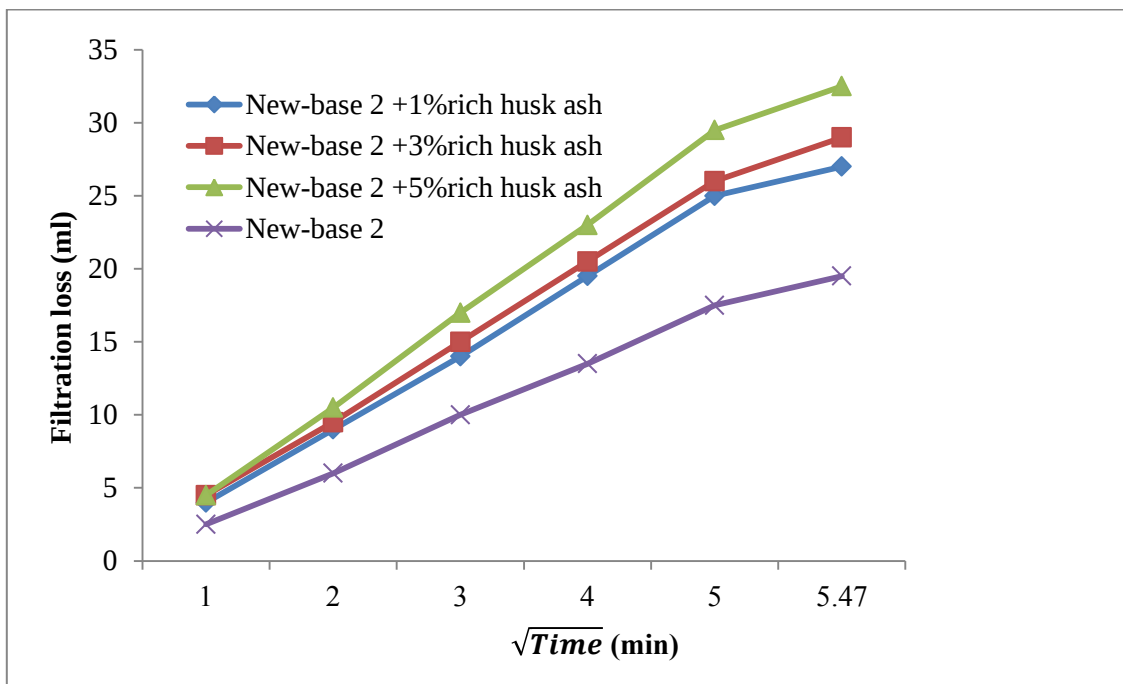
รูปที่ 4.70 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมโดโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 90°C



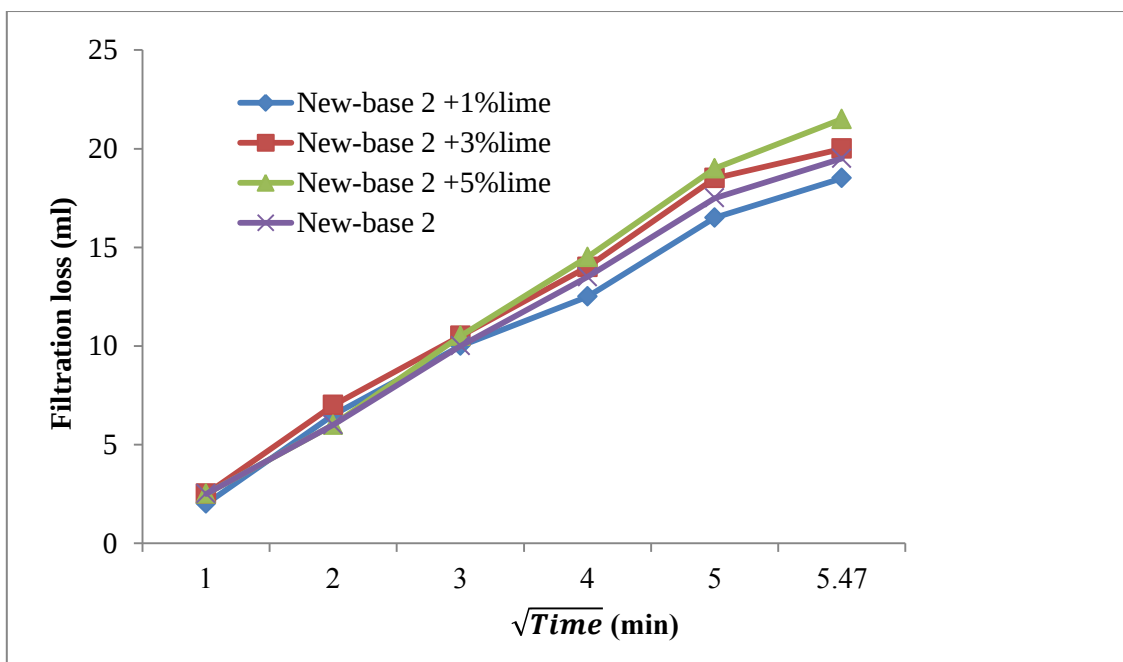
รูปที่ 4.71 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมเถ้าแกลบ ที่อุณหภูมิ 30°C



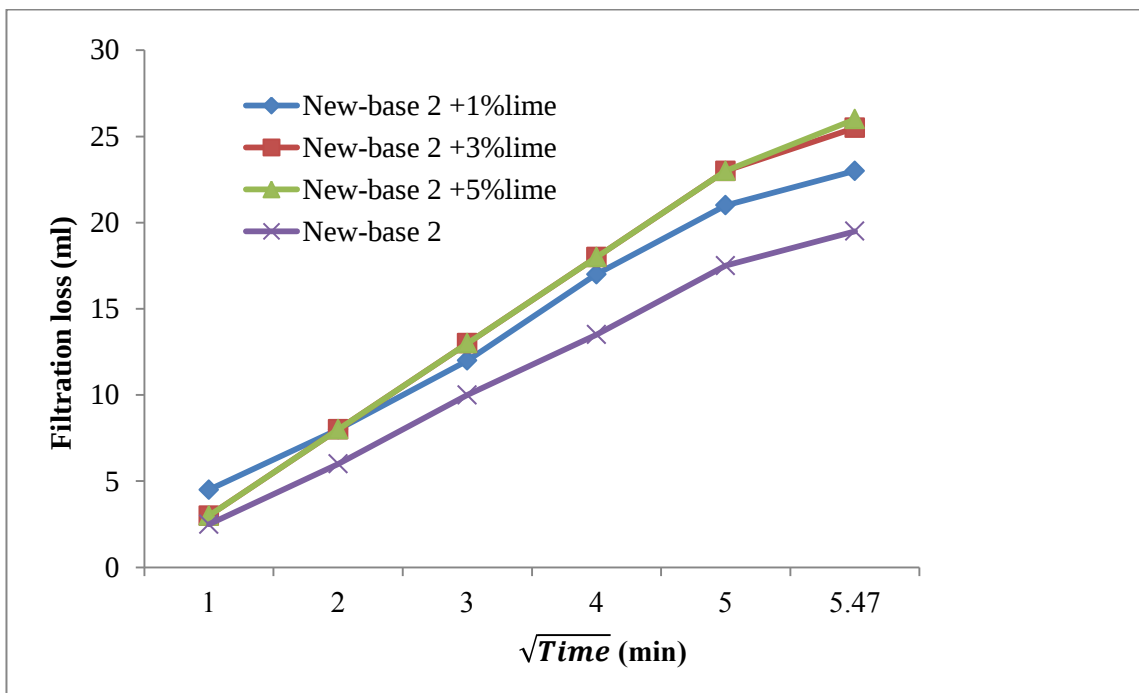
รูปที่ 4.72 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมเถ้าแกลบ ที่อุณหภูมิ 60°C



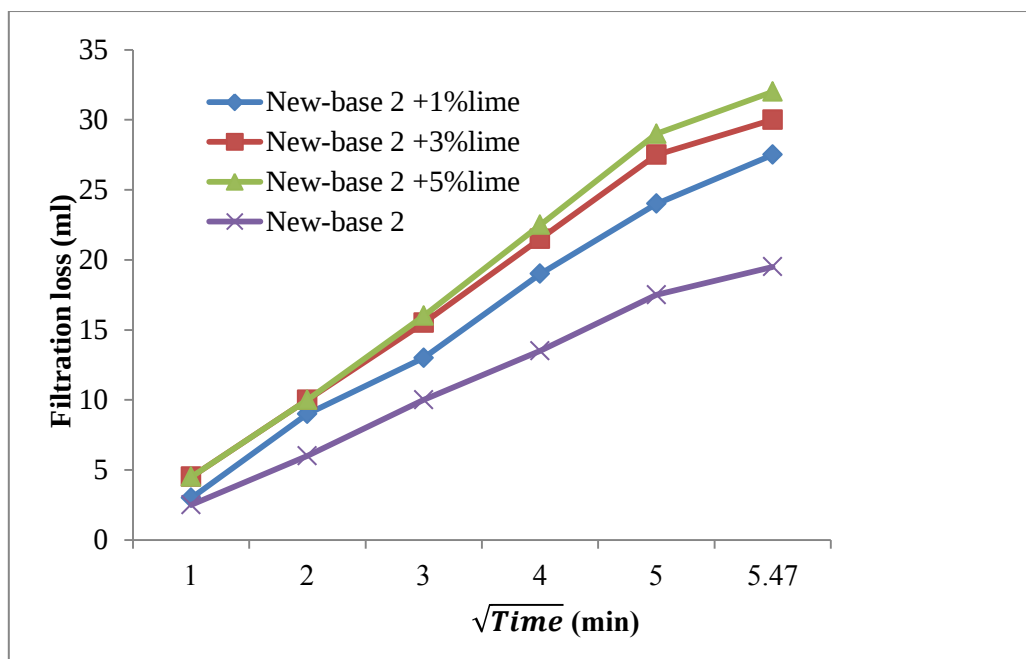
รูปที่ 4.73 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมเถ้าแกลบ ที่อุณหภูมิ 90°C



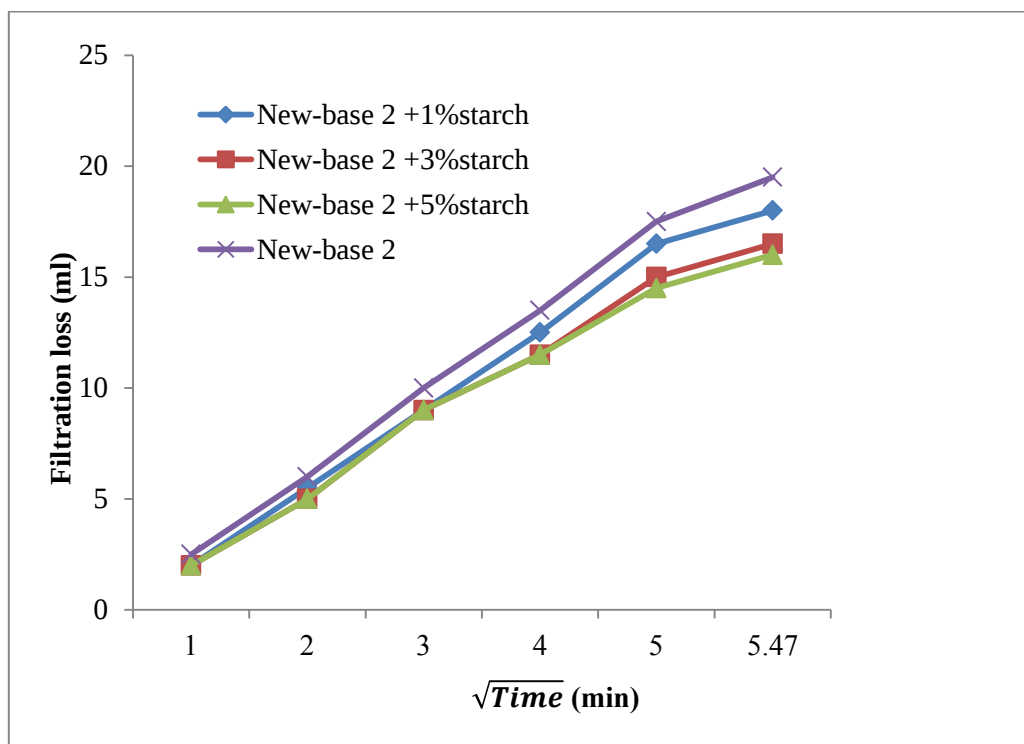
รูปที่ 4.74 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาว ที่อุณหภูมิ 30°C



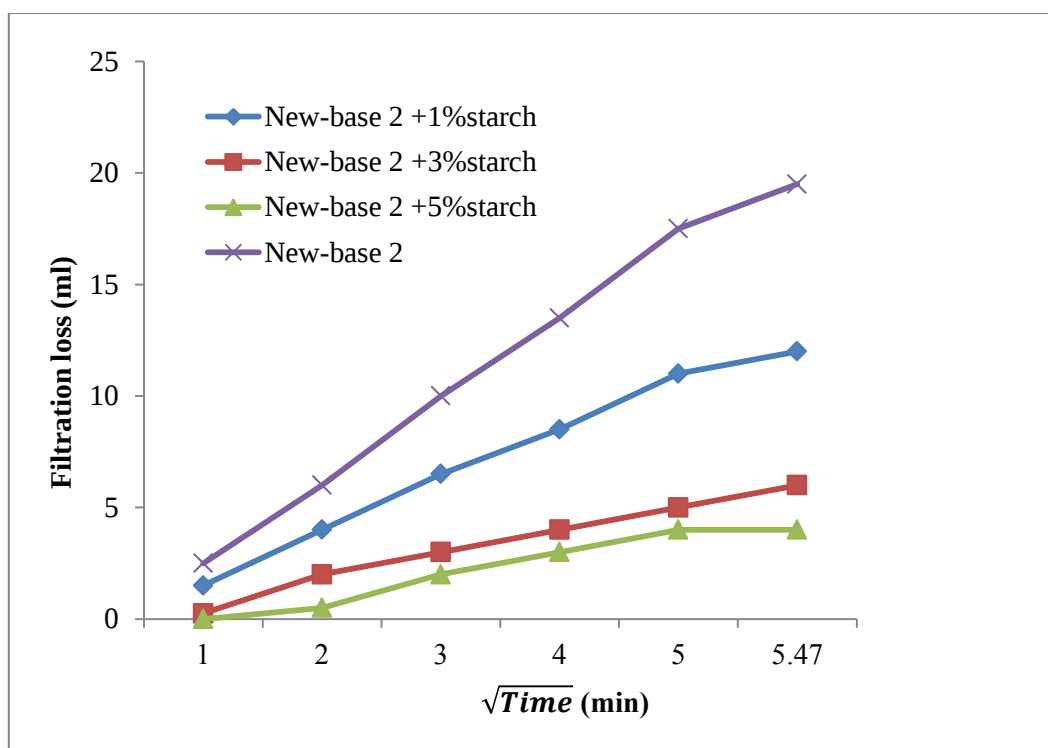
รูปที่ 4.75 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาว ที่อุณหภูมิ 60°C



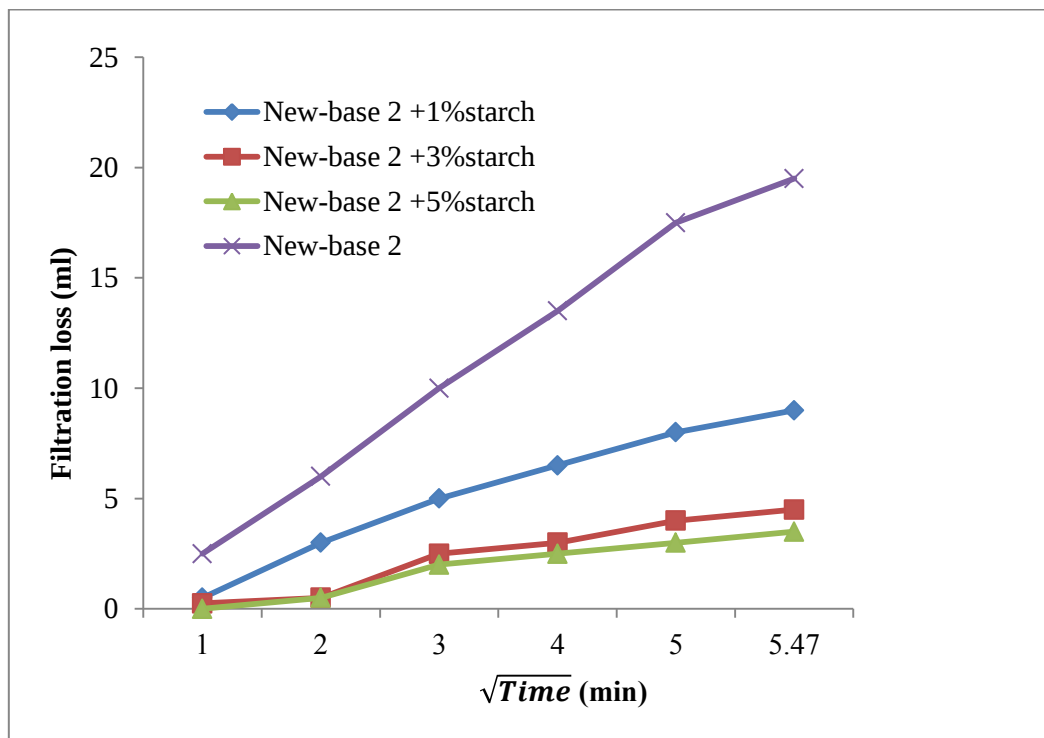
รูปที่ 4.76 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาว ที่อุณหภูมิ 90°C



รูปที่ 4.77 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมัน ที่อุณหภูมิ 30°C



รูปที่ 4.78 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมัน ที่อุณหภูมิ 60°C



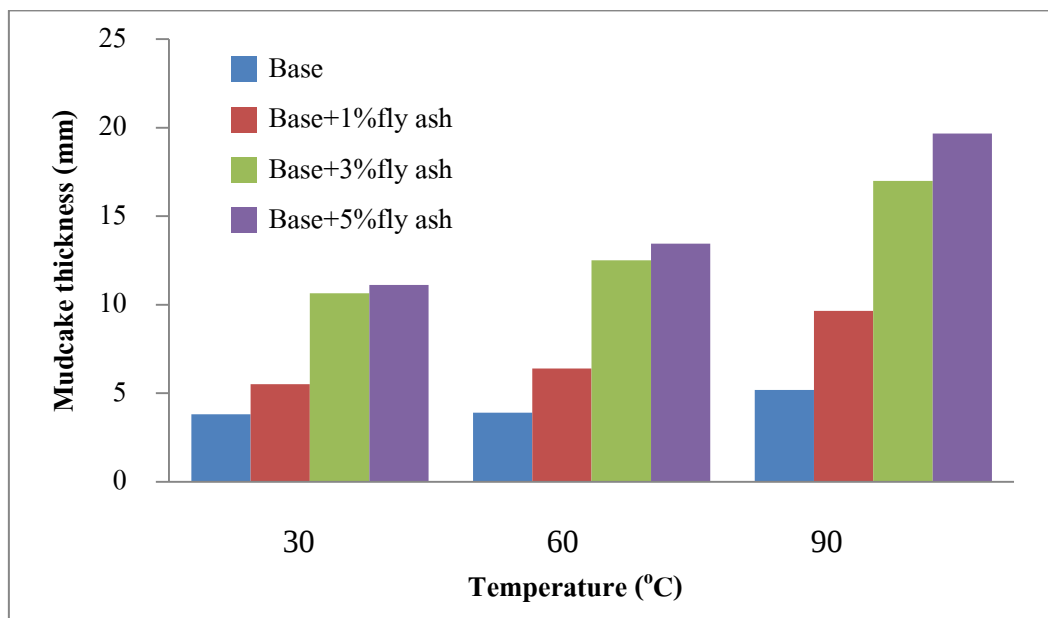
รูปที่ 4.79 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมัน ที่อุณหภูมิ 90°C

ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของน้ำโคลนชุดเจาะทั้ง 84 สูตรพบว่า ปริมาณการสูญเสียของน้ำโคลนที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน API คือ สูตรน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมันความเข้มข้นร้อยละ 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 60°C และน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 60 และ 90°C ทั้งหมด 8 สูตรด้วยกัน แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้น้ำโคลนตัวใหม่ผสมแป้งมัน มีค่าปริมาณการสูญเสียลดลงได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

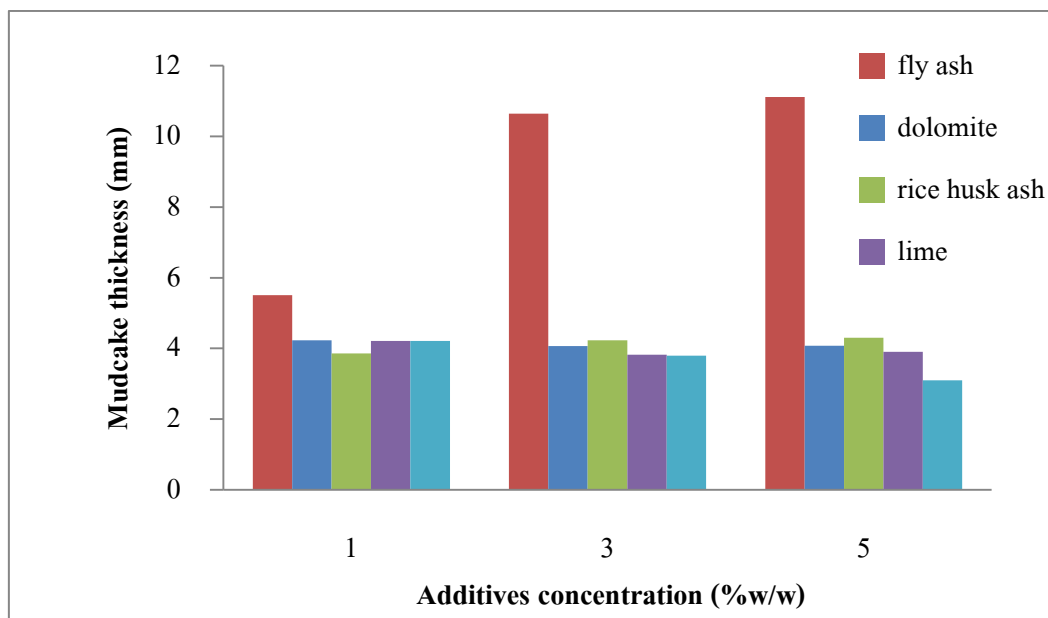
ความหนาแผ่นโคลน (Mud cake) มีสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณการสูญเสียน้ำของน้ำโคลน โดยคุณภาพแผ่นโคลนขึ้นอยู่กับรูปร่าง ขนาด และร้อยละของของแข็งในน้ำโคลน และการปนเปื้อนทางเคมีในน้ำโคลน โดยแผ่นโคลนที่บางจะช่วยเพื่อลดการติดของก้านเจาะและลดแรงเสียดทานระหว่างก้านเจาะกับผนังหลุม

จากรูปที่ 4.80 พบว่าความหนาแผ่นโคลนในรูปของกราฟแท่ง โดยน้ำโคลนพื้นฐาน มีความหนาแผ่นโคลนเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และน้ำโคลนผสมถั่วลอ่ย มีความหนาแผ่นโคลนเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น

จากรูปที่ 4.81 พบว่าน้ำโคลนผสมสารตัวเติม ได้แก่ โดโลไมต์ ปูนขาว และแั่งมัน มีความหนาแผ่นโคลนลดลง เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ในขณะที่น้ำโคลนผสมเถ้าแกลบ มีความหนาแผ่นโคลนเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น



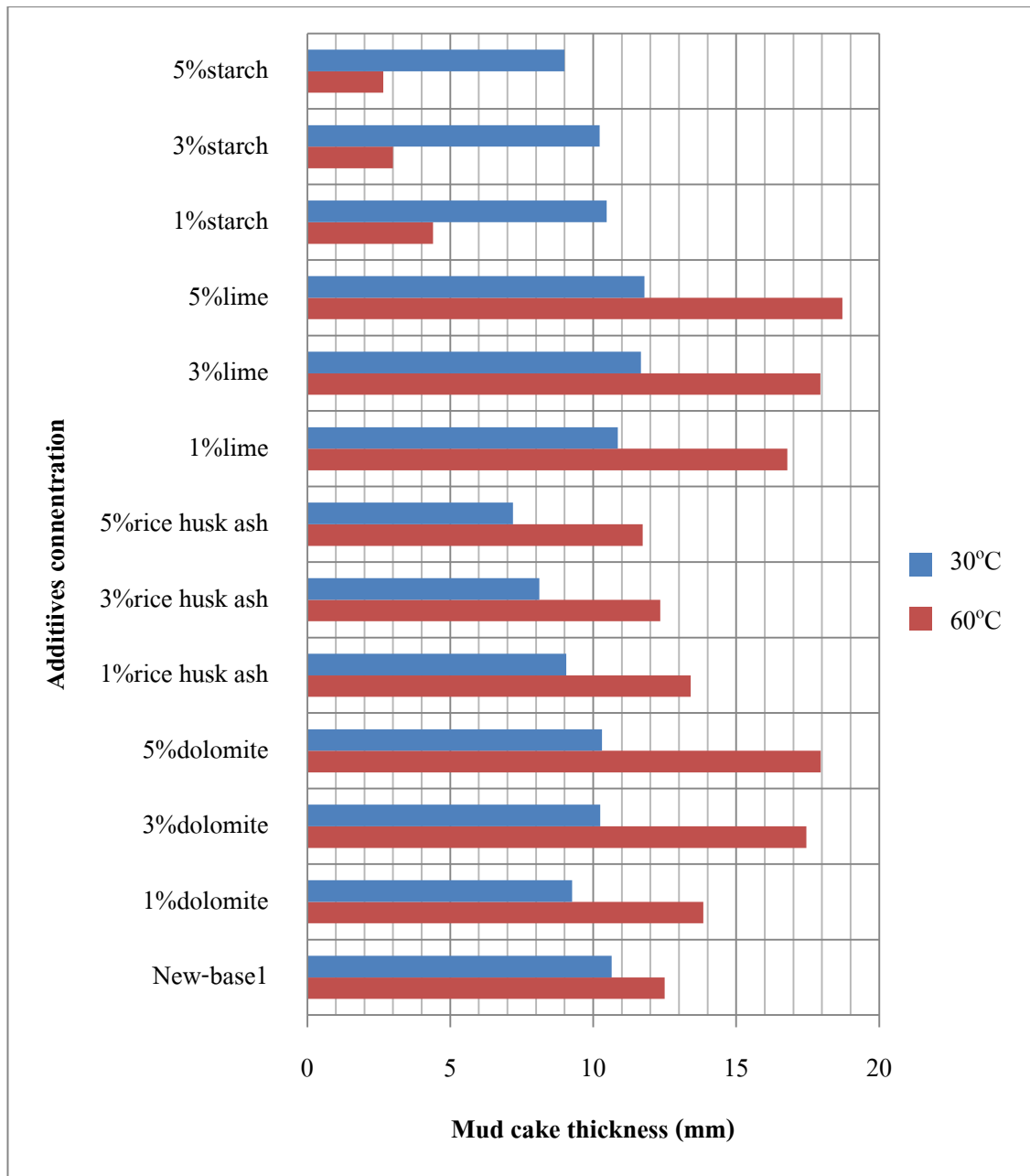
รูปที่ 4.80 ความหนาแผ่นโคลน (Mud cake) ของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C



รูปที่ 4.81 ความหนาแผ่นโคลน (Mud cake) ของน้ำโคลนผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30°C

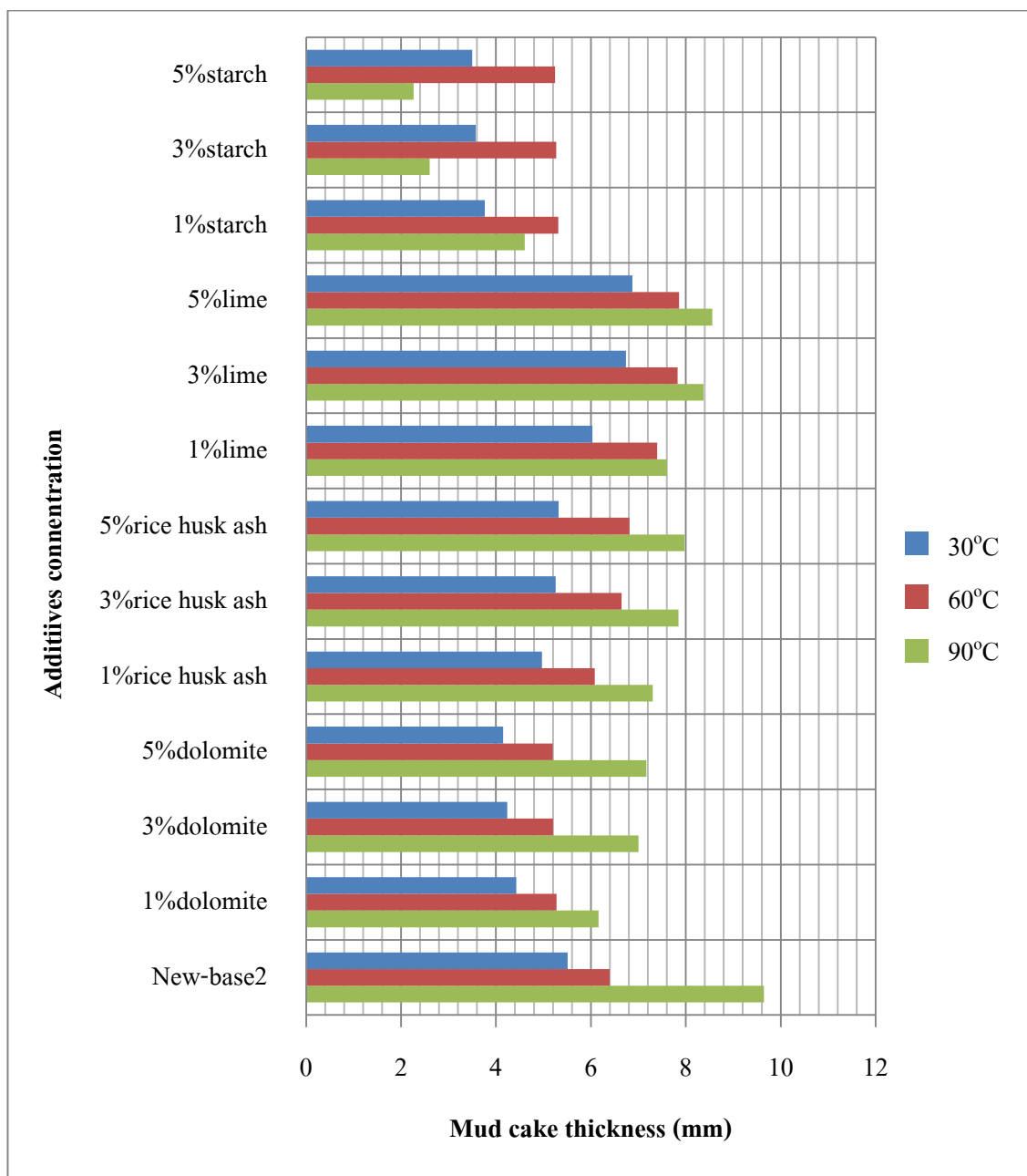
จากรูปที่ 4.82 พบว่าความหนาแผ่นโคลนของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารตัวเติม ได้แก่ โดโลไมต์ และเถ้าแกลบ มีความหนาแผ่นโคลนลดลง เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่มีความหนาแผ่นโคลน

เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่น้ำโคลนผสมปูนขาว มีความหนาแน่นโคลนเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนน้ำโคลนผสมแป้งมันมีความหนาแน่นลดลง เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 4.82 ความหนาแน่นโคลน (Mud cake) ของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารตัวเดิม ที่อุณหภูมิ 30 และ 60°C

จากรูปที่ 4.83 พบว่าความหนาแผ่นโคลนของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเดิม ได้แก่ โคโค ไมต์ เถ้าแกลบ และปูนขาว มีความหนาแผ่นโคลนเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่น้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมัน มีความหนาแผ่นโคลนลดลง เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น



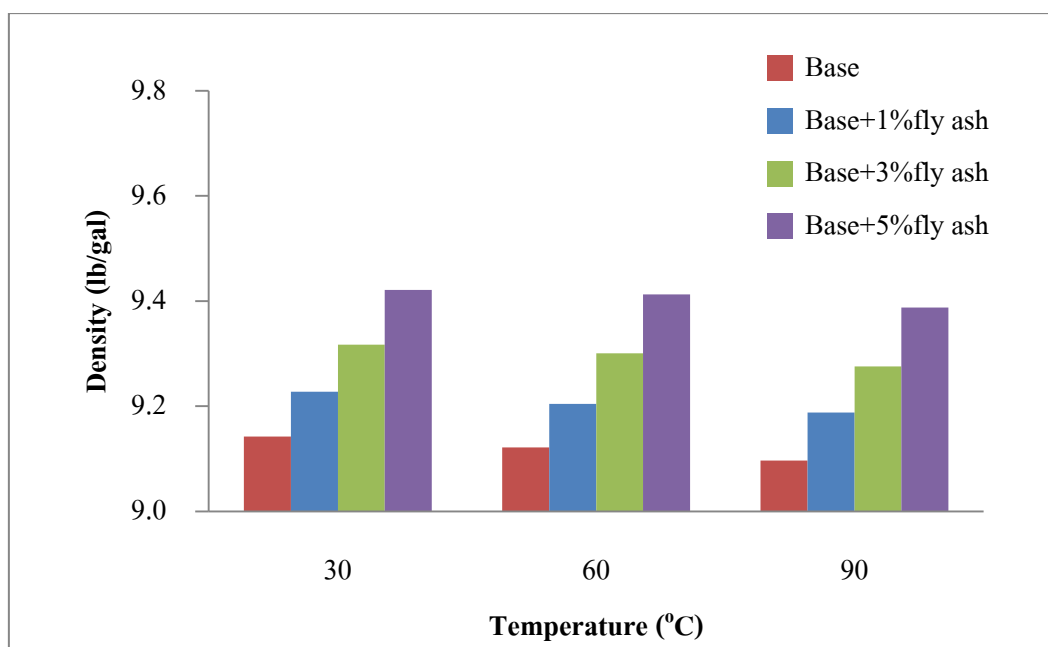
รูปที่ 4.83 ความหนาแผ่นโคลน (Mud cake) ของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเดิม ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

ผลการวิเคราะห์ความหนาแผ่นโคลน (Mud cake) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็ง คุณสมบัติทางเคมีของของแข็ง และอุณหภูมิมีนัยสำคัญต่อความหนาแผ่นโคลน โดยสูตรน้ำโคลนผสมแป้งมันความเข้มข้นร้อยละ 3 และ 5 และที่อุณหภูมิ 60°C และสูตรน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันความเข้มข้นร้อยละ 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 30 และ 90°C มีความหนาแผ่นโคลนลดลงน้อยกว่าสูตรพื้นฐาน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 3.57 ถึง 2.77 มิลลิเมตร

4.4.3 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของน้ำโคลนชุดเจาะ (Density)

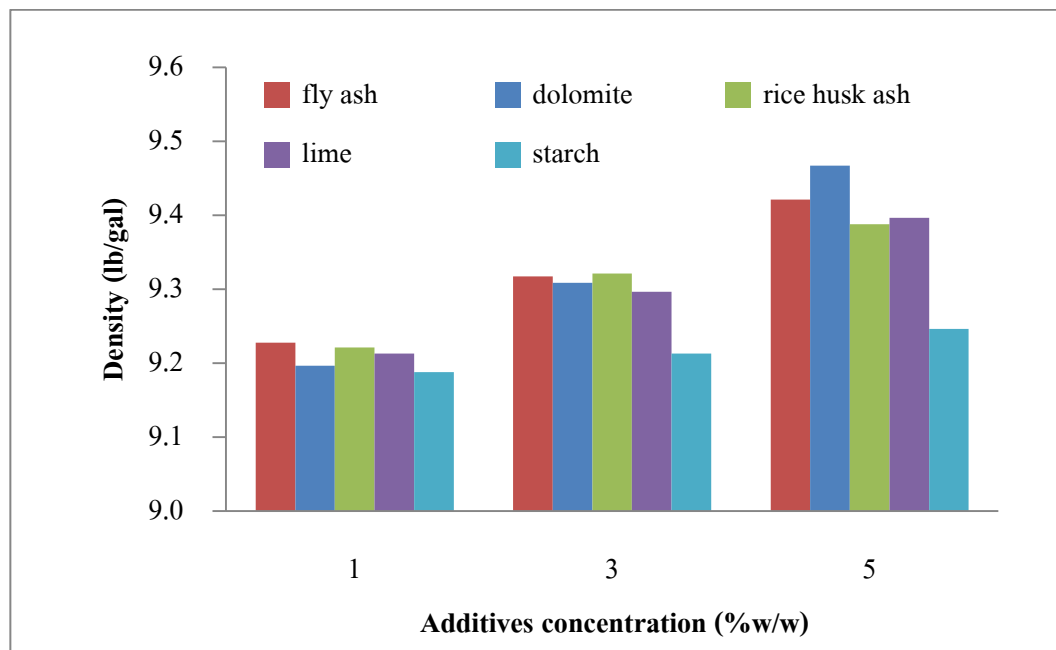
ความดันสถิต (Hydrostatic pressure) เป็นความดันที่ป้องกันผนังหลุมเจาะจากถ้ำหรือโพรงและของไหลจากชั้นหินไม่ให้เข้ามาภายในหลุมเจาะ โดยค่าความหนาแน่นของน้ำโคลนจะเป็นตัวช่วยในการควบคุมความดันภายในหลุม มีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1.06 ถึง 2.16 g/cm³ หรือ 8.85 ถึง 18 lb/gal ซึ่งขึ้นอยู่กับเกรดของเบนโทไนต์และชั้นหินที่ทำการชุดเจาะ (MI-Swaco, 1998)

จากรูปที่ 4.84 พบว่าน้ำโคลนสูตรพื้นฐาน มีค่าความหนาแน่นลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่น้ำโคลนผสมถั่วลอ่ย มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่มีค่าความหนาแน่นลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 4.84 ค่าความหนาแน่นของน้ำโคลนผสมถั่วลอ่ย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

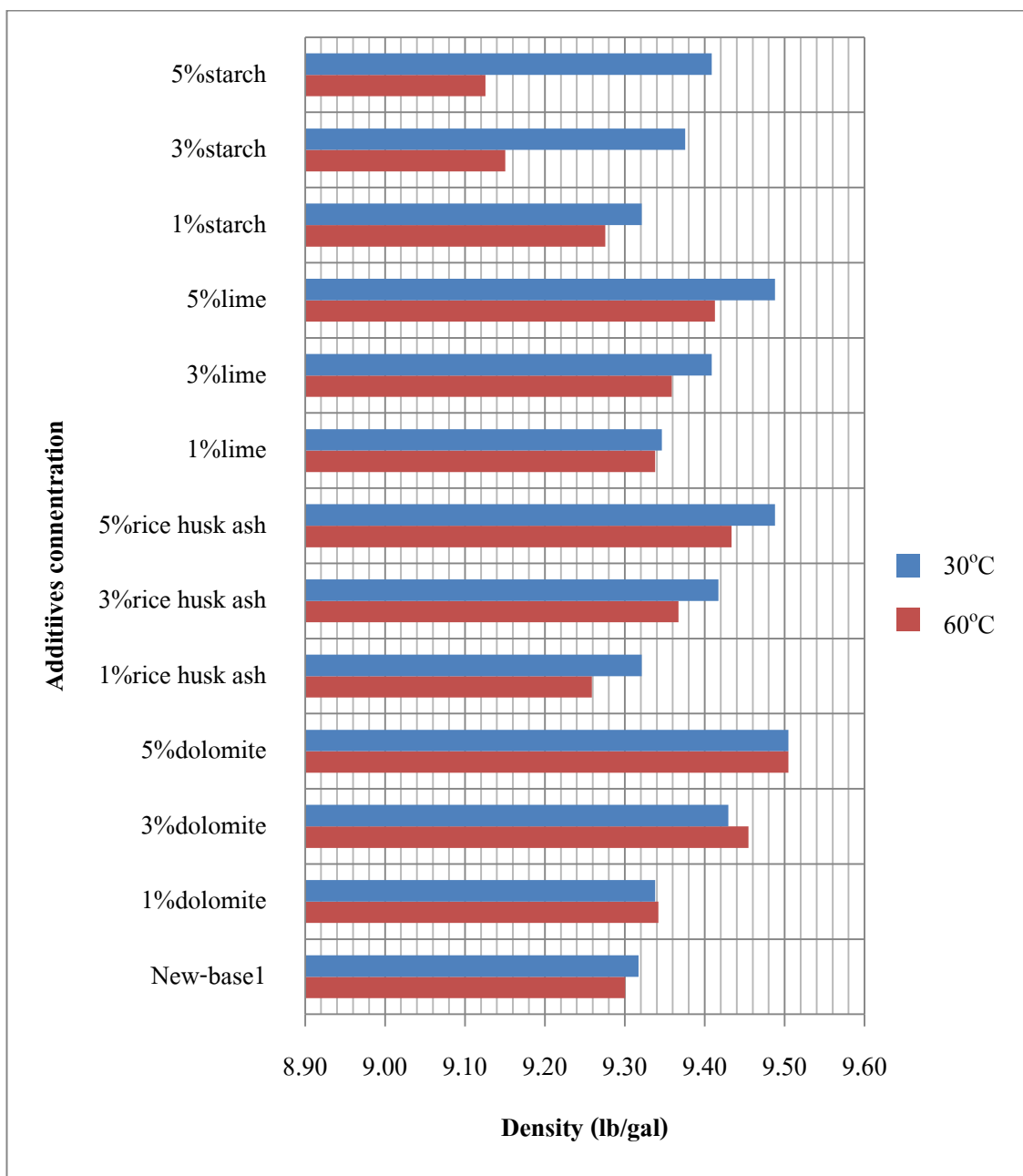
จากรูปที่ 4.85 พบว่าน้ำโคลนผสมสารตัวเติมทั้ง 4 ตัว ได้แก่ โดโลไมต์ เถ้าแกลบ ปูนขาว และแป้งมัน มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น



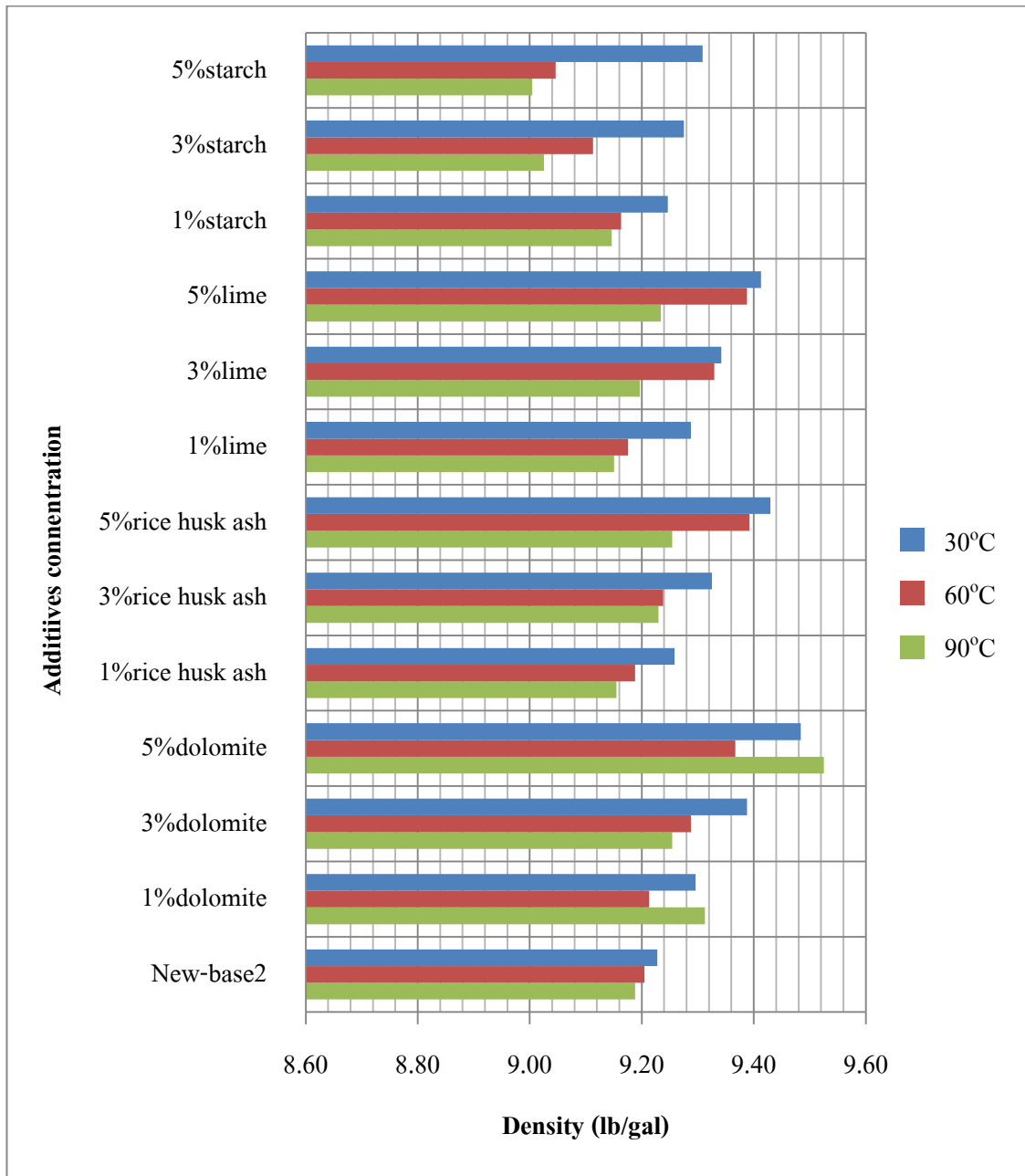
รูปที่ 4.85 ค่าความหนาแน่นของน้ำโคลนผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30°C

จากรูปที่ 4.86 พบว่าน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารตัวเติม ได้แก่ โดโลไมต์ และปูนขาว มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่มีค่าความหนาแน่นลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่น้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมโดโลไมต์ มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมัน มีค่าความหนาแน่นลดลง เมื่อมีค่าความหนาแน่นและอุณหภูมิสูงขึ้น

จากรูปที่ 4.87 พบว่าน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเติม ได้แก่ โดโลไมต์ และปูนขาว มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่มีค่าความหนาแน่นลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่น้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมโดโลไมต์ มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมัน มีค่าความหนาแน่นลดลง เมื่อมีค่าความหนาแน่นและอุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 4.86 ค่าความหนาแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30 และ 60°C

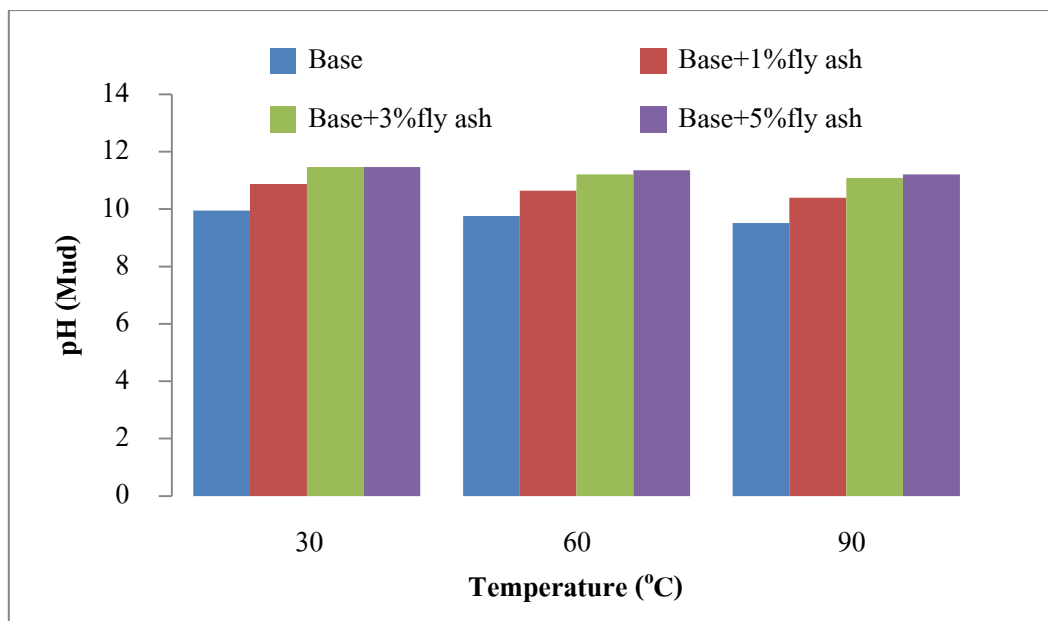


รูปที่ 4.87 ค่าความหนาแน่นของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

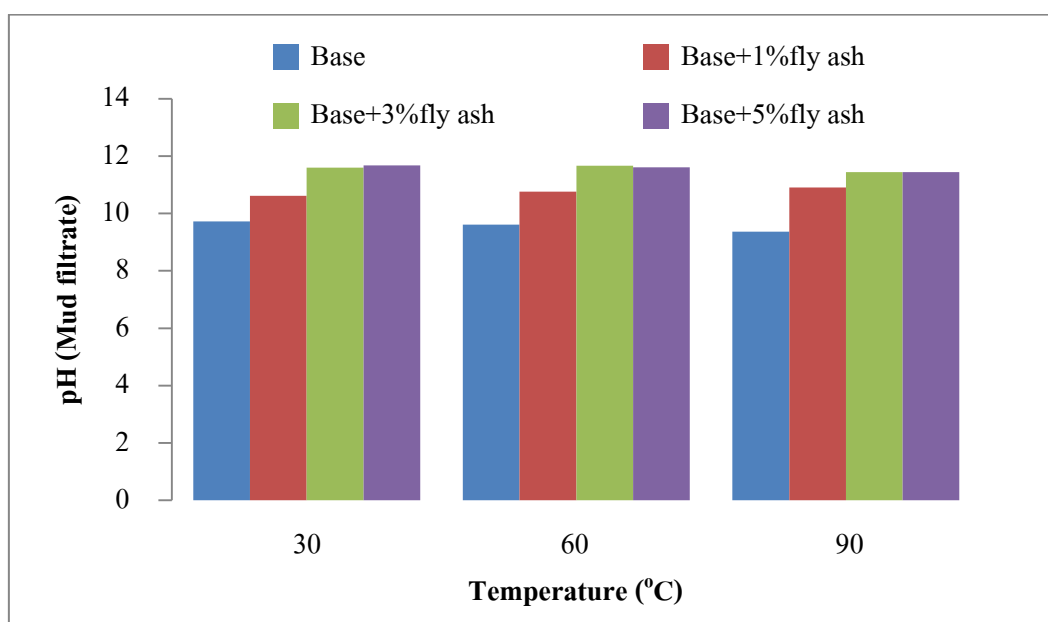
4.4.4 ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนชุดเจาะ (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) คือความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในรูปของกรัมต่อลิตรโดยปกติแล้วค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนที่ตัวทำละลายเป็นน้ำ (Water-based drilling mud) มีค่าอยู่ระหว่าง 9.5-10.5 (Baker Hughes, 2006) จากการคำนวณผลทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลน แสดงไว้ในรูปที่ 4.88 ถึง 4.94 และภาคผนวก ก

จากรูปที่ 4.88 และ 4.89 พบว่าน้ำโคลนและ Mud filtrate สูตรพื้นฐาน มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนน้ำโคลนผสมเถ้าลอย และ Mud filtrate มีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



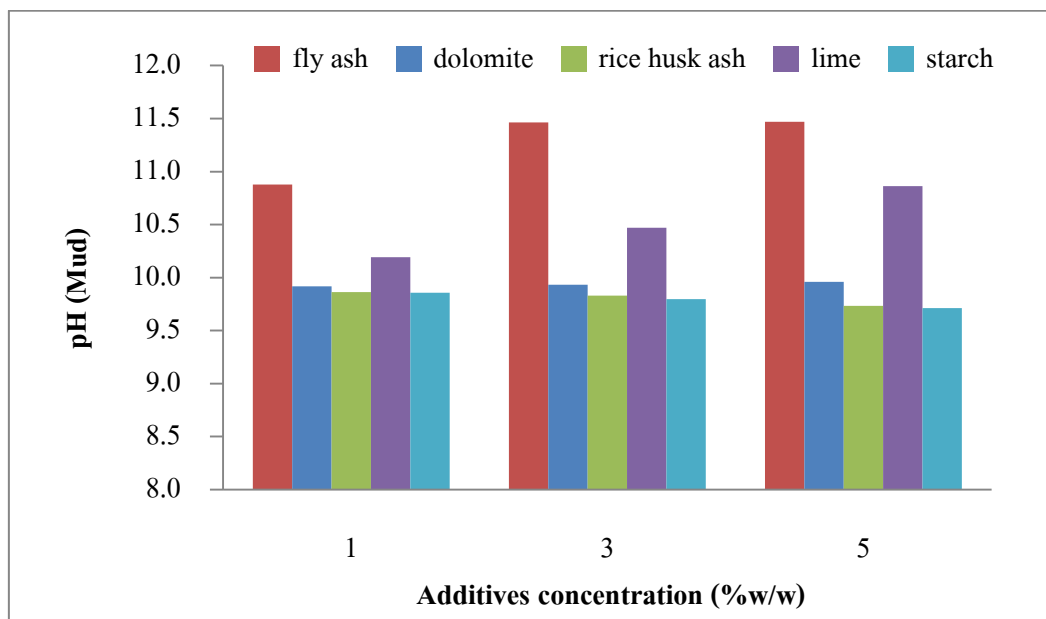
รูปที่ 4.88 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C



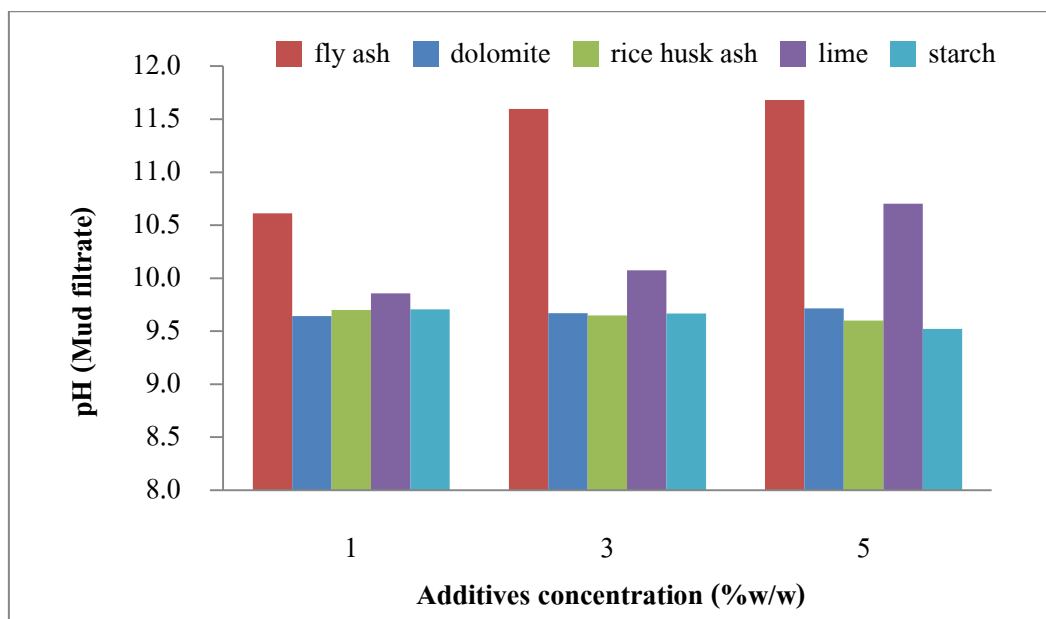
รูปที่ 4.89 ค่าความเป็นกรด-ด่าง Mud filtrate ของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

จากรูปที่ 4.90 พบว่าน้ำโคลนผสมสารตัวเดิมทั้ง 4 ตัว ได้แก่ โคลโลไมด์ เถ้าแกลบ ปูนขาว และแป้งมัน มีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น

จากรูปที่ 4.91 พบว่า Mud filtrate ของน้ำโคลนผสมสารตัวเดิม ได้แก่ โคลโลไมด์ และปูนขาว มีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ในขณะที่ Mud filtrate ของน้ำโคลนผสมเถ้าแกลบ และแป้งมัน มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น

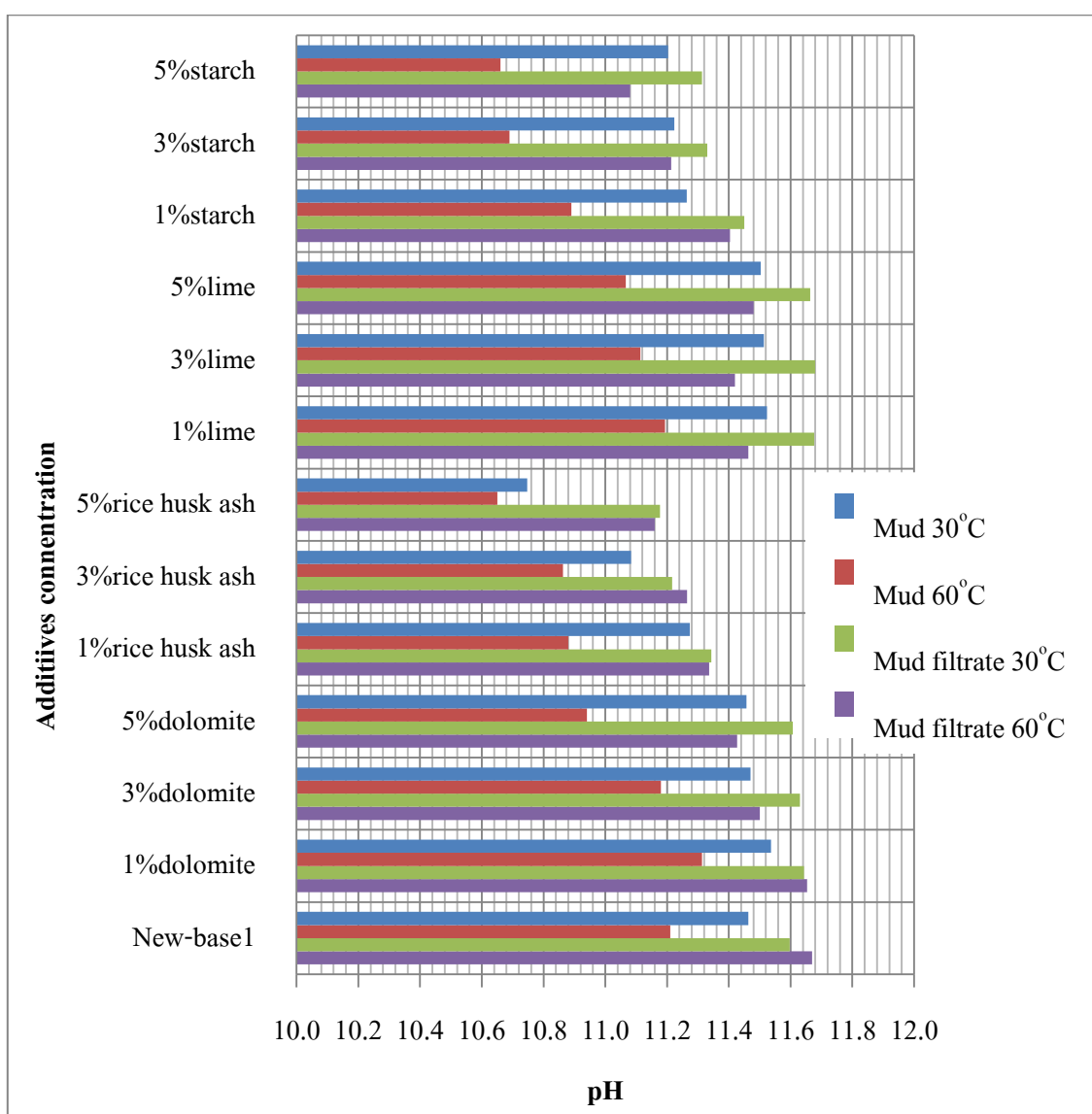


รูปที่ 4.90 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนผสมสารตัวเดิม ที่อุณหภูมิ 30°C



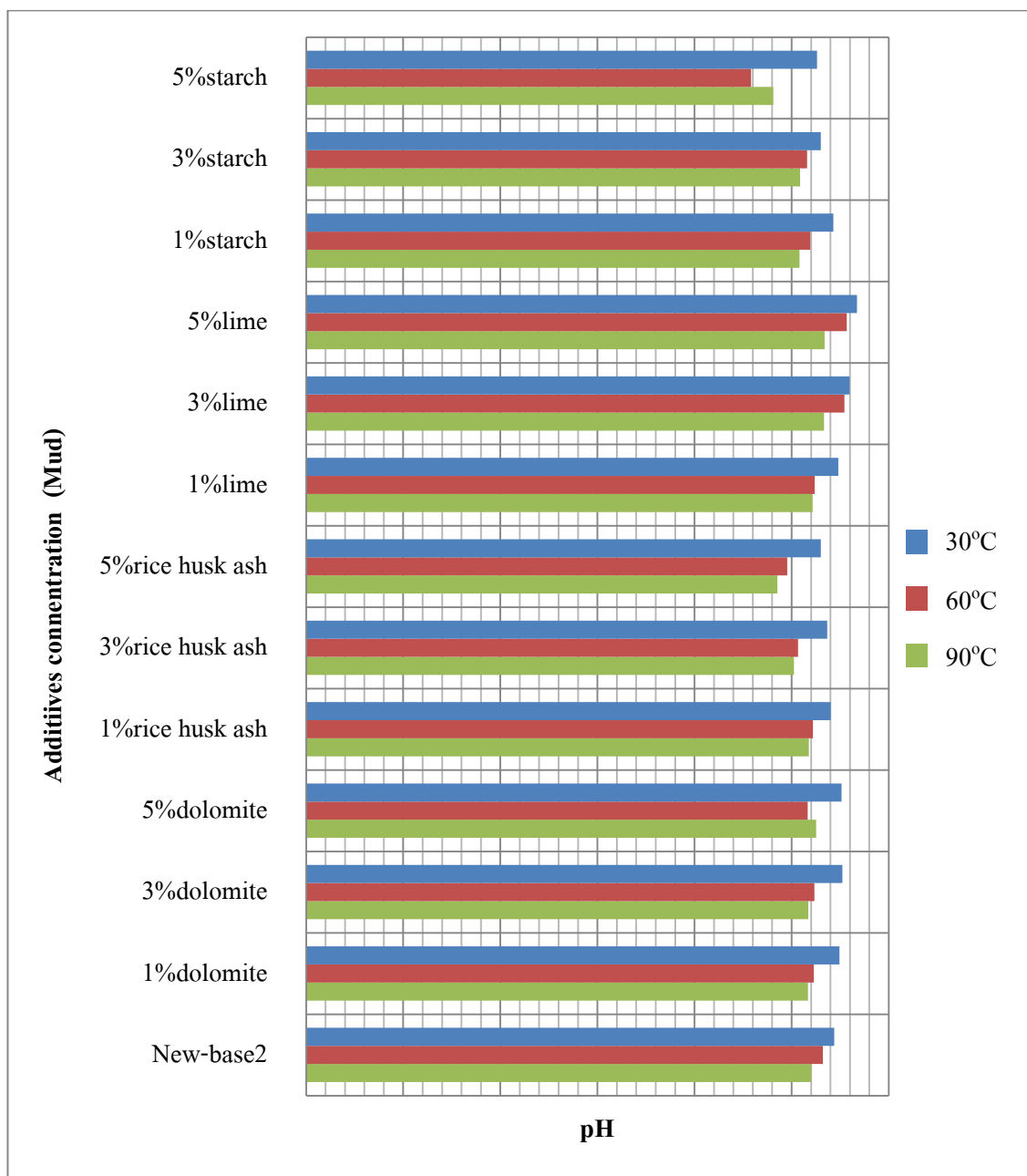
รูปที่ 4.91 ค่าความเป็นกรด-ด่าง Mud filtrate ของน้ำโคลนผสมสารตัวเดิม ที่อุณหภูมิ 30°C

จากรูปที่ 4.92 พบว่าน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารตัวเดิมทั้ง 4 ตัว ได้แก่ โดโลไมต์ เถ้าแกลบ ปูนขาว และแป้งมัน มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น และ Mud filtrate ของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมโดโลไมต์ และแป้งมัน มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่ Mud filtrate ของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมเถ้าแกลบ มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่มีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่เปลี่ยนแปลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วน Mud filtrate ของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมปูนขาว มีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



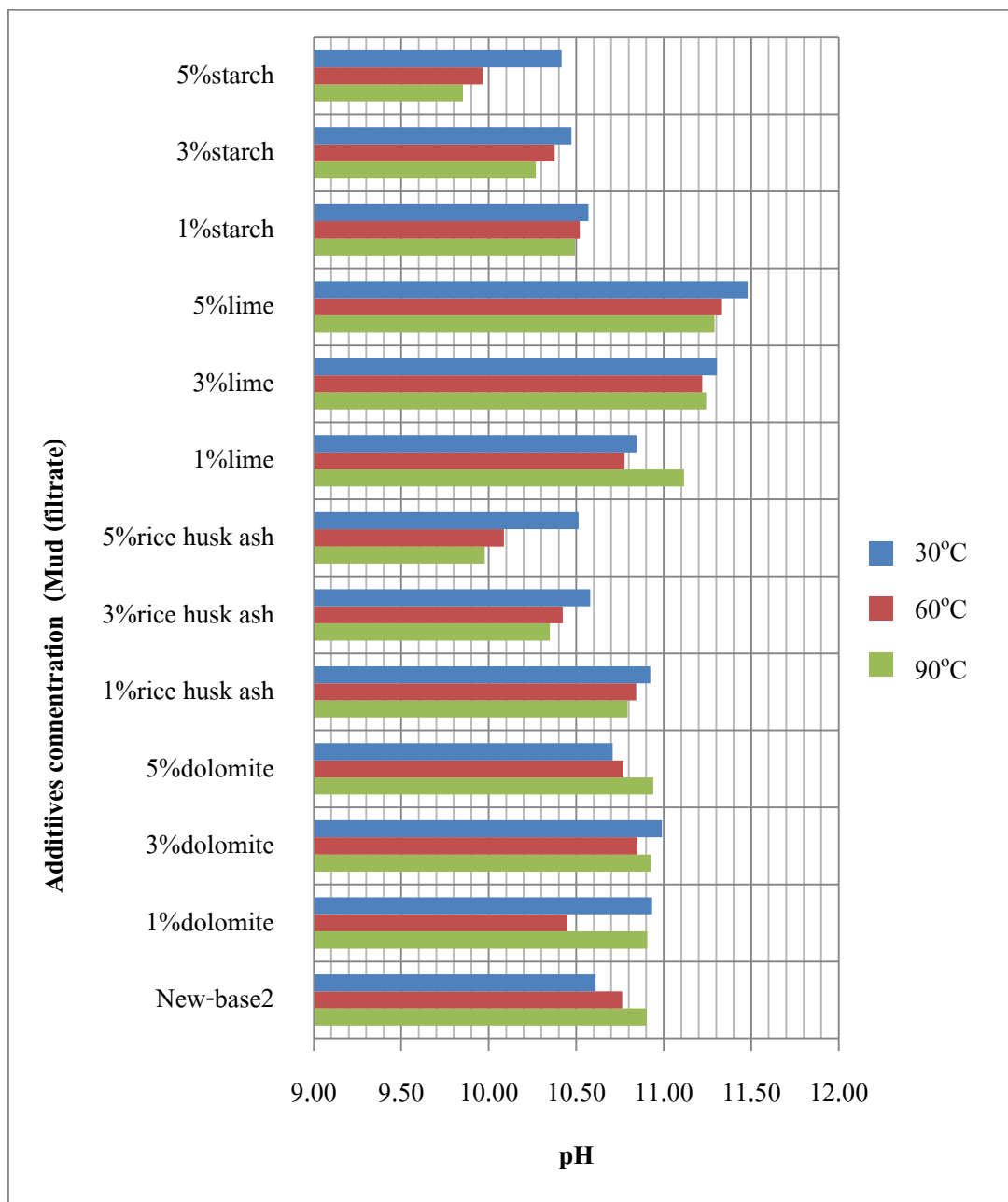
รูปที่ 4.92 ค่าความเป็นกรด-ด่างของ Mud filtrate และน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารเดิมแต่ง ที่อุณหภูมิ 30 และ 60°C

จากรูปที่ 4.93 พบว่าน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเดิม ได้แก่ โคลโลไมด์ เถ้าแกลบ และแป้งมัน มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่น้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาว มีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 4.93 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารเดิมแต่ง ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

จากรูปที่ 4.94 พบว่า Mud filtrate ของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเดิม ได้แก่ เถ้าแกลบ และแป้งมัน มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่ Mud filtrate ของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมโดโลไมต์ มีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ส่วน Mud filtrate ของน้ำโคลนผสมปูนขาว มีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



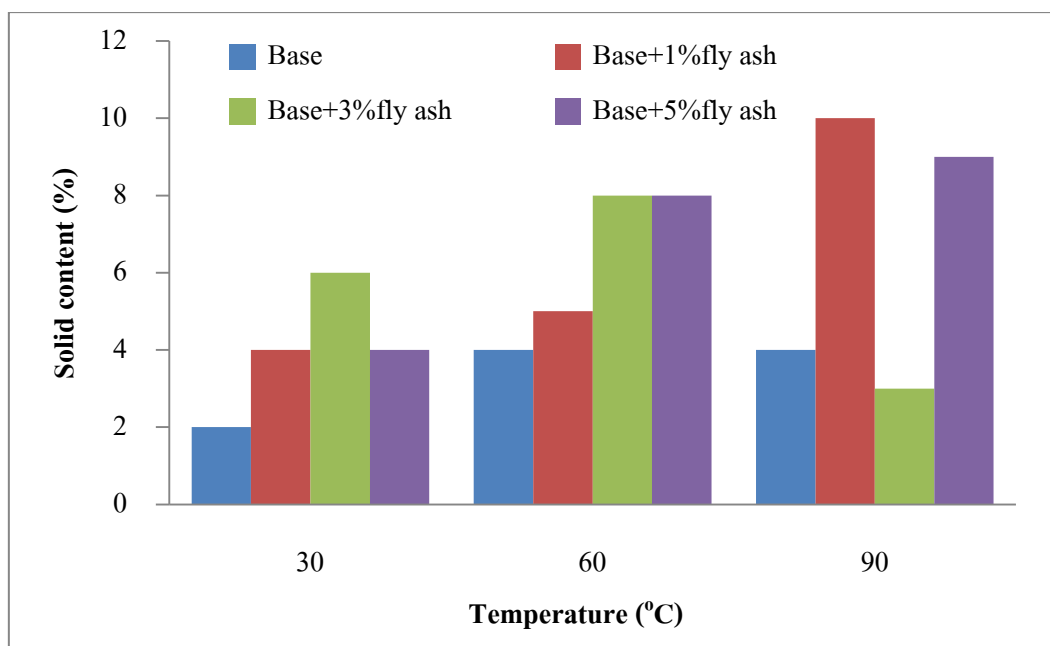
รูปที่ 4.94 ค่าความเป็นกรด-ด่าง Mud filtrate ของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารเดิมแต่ง ที่อุณหภูมิ 30, 60 และ 90°C

ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) แสดงให้เห็นว่าสารตัวเดิมทั้ง 4 ตัว ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่น้ำโคลนตัวใหม่ 1 และ 2 มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ยกเว้นน้ำโคลนที่ผสมปูนขาว ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 9.2 ถึง 11.5 และค่าความเป็นกรด-ด่าง Mud filtrate ของน้ำโคลน มีค่าอยู่ระหว่าง 9.4 ถึง 11.7

4.4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งของน้ำโคลนชุดเจาะ (Solid content)

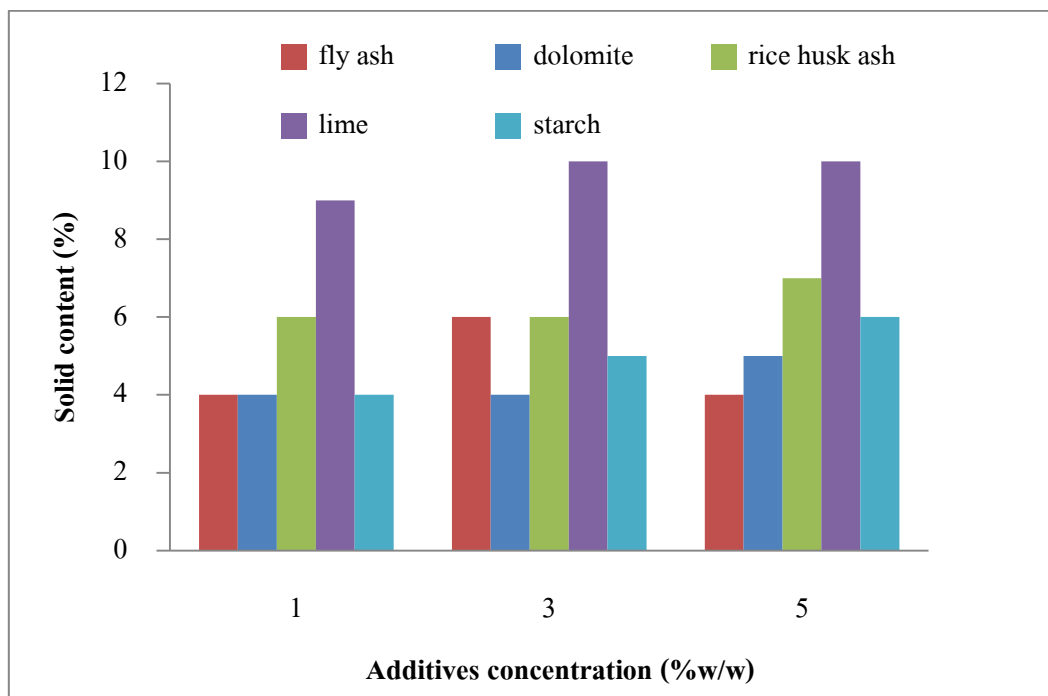
ของแข็งในน้ำโคลนปกติ แบ่งออกเป็นของแข็งที่มีความถ่วงจำเพาะสูง (High gravity solid, HGS) ซึ่งหมายถึงแบไรต์และส่วนประกอบอื่นๆ ที่มีความถ่วงจำเพาะสูง สำหรับของแข็งที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ (Low gravity solid, LGS) ประกอบด้วย ดินเหนียว (Clay) พอลิเมอร์ และวัสดุเชื่อมประสาน ที่ใส่ลงในน้ำโคลนรวมกับของแข็งจากเศษหิน (Cutting) และหินเดิม (ground rock) จำนวนและประเภทของของแข็งในน้ำโคลน ส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำโคลน ซึ่งปริมาณของแข็งไม่ควรเกินร้อยละ 10 โดยผลการทดสอบปริมาณของแข็ง (Solid content) ในน้ำโคลน แสดงไว้ในรูปที่ 4.95 ถึง 4.98 และภาคผนวก ก

จากรูปที่ 4.95 พบว่าน้ำโคลนสูตรพื้นฐาน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และน้ำโคลนผสมถั่วลอ่ย มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 4.95 ค่าปริมาณของแข็งของน้ำโคลนผสมถั่วลอ่ย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

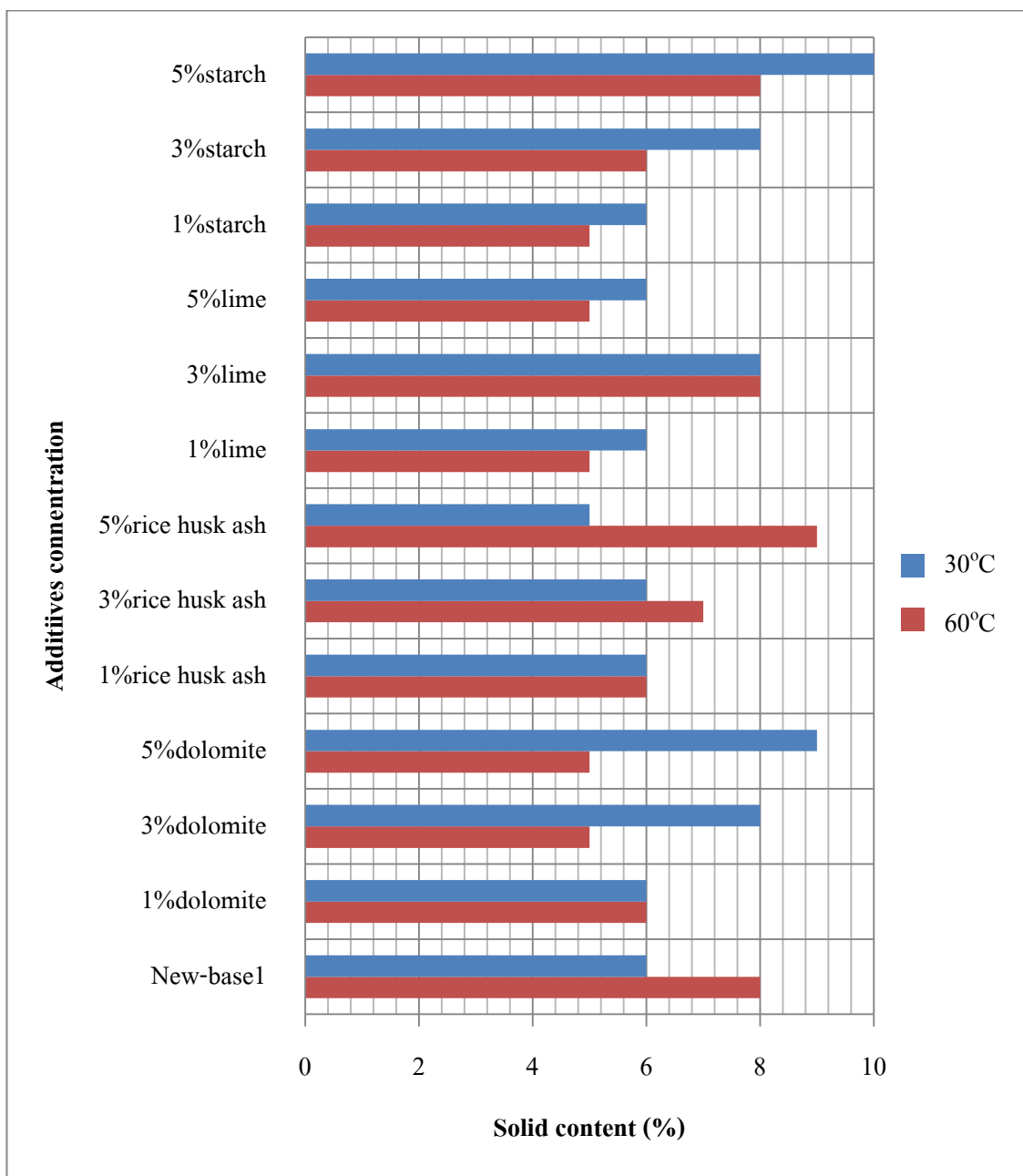
จากรูปที่ 4.96 พบว่าน้ำโคลนผสมสารตัวเดิม ทั้ง 4 ตัว ได้แก่ โดโลไมต์ เถ้าแกลบ ปูนขาว และแป้งมัน มีค่าปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น



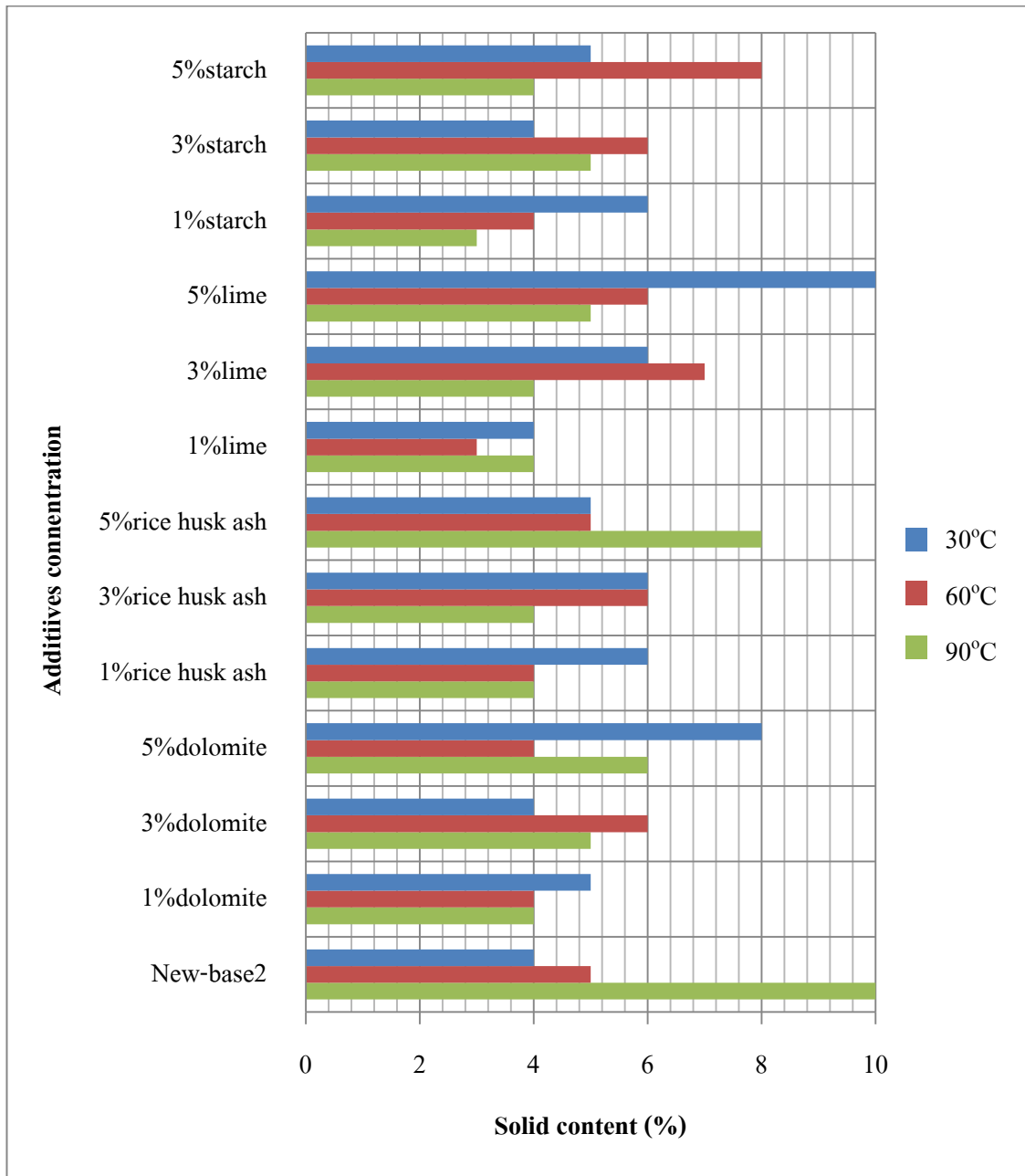
รูปที่ 4.96 ค่าปริมาณของแข็งของน้ำโคลนผสมสารตัวเดิม ที่อุณหภูมิ 30°C

จากรูปที่ 4.97 พบว่าน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารตัวเดิม ได้แก่ ปูนขาว และแป้งมัน มีค่าปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่มีค่าปริมาณของแข็งลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่น้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมโดโลไมต์ มีปริมาณของแข็งลดลง เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมเถ้าแกลบ มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น

จากรูปที่ 4.98 พบว่าน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเดิม ได้แก่ โดโลไมต์ เถ้าแกลบ และปูนขาว มีค่าปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่มีค่าปริมาณของแข็งลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่น้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมัน มีปริมาณของแข็งลดลง เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 4.97 ค่าปริมาณของแข็งของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30 และ 60°C



รูปที่ 4.98 ค่าปริมาณของแข็งของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

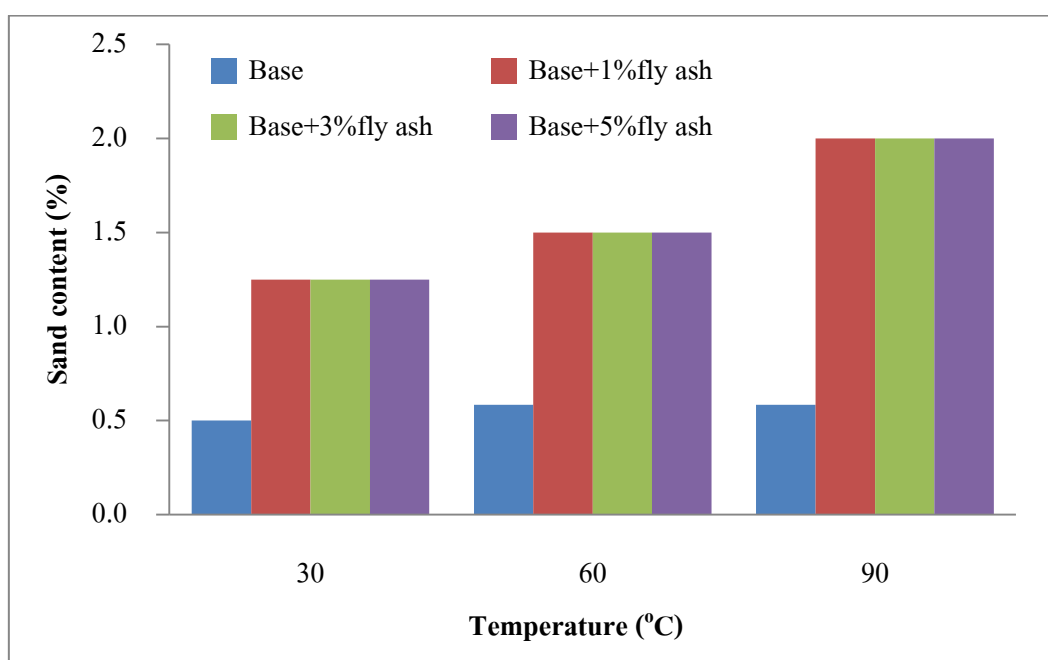
ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง (Solid content) แสดงให้เห็นว่าน้ำโคลนสูตรพื้นฐาน มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เช่นเดียวกับน้ำโคลนผสมเถ้าลอย และสารตัวเติมทั้ง 4 ตัว มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ในขณะที่น้ำโคลนตัวใหม่ 1 และ 2 ส่วนใหญ่มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่มีปริมาณลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ยกเว้นน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมโดโลไมต์ และน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมัน มีปริมาณของแข็งลดลง เมื่อ

ความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมเถ้าแกลบ มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งมีปริมาณของแข็งร้อยละ 2 ถึง 10

4.4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณทรายของน้ำโคลนชุดเจาะ (Sand content)

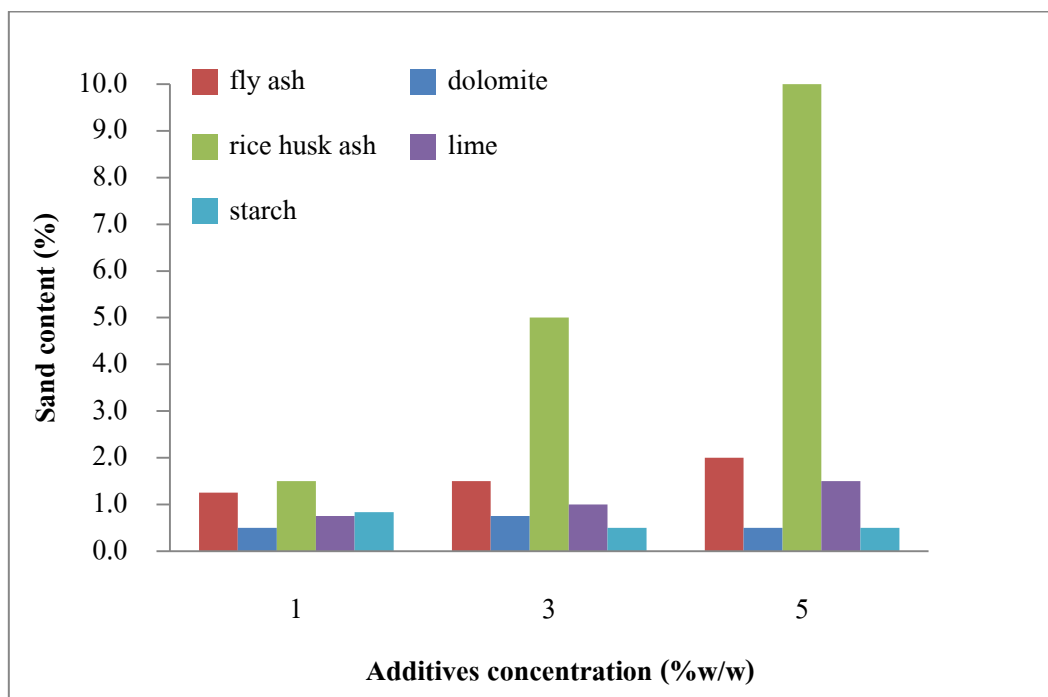
อนุภาคขนาดใหญ่ของทราย มีขนาดใหญ่กว่า 0.075 มิลลิเมตร เป็นสาเหตุของการอุดตันในส่วนเครื่องสูบลม ท่อ (Tubular) รวมทั้งอุปกรณ์การชุดเจาะและมอเตอร์ภายในหลุม โดยมาตรฐานของน้ำโคลนควรมีปริมาณทรายไม่เกินร้อยละ 0.3 ซึ่งผลการทดสอบปริมาณทรายของน้ำโคลนแสดงไว้ในรูปที่ 4.99 ถึง 4.102 และภาคผนวก ก

จากรูปที่ 4.99 พบว่าน้ำโคลนสูตรพื้นฐาน มีปริมาณทรายเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และน้ำโคลนผสมเถ้าลอย มีปริมาณทรายเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ซึ่งปริมาณกว่าน้ำโคลนมาตรฐาน แต่ปริมาณทรายของน้ำโคลนผสมเถ้าลอยไม่เปลี่ยนแปลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 4.99 ค่าปริมาณของทรายของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

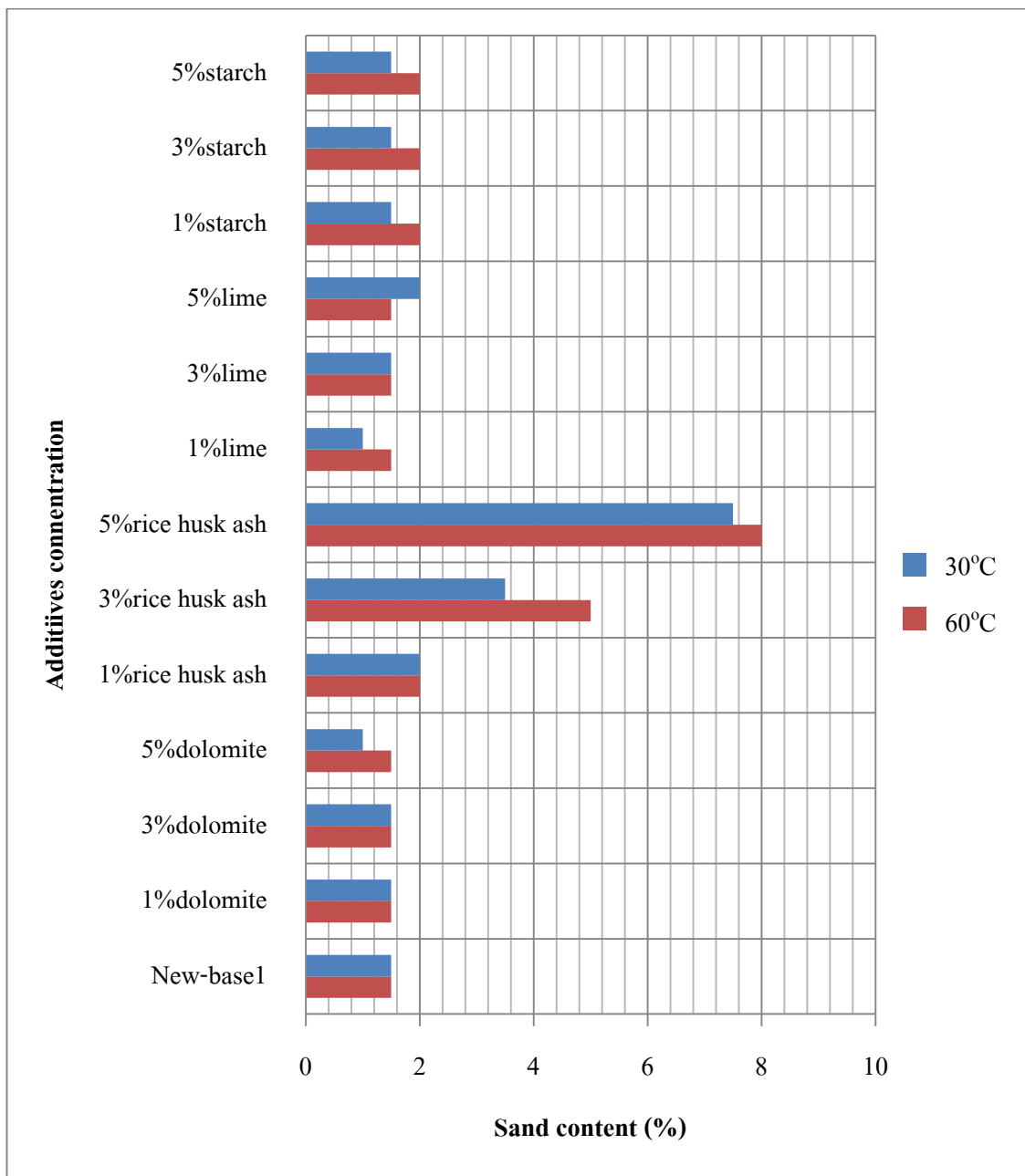
จากรูปที่ 4.100 พบว่าน้ำโคลนผสมสารตัวเติม ได้แก่ โดโลไมต์ เถ้าแกลบ และปูนขาว มีปริมาณทรายเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ในขณะที่น้ำโคลนผสมแป้งมัน มีปริมาณทรายไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น



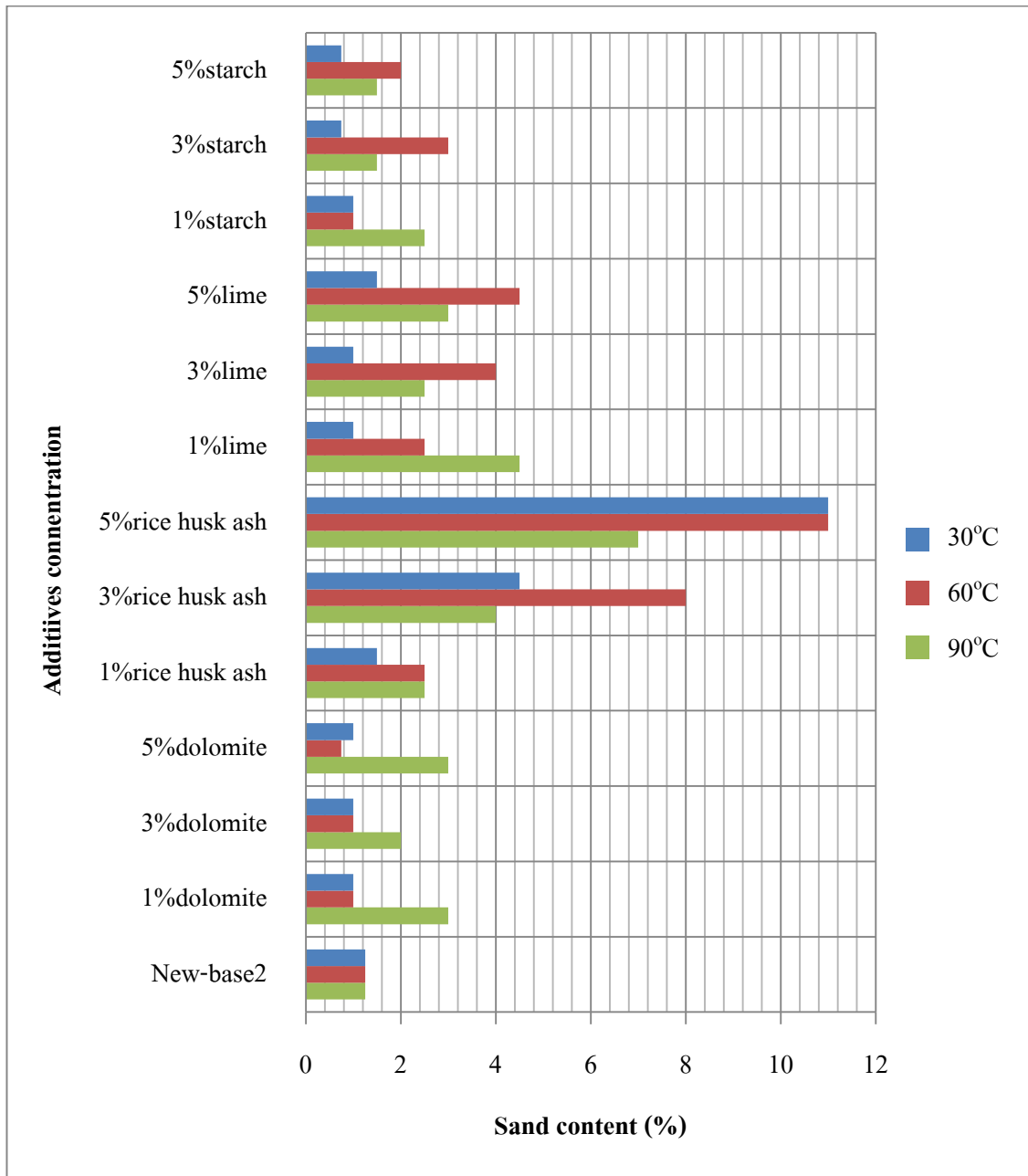
รูปที่ 4.100 ค่าปริมาณของทรายของน้ำโคลนผสมสารตัวเดิม ที่อุณหภูมิ 30°C

จากรูปที่ 4.101 พบว่าน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารตัวเดิม ได้แก่ โดโลไมต์ และปูนขาว มีปริมาณทรายไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่น้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมเถ้าแกลบ มีปริมาณทรายเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมัน มีปริมาณทรายไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณทรายเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

จากรูปที่ 4.102 พบว่าน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเดิมทั้ง 4 ตัว ได้แก่ โดโลไมต์ เถ้าแกลบ ปูนขาว และแป้งมัน มีปริมาณทรายเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 4.101 ค่าปริมาณของทรายของน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารตัวเดิมที่อุณหภูมิ 30 และ 60°C



รูปที่ 4.102 ค่าปริมาณของทรายของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเติมที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

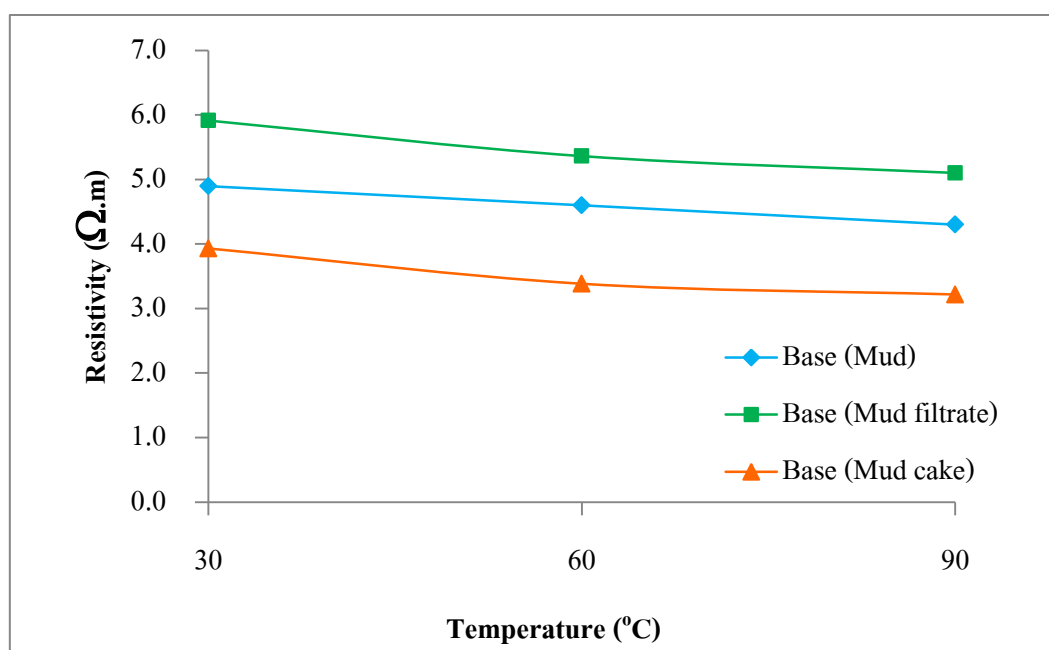
ผลการวิเคราะห์ปริมาณทราย (Sand content) แสดงให้เห็นว่าน้ำโคลนทั้งหมด มีปริมาณทรายเกินร้อยละ 0.3 ตามเกณฑ์มาตรฐาน โดยพบว่าน้ำโคลนผสมถั่วลอ่ย และสารตัวเติมทั้ง 4 ตัว มีปริมาณทรายเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ยกเว้นน้ำโคลนผสมแป้งมัน มีปริมาณทรายไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น และน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมโดโลไมต์ และปูนขาว มีปริมาณทรายไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น และน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมแป้ง

มัน มีปริมาณทรายไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่มีปริมาณทรายเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยมีปริมาณทรายอยู่ระหว่างร้อยละ 0.5 ถึง 11.0

4.4.7 ผลการวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้าของน้ำโคลนชุดเจาะ (Resistivity)

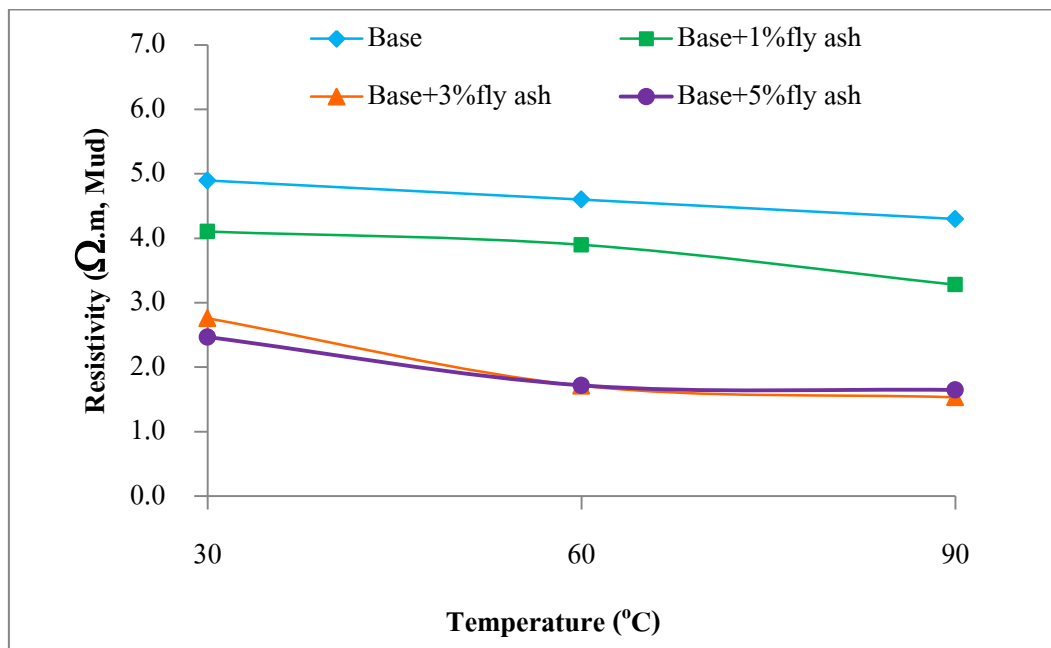
ผลการทดสอบความต้านทานไฟฟ้าของน้ำโคลน และ Mud filtrate แสดงไว้ในรูปที่ 4.103 ถึง 4.107 และภาคผนวก ก

จากรูปที่ 4.103 พบว่าสูตรพื้นฐานของน้ำโคลน Mud filtrate และแผ่นโคลน (Mud cake) มีค่าความต้านทานไฟฟ้าลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยน้ำโคลนมีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงกว่า Mud filtrate และแผ่นโคลน (Mud cake) ตามลำดับ

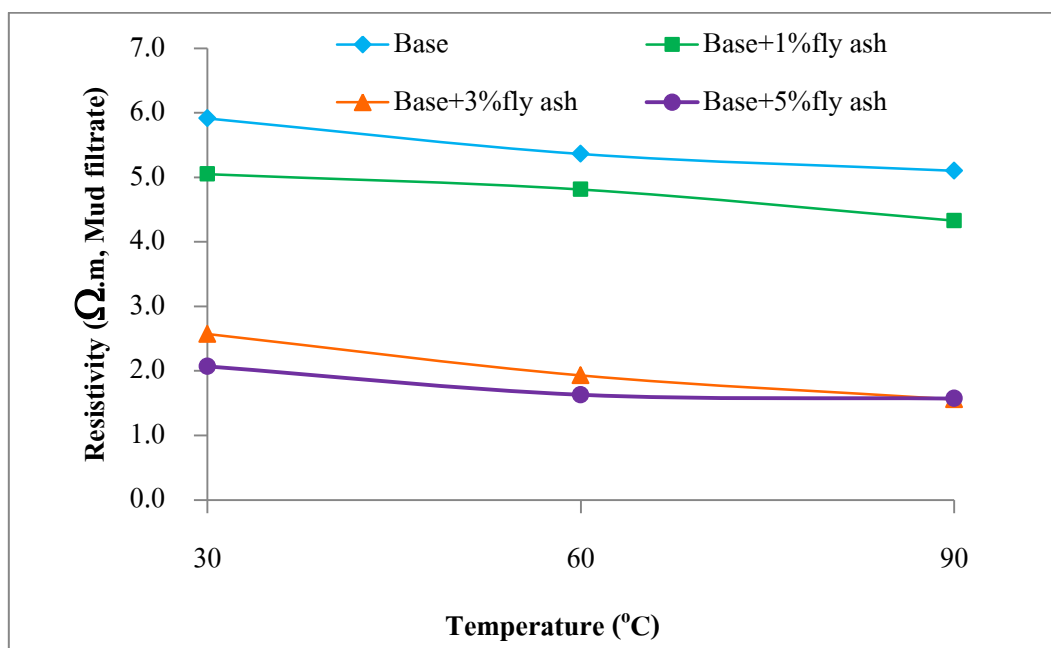


รูปที่ 4.103 ค่าความต้านทานของน้ำโคลน ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

จากรูปที่ 4.104 และ 4.105 พบว่าน้ำโคลนผสมสารตัวเติม และ Mud filtrate ทั้ง 4 ตัว ได้แก่ โคลโลไมด์ เถ้าแกลบ ปูนขาว และแป้งมัน มีค่าความต้านทานไฟฟ้าลดลง เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น

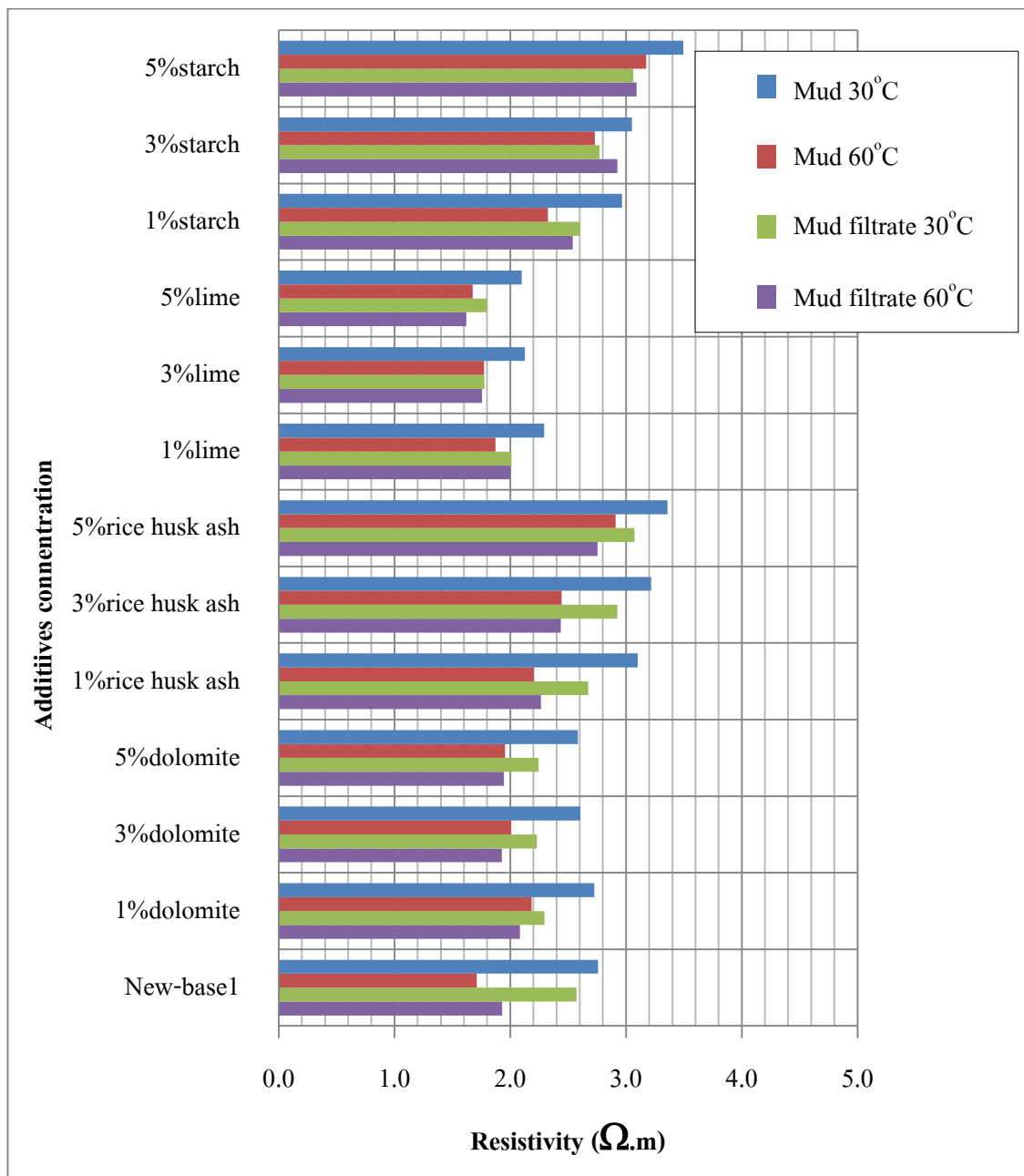


รูปที่ 4.104 ค่าความต้านทานของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C



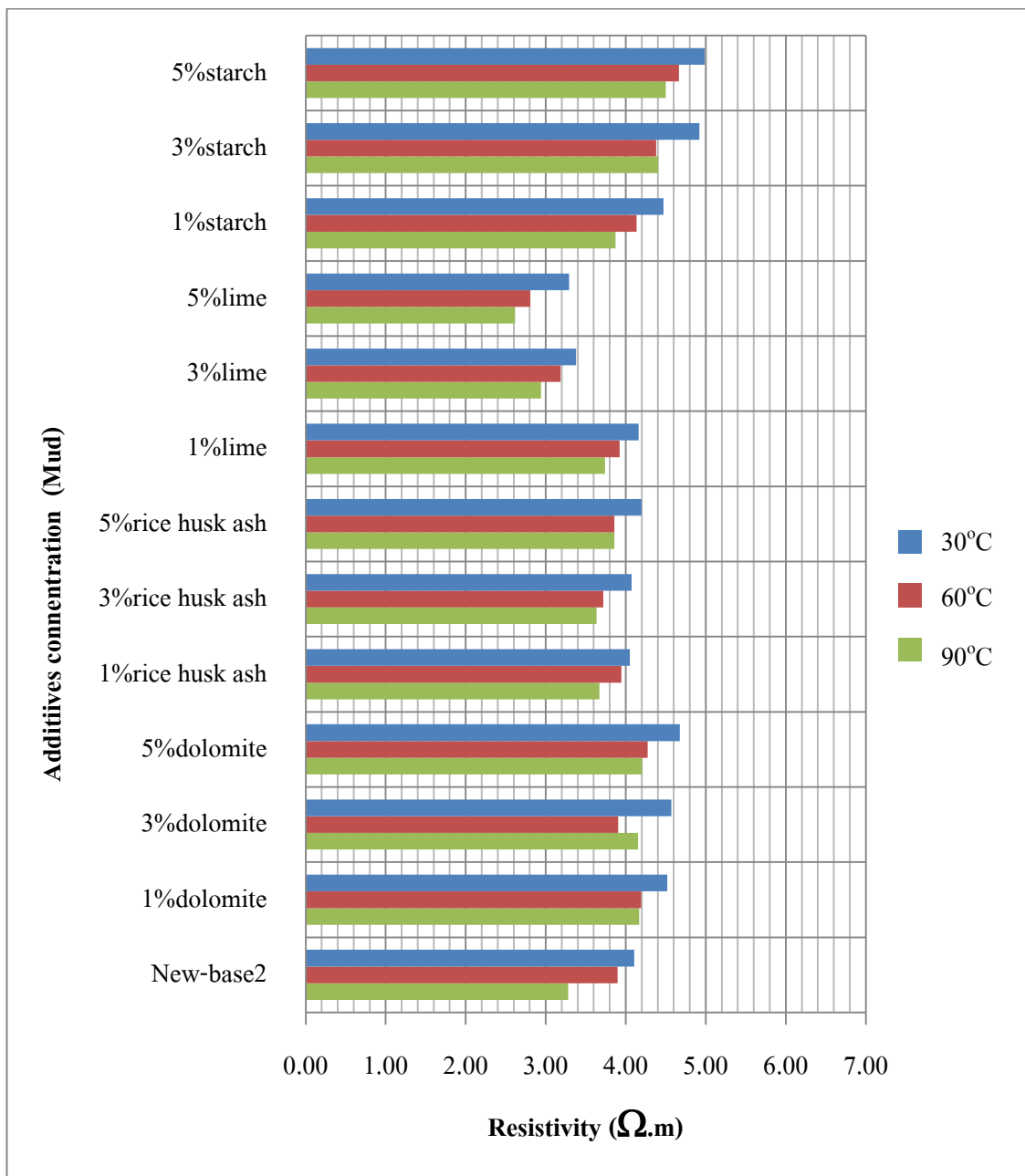
รูปที่ 4.105 ค่าความต้านทาน Mud filtrate ของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

จากรูปที่ 4.106 พบว่าน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารตัวเดิม และ Mud filtrate ได้แก่ โดโลไมต์ และปูนขาว มีค่าความต้านทานไฟฟ้าลดลง เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่น้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมเถ้าแกลบ และแป้งมัน มีค่าความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



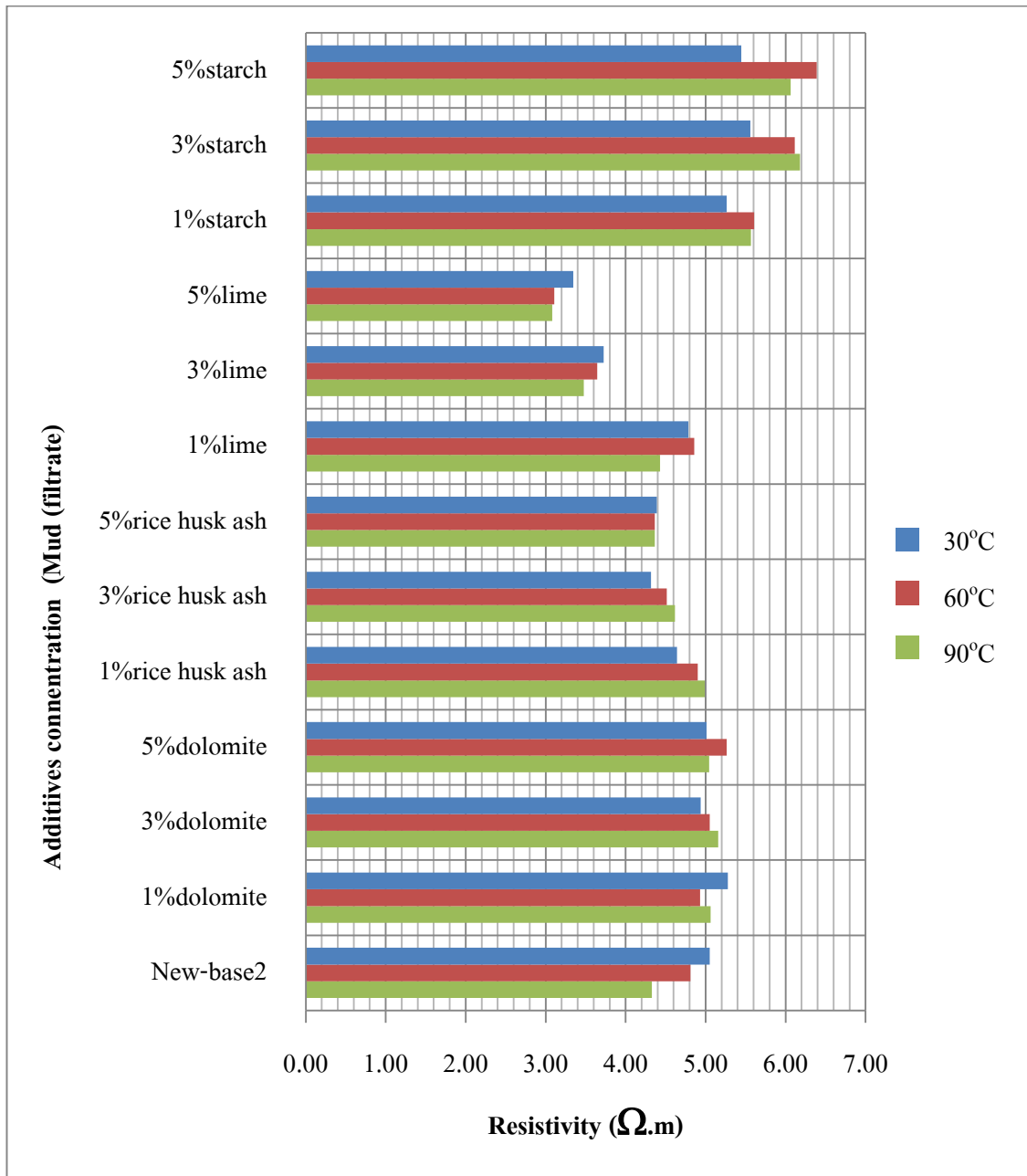
รูปที่ 4.106 ค่าความต้านทานของ Mud filtrate และน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมสารเดิมแต่ง ที่อุณหภูมิ 30 และ 60°C

จากรูปที่ 4.107 พบว่าน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเดิม ได้แก่ โดโลไมต์ เถ้าเกลบ และแป้งมัน มีค่าความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่น้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาว มีค่าความต้านทานไฟฟ้าลดลง เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 4.107 ค่าความต้านทานของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเติม ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

จากรูปที่ 4.108 พบว่า Mud filtrate ของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเติม ได้แก่ โดโลไมต์ และปูนขาว มีค่าความต้านทานไฟฟ้าลดลง เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่ Mud filtrate ของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมเถ้าแกลบ มีค่าความต้านทานไฟฟ้าลดลง เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วน Mud filtrate ของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมัน มีค่าความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่มีค่าความต้านไฟฟ้าลดลง เมื่ออุณหภูมิลดลง



รูปที่ 4.108 ค่าความต้านทาน Mud filtrate ของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมสารตัวเดิม ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) แสดงให้เห็นว่าน้ำโคลนทั้งหมด มีค่าความต้านทานลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และน้ำโคลนผสมสารตัวเดิมมีค่าความต้านทานไฟฟ้าลดลง เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ยกเว้นน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมเถ้าแกลบ และแป้งมัน รวมทั้งน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมโดโลไมต์ เถ้าแกลบ และแป้งมัน มีค่าความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้น ซึ่งมีความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 1.53 ถึง 6.39 $\Omega.m$

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์ทั้งผลการทดลองและทางเศรษฐศาสตร์ และสรุปผลทั้งหมดที่ได้จากการทดลองและแนวทางในการศึกษาในอนาคต

5.1 ผลจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ผลของอุณหภูมิ และสัดส่วนของน้ำโคลนขุดเจาะ

ผลจากการวิเคราะห์ธาตุประกอบ พบว่าสารที่ใช้ผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ ได้แก่ แบไรต์ เบนโทไนต์ เถ้าลอย โคลโลไมต์ เถ้าแกลบ ปูนขาว และแป้งมัน มีปริมาณธาตุประกอบหลัก ตามลำดับดังต่อไปนี้ แบไรต์มีปริมาณโบรอนร้อยละ 53.8 เบนโทไนต์มีปริมาณซิลิกอนร้อยละ 59.3 เถ้าลอยมีปริมาณซิลิกอนร้อยละ 34.9 โคลโลไมต์มีปริมาณแคลเซียมร้อยละ 89.4 เถ้าแกลบมีปริมาณซิลิกอนร้อยละ 59.3 ปูนขาวมีปริมาณแคลเซียมร้อยละ 99.6 และแป้งมันมีปริมาณแคลเซียมร้อยละ 54.9

จากผลของการวิเคราะห์แร่ประกอบ พบว่าสารที่ใช้ผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ สารแต่ละตัวมีแร่ประกอบหลักที่แตกต่างกันคือ แบไรต์มีแร่แบไรต์ร้อยละ 77.3 เบนโทไนต์มีแร่มอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 56.7 เถ้าลอยมีแร่ควอร์ตซ์ร้อยละ 24.3 โคลโลไมต์มีแร่แคลไซต์ร้อยละ 73.2 เถ้าแกลบมีแร่ลิเทียมแคลเซียมซิลิเกตร้อยละ 86.3 และปูนขาวมีแร่แคลไซต์ ร้อยละ 100

หลังทำการผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ พบว่าธาตุและแร่ประกอบหลักของน้ำโคลนขุดเจาะที่มีคุณสมบัติเหมาะสม มีส่วนประกอบดังนี้ สารประกอบซิลิกอนร้อยละ 20.3 ถึง 55.1 สารประกอบโบรอนร้อยละ 4.8 ถึง 31.9 สารประกอบซัลเฟอร์ร้อยละ 7.5 ถึง 18.7 สารประกอบอะลูมิเนียมร้อยละ 6.7 ถึง 13.5 สารประกอบเหล็กร้อยละ 6.8 ถึง 19.5 และสารประกอบแคลเซียมร้อยละ 1.7 ถึง 28.8 ส่วนผลของแร่ประกอบหลักของน้ำโคลนขุดเจาะหลังทำการผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะประกอบด้วยแร่แบไรต์ร้อยละ 29.8 ถึง 43.5 แร่มอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 14.9 ถึง 30.6 แร่เคโอลิไนต์ร้อยละ 7.5 ถึง 22.1 แร่ควอร์ตซ์ร้อยละ 5.9 ถึง 15.7 แร่แคลไซต์ร้อยละ 1.9 ถึง 28.4 แร่ฮีมาไทต์ร้อยละ 2.0 ถึง 4.8 แร่ยิปซัมร้อยละ 0.6 ถึง 5.3 แร่โคลโลไมต์ร้อยละ 0.2 ถึง 0.5 แร่แอนไฮไดรต์ร้อยละ 0 ถึง 2.1 และแร่อะโนไรท์ร้อยละ 0 ถึง 6.2

ปริมาณธาตุประกอบที่พบแสดงความสัมพันธ์กับแร่องค์ประกอบในน้ำโคลนขุดเจาะดังต่อไปนี้ ปริมาณสารประกอบซิลิกอน (SiO_2) อยู่ในรูปของแร่ควอร์ตซ์ แร่มอนต์มอริลโลไนต์ แร่อะโนไรท์

และแร่เคโอลิไนต์ ส่วนปริมาณสารประกอบโบรอน (BaO) อยู่ในรูปของแร่ แบไรต์ ปริมาณสารประกอบซัลเฟอร์ (SO_3) อยู่ในรูปของแร่แบไรต์ แร่ยิปซัม และแร่แอนไฮไดรต์ ปริมาณสารประกอบเหล็ก (Fe_2O_3) อยู่ในรูปของแร่ฮีมาไทต์ และปริมาณสารประกอบแคลเซียม (CaO) อยู่ในรูปแร่โดโลไมต์ และแร่แคลไซต์ โดยพบว่าอุณหภูมิระหว่าง 30 ถึง 90°C ไม่ส่งต่อการเปลี่ยนแปลงของธาตุและแร่ประกอบ ซึ่งสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุและแร่ประกอบนั้น ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเกลือลอย และสารตัวเติมในแต่ละสูตร

5.2 ผลจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ผลของอุณหภูมิ และสัดส่วนของน้ำโคลนชุดเจาะ

จากผลการวิเคราะห์การกระจายตัว และลักษณะพื้นผิวของแบไรต์ เบนโทไนต์ เกลือลอยโดโลไมต์ เถ้าแกลบ ปูนขาว และแป้งมัน ที่กำลังขยายตั้งแต่ 100 ถึง 10,000 เท่า พบว่าลักษณะพื้นผิวแบไรต์ลักษณะพื้นผิวเป็นเหลี่ยมแหลมและมีเศษชิ้นเรียวยาวแหลมเกาะอยู่รอบๆ เม็ดหยาบ ขนาดอยู่ระหว่าง 10 ถึง 50 ไมโครเมตร เบนโทไนต์ลักษณะพื้นผิวเป็นเหลี่ยมมน และมีรูพรุนกระจายทั่วเม็ด แต่จำนวนไม่มาก เกลือลอยโดโลไมต์เป็นทรงกลม มีทั้งส่วนที่ขรุขระ และ เรียบ ขนาดอยู่ระหว่าง 1 ถึง 100 ไมโครเมตร โดโลไมต์เป็นเหลี่ยมมน เถ้าแกลบเรียวยาวและมีรูพรุนขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่ว ปูนขาวเป็นเม็ดเล็กๆ เกาะกันแน่นหนา แป้งมันเป็นทรงกลม ผิวเรียบเนียน ส่วนการกระจายตัวของสารทั้งหมด เม็ดละเอียดส่วนใหญ่กระจายแยกกัน บางส่วนเกาะรอบๆ เม็ดหยาบ และบางสารเกาะกันเป็นกลุ่มๆ ส่วนผลจากการวิเคราะห์ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของตัวอย่างหลังการผสมเป็นน้ำโคลนที่กำลังขยายตั้งแต่ 500 ถึง 1,000 เท่า โดยใช้ผนังโคลน (Mud cake) ในการศึกษา พบว่าลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างมีความขรุขระ มีการจับตัวกันแน่นของส่วนประกอบ และยังคงสภาพของตัวเม็ดสารอยู่ ถึงแม้จะผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 และ 90°C

ตัวอย่างที่ 1 ที่ใช้เป็นสูตรพื้นฐาน พบว่ามีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ มีการจับตัวกันและเชื่อมประสานระหว่างส่วนประกอบต่างๆ สำหรับตัวอย่างอื่นๆ ก็มีลักษณะคล้ายตัวอย่างที่ 1 แต่พบว่ามีเพียงการจับตัวกันของส่วนประกอบเท่านั้น การเชื่อมประสานยังไม่ดี และในส่วนตัวอย่างที่ 24 ที่ใช้แป้งมันเป็นสารตัวเติมผสมกับน้ำโคลน ที่อุณหภูมิ 30°C มีการกระจายตัวของกระดูกแป้งมันรวมกันกับส่วนประกอบอื่นๆ โดยยังเห็นเป็นลักษณะทรงกลมของกลุ่มแป้งมัน และตัวอย่างที่ 84 ที่ใช้แป้งมันเป็นสารตัวเติมผสมกับน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ที่อุณหภูมิ 90°C แป้งมันมีการยึดเกาะรวมกับส่วนประกอบอื่นๆ เข้าเป็นเนื้อเดียวกันเกือบทั้งหมด โดยอุณหภูมิจะส่งผลต่อการเชื่อมประสานของส่วนประกอบ โดยเฉพาะกับแป้งมันเมื่ออุณหภูมิและความเข้มข้นสูงขึ้น จะทำให้เกิดการเชื่อม

ประสานได้ดี ในขณะที่สารตัวเติมอื่นๆ เมื่อความเข้มข้นแลอุนท์สูงขึ้นไป จะเพียงเกาะกลุ่มกันเท่านั้น

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านวิทยากระแสน้ำโคลนขุดเจาะ (Viscosity) แสดงให้เห็นว่าการไหลแบบซูโดพลาสติก (Pseudoplastic flow) โดยมีค่าดัชนีพฤติกรรมกรไหล (Flow behavior index, n) น้อยกว่า 1 โดยพฤติกรรมกรไหลของน้ำโคลนดั้งเดิมปกติจะปรากฏอยู่ระหว่างแบบจำลองบิงแฮมพลาสติกกับเพาเวอร์ลอว์ จึงเรียกน้ำโคลนนี้นี้ว่าเป็น “ของไหลแบบซูโดพลาสติก” โดยพบว่าสูตรที่เพิ่มประสิทธิภาพด้านวิทยากระแสน้ำโคลนขุดเจาะ เมื่ออุณหภูมิและความเข้มข้นสูงขึ้นคือสูตรน้ำโคลนตัวใหม่ 1 และ 2 ผสมแป้งมัน และน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมโคโคไมด์ แสดงค่าดังต่อไปนี้ ความหนืดปรากฏ (AV) มีค่าระหว่าง 19 cP ถึงหาค่าไม่ได้ เนื่องจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดที่ใช้ในการศึกษาไม่สามารถหาค่าได้ ความหนืดพลาสติก (PV) มีค่าระหว่าง 4 cP ถึงหาค่าไม่ได้ จุลกราก (YP) มีค่าระหว่าง 20 lb/100ft² ถึงหาค่าไม่ได้ ความแข็งแรงของเจลเริ่มต้น (G_{e10}) มีค่าระหว่าง 12 ถึง 167 lb/100ft² ความแข็งแรงเจลที่ 10 นาที (G_{e10}) มีค่าระหว่าง 12 ถึง 213 lb/100ft²

ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของน้ำโคลนขุดเจาะ (Filtration) พบว่าปริมาณการสูญเสียของน้ำโคลนที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน API คือ สูตรน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมันความเข้มข้นร้อยละ 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 60°C และน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันความเข้มข้นร้อยละ 1 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 60 และ 90°C ทั้งหมด 8 สูตรด้วยกัน แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้น้ำโคลนตัวใหม่ผสมแป้งมัน มีค่าปริมาณการสูญเสียน้ำลดลงดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ โดยพบว่าสูตรที่เพิ่มประสิทธิภาพการซึมผ่านของน้ำโคลนขุดเจาะ มีค่าระหว่าง 3.5 ถึง 12 มิลลิลิตร ในส่วนของความหนาแน่นโคลน (Mud cake thickness) มีสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณการสูญเสียน้ำของน้ำโคลน โดยคุณภาพแผ่นโคลนขึ้นอยู่กับรูปร่าง ขนาด และร้อยละของแข็งในน้ำโคลน และการปนเปื้อนทางเคมีในน้ำโคลน โดยแผ่นโคลนที่บางจะช่วยเพื่อลดการติดของก้านเจาะและลดแรงเสียดทานระหว่างก้านเจาะกับผนังหลุม โดยสูตรน้ำโคลนผสมแป้งมันความเข้มข้นร้อยละ 3 และ 5 และที่อุณหภูมิ 60°C และสูตรน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันความเข้มข้นร้อยละ 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 30 และ 90°C มีความหนาแน่นโคลนลดลงน้อยกว่า สูตรพื้นฐาน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง ถึง 2.77 ถึง 3.57 มิลลิเมตร

ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของน้ำโคลนขุดเจาะ (Density) ค่าความดันล้อมรอบ (Hydrostatic pressure) เป็นความดันที่ป้องกันผนังหลุมเจาะจากถ้ำหรือโพรงและของไหลจากชั้นหินไม่ให้เข้ามาภายในหลุมเจาะ โดยค่าความหนาแน่นของน้ำโคลนจะเป็นตัวช่วยในการควบคุมความ

ค้นภายในหลุม พบว่าน้ำโคลนทุกสูตรอยู่ในเกณฑ์ มีค่าระหว่าง 1.081 ถึง 1.144 g/cm³ หรือ 9.00 ถึง 9.53 lb/gal และสูตรน้ำโคลนตัวใหม่ 1 และ 2 ผสมโดโลไมต์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 ก็มียค่า 1.141 และ 1.144 g/cm³ ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) คือความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในรูปของกรัมต่อลิตรโดยปกติแล้วค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนที่ตัวทำละลายเป็นน้ำ (water-based drilling mud) มีค่าอยู่ระหว่าง 9.5-10.5 พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลน มีค่าระหว่าง 9.2 ถึง 11.5 โดยแสดงให้เห็นว่าจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เมื่ออุณหภูมิและความเข้มข้นสูงขึ้น ยกเว้นน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาว ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น และค่าความเป็นกรด-ด่าง Mud filtrate ของน้ำโคลน มีค่าอยู่ระหว่าง 9.4 ถึง 11.7

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง (Solid content) น้ำโคลนชุดเจาะปกติมีปริมาณของแข็ง ไม่ควรเกินร้อยละ 10 พบว่าน้ำโคลนทุกสูตรมีปริมาณของแข็งตามเกณฑ์ ซึ่งมีค่าระหว่างร้อยละ 2 ถึง 10 โดยปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ยกเว้นน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมโดโลไมต์ และน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมัน ในขณะที่ปริมาณของแข็งลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมเถ้าแกลบ มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์ปริมาณทราย (Sand content) น้ำโคลนชุดเจาะปกติมีปริมาณทราย ไม่ควรเกินร้อยละ 0.3 ตามเกณฑ์มาตรฐาน โดยพบว่าน้ำโคลนผสมเถ้าลอย และสารตัวเติมทั้ง 4 ตัว มีปริมาณทรายเพิ่มขึ้น โดยปริมาณทรายมีค่าระหว่างร้อยละ 0.5 ถึง 11.0 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำโคลนทุกสูตรไม่เป็นไปตามเกณฑ์ และมีปริมาณทรายเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) พบว่าความต้านทานไฟฟ้าของน้ำโคลน และ Mud filtrate ของน้ำโคลน มีค่าระหว่าง 1.53 ถึง 6.39 Ω .m และ 1.57 ถึง 6.63 Ω .m ตามลำดับ โดยค่าความต้านทานไฟฟ้าลดลง เมื่ออุณหภูมิและความเข้มข้นสูงขึ้น ยกเว้นน้ำโคลนตัวใหม่ 1 ผสมเถ้าแกลบ และแป้งมัน รวมทั้งน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมโดโลไมต์ เถ้าแกลบ และแป้งมัน

น้ำโคลนชุดเจาะทั้ง 84 สูตร พบว่าสูตรที่เหมาะสมทั้งอุณหภูมิและสัดส่วนคือ สูตรที่ 79 และ 82 หรือน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 60 และ 90°C มีส่วนประกอบดังนี้ แบไรต์ 100 กรัม เบนโทไนต์ 60 กรัม น้ำ 1,000 กรัม เถ้าลอยลิกไนต์ 11.6 กรัม และแป้งมัน 11.716 กรัม

5.3 การวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์

โรงไฟฟ้าแม่เมาะ ใช้ถ่านหินลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะเป็นเชื้อเพลิง ประมาณวันละกว่า 40,000 ตัน การเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์จะได้เถ้าออกมาวันละ 10,000 ตัน เป็นเถ้าลอยประมาณ 6,000 ตัน และเถ้าหนัก 4,000 ตัน

ในการเพิ่มคุณสมบัติน้ำโคลนขุดเจาะ เนื่องจากต้นทุนในการขุดเจาะปีโตรเลียมร้อยละ 5 ถึง 15 มาจากน้ำโคลน และสภาพแวดล้อมในการขุดเจาะยังเข้ามามีผลต่อการเลือกใช้สารตัวเติมสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพให้กับน้ำโคลน การขับเคลื่อนในภาคอุตสาหกรรมนั้น ต้นทุนถือเป็นสิ่งที่สำคัญและต้องอยู่ภายใต้ความปลอดภัย ดังนั้นการศึกษาน้ำโคลนขุดเจาะที่เหมาะสมภายใต้มาตรฐาน API แสดงในตารางที่ 5.1 โดยเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ (ทิพวดี เพ็ชรโชติ และ เล็ก สีทอง, 2548) ที่มีการใช้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นสารตัวเติม

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติและราคาของน้ำโคลนขุดเจาะ

สูตรน้ำโคลนขุดเจาะ	ความหนืด (cP)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	pH	ราคา (บาท/ตัน)
มาตรฐาน API	35-78	1.00-1.35	9.9-12	-
น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันร้อยละ 1 อุณหภูมิ 60°C	40	1.100	10.4	3,158
น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันร้อยละ 1 อุณหภูมิ 90°C	40	1.098	10.2	3,158
แบร์ด: โคโลไมด์: เถ้าลอย (70: 10: 20) + เบนโทไนต์ร้อยละ 3	78.10	1.12	9.97	2,343

จากการคำนวณราคาดังแสดงในตารางที่ 5.1 พบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพน้ำโคลนขุดเจาะข้างต้นยังมีค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐานและสูตรการเพิ่มประสิทธิภาพที่มีอัตราส่วนแตกต่างจากการทดสอบ โดยพบว่าสูตรที่เหมาะสมและเป็นไปตามมาตรฐาน API นั้นคือน้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันความเข้มข้นร้อยละ 1 แม้ว่าต้นทุนในการเพิ่มประสิทธิภาพน้ำโคลนขุดเจาะจะมีราคาสูง แต่ในบางกรณีที่เกิดปัญหาเกี่ยวกับการเจาะ เช่น เกิดการสูญเสียโคลนปริมาณมาก

ปกติจะนิยมใช้สาร CMC ที่มีราคาค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมัน พบว่าสามารถเฝ้าลออผสมแป้งมัน สามารถให้ประสิทธิภาพได้ใกล้เคียงกับสาร CMC นอกจากนี้การใช้เฝ้าลออมาเป็นส่วนประกอบในน้ำโคลนชุดเจาะยังสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับเฝ้าลออได้อีกหนึ่ง

5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาในครั้งนี้ มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการทำการทดลองครั้งต่อไปในอนาคต เพื่อการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับน้ำโคลนชุดเจาะยิ่งขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมและอุณหภูมิใหม่ เพื่อช่วงการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติสีน้ำโคลน และเลือกใช้สารตัวเดิมที่แตกต่างออกไป

แนวทางในการปรับปรุงเพื่อให้ได้น้ำโคลนชุดเจาะที่มีคุณสมบัติดีขึ้นครั้งต่อไป ควรศึกษาการใช้สารเคมีที่ช่วยเพิ่มความหนืดแทนแป้งมัน โดยควรใช้เป็นสารสังเคราะห์เพื่อทนต่อปฏิกิริยาของการเผาไหม้ เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พบว่าแป้งมันจะเกิดการไหม้และเน่าเสียได้ง่าย

บรรณานุกรม

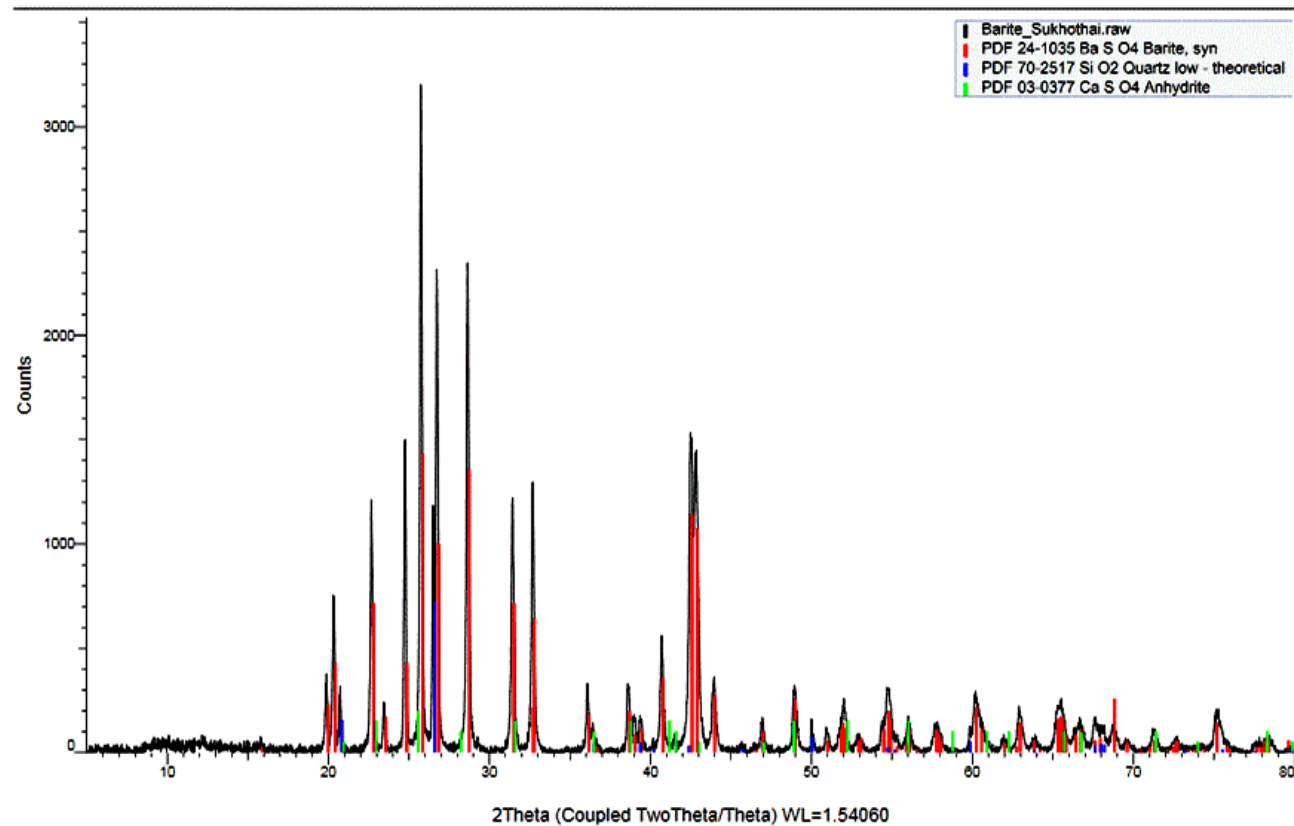
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2555) การใช้ประโยชน์เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ [ออนไลน์] ได้จาก <http://maemoh.egat.com/ash/>
- มนตรี เดชาสกุลสม จอมปวีร์ จันทรหิรัญ และหัตถ์ชัย ลิ้มเจริญ (2555) การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของ Bottom Ash เพื่อใช้ในงานทาง [ออนไลน์] ได้จาก <http://smartdoc.doh.go.th/>
- ทิพวดี เพ็ชรโชติ และ เล็ก สีคง (2548) สมบัติของโคลนเถ้าที่ผสมเถ้าลอยและผงโคลโลไมด์ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หน้า 1-6.
- วีรยา วรคันท์ ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ เอกชัย วิมลมาลา และ ศิรินทร ทองแสง (2553) การเสริมแรงของสารประกอบยางธรรมชาติด้วยซิลิกาผสมระหว่างเถ้าลอยและพรีซิพิเตดซิลิกา วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่12 ฉบับที่4 กรกฎาคม 2553, 9-20
- เอก ลิ้มปัสวดี (2553) รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ กองการสำรวจและผลิตปิโตรเลียม และ Mud Program สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา
- Ahmaruzzaman, M. 2010. A review on the utilization of fly ash. Progress in Energy and Combustion Science (36): 327-363.
- API RP 13B-1, American Petroleum Institute, (1997). In Recommended practice standard procedure for field testing water-base drilling fluid. 2nd Edition
- Ayers, R.U and Ayres, L.W. (1995). Materials-Cycle Optimization in the Production of Major Finished Materials, Chapter 13: Coal Ash: Resources and Possible, Fontainebleau, France: 214-228
- Baker Hughes. (2006). Fundamentals of Drilling Fluids. In Drilling Fluids Reference Manual. Baker Hughes: 1-30.
- Department of Primary Industries and Mines. (2014). September. Mineral Prices. (on-line). Available URL:<http://www.dpim.go.th/minerals-inerals/index.php>.

- Jarrett, M. and Clapper, D. (2010). High temperature filtration control using water based drilling fluids. Baker Hughes Inc. US: Patent.
- Johannes, K. F. (2011). Petroleum Engineering's guide to oil field chemicals and fluids. Gulf Professional Publishing. 1-41.
- MI-Swaco. (1998). Polymer chemical and applications. In Fluids Engineering Manual. Revision No: A-0.
- Riyapan, T. (2011). Thesis: Master of Engineering (Geotechnology), Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand
- SIPE. (2003). Well Engineers Notebook, Edition 4, May 2003: I-1 to I-18
- Witayakul W., and Nokkaew N. (1996). Optimum Ratio of Lignite Bottom Ash and Rock Dust in Asphalt Concrete, Kasetsart Journal (Nat. Sci.): 364-372
- Vassilios, C. K., Cassiani, P., and Antonios, F. (2009). Application of Greek lignite as an additive for controlling rheological and filtration properties of waterbentonite suspensions at high temperatures. Coal Geology. 77: 394-400.
- Xianghai, M., Yihe, Z., Fengshan, Z., Qi, A. 2014. Influnene of carbon ash on the rheological properties of bentonite dis-persions. Applied Clay Science. (88-89): 129-133.

ภาคผนวก ก

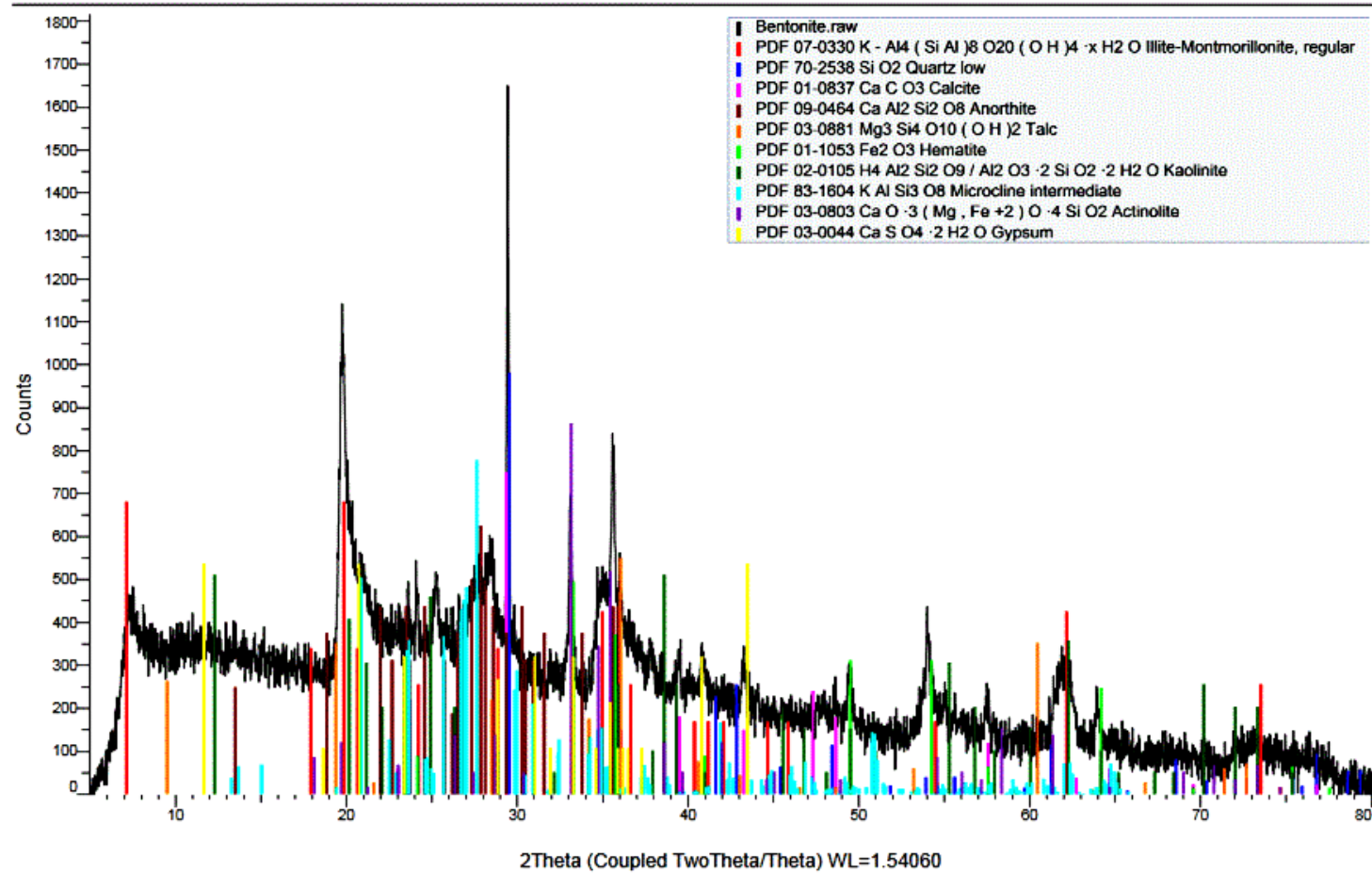
ผลการทดลองและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



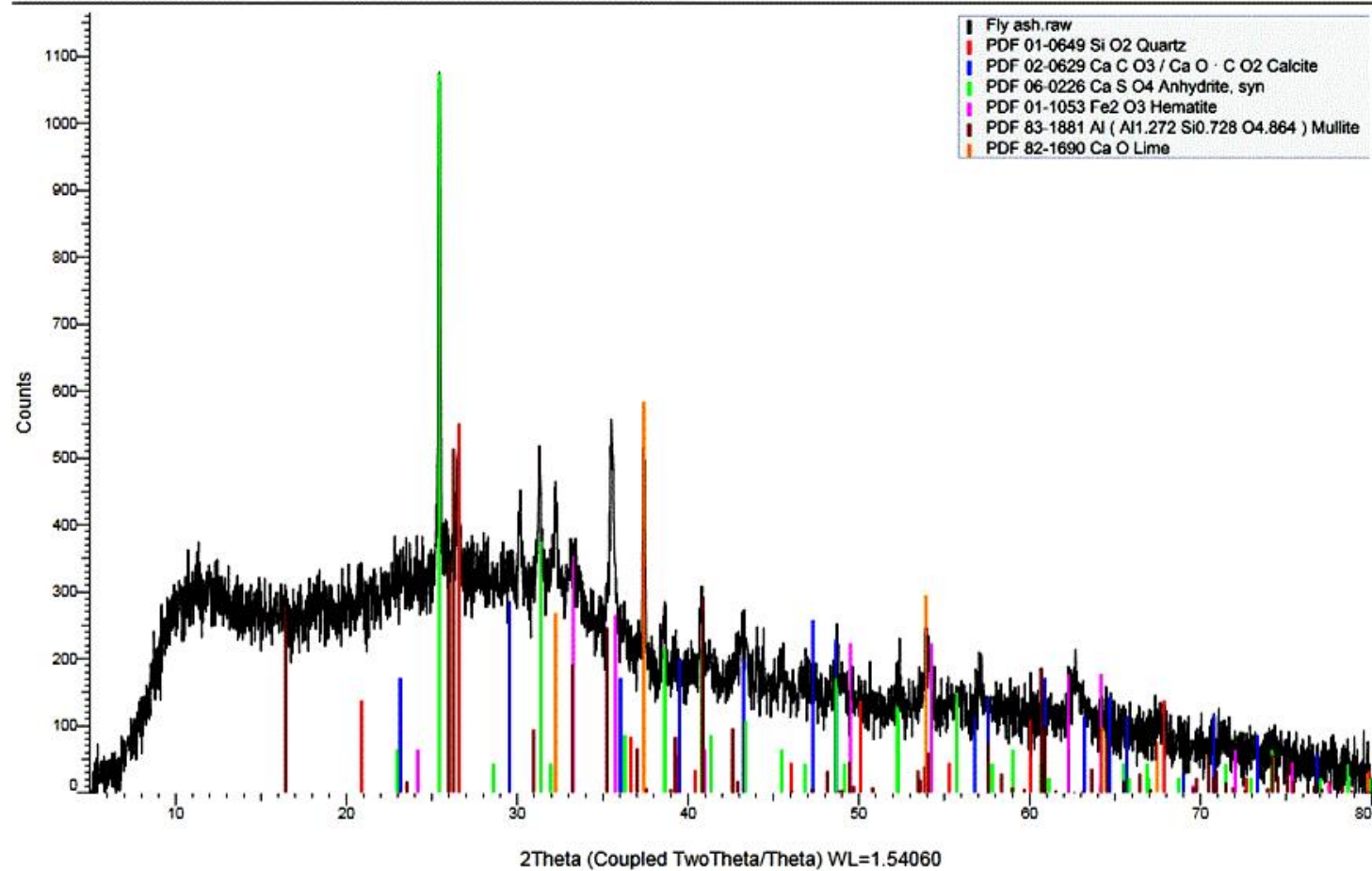
รูปที่ ก.1.1 ผลการวิเคราะห์แรงจลน์ประกอบของแบไรต์

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



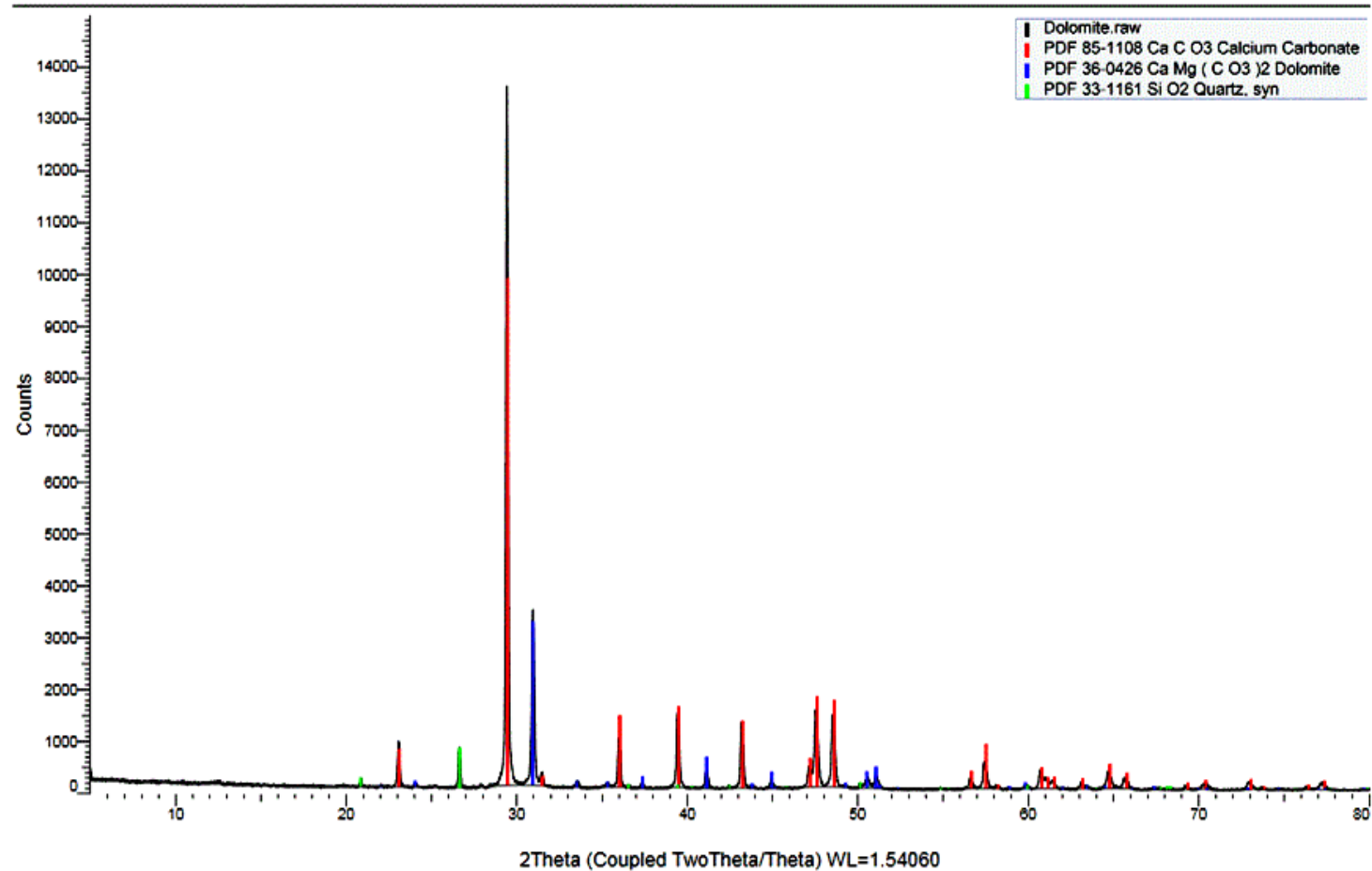
รูปที่ ก.1.2 ผลการวิเคราะห์แร่องค์ประกอบของเบนโทไนต์

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



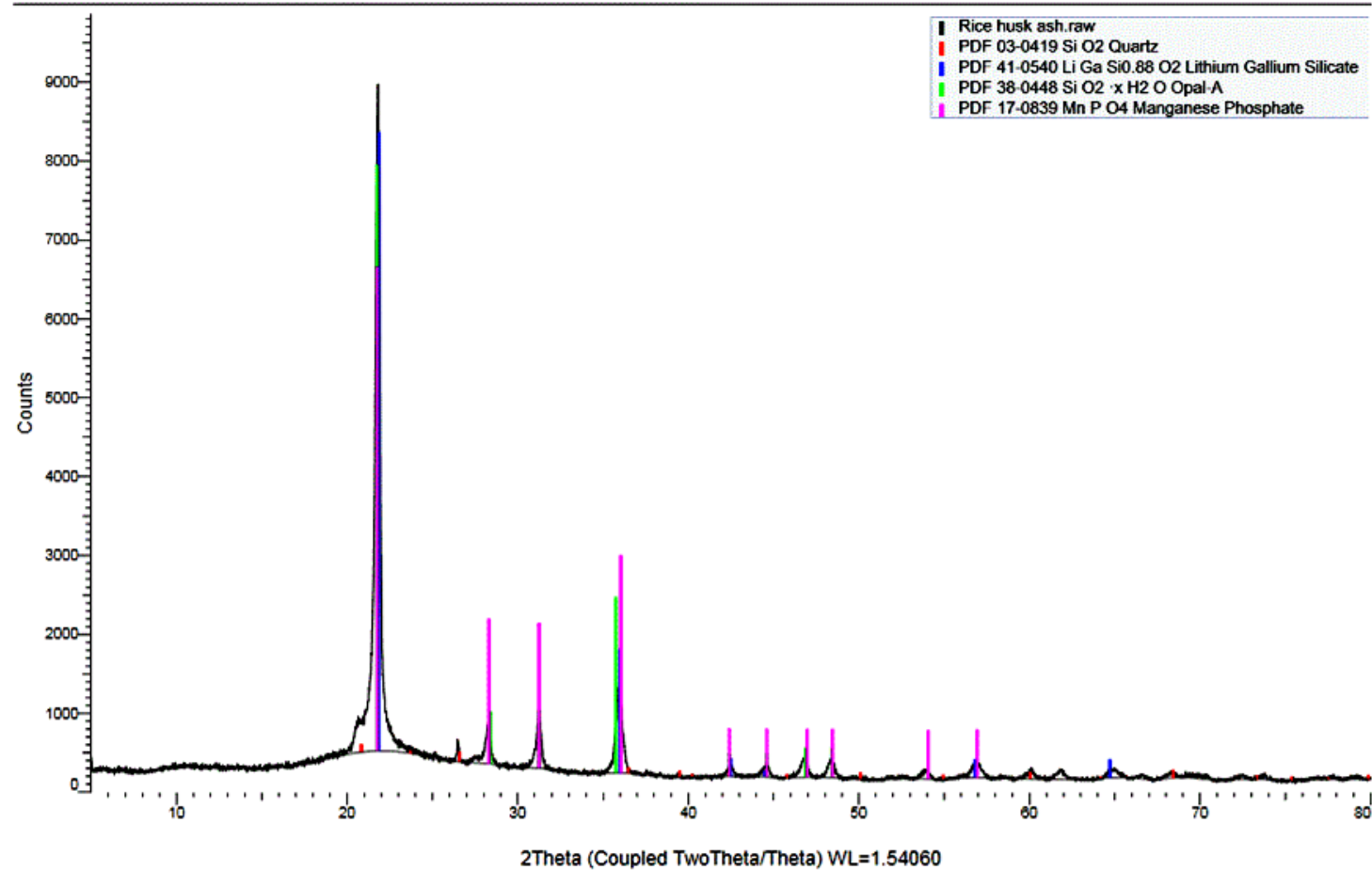
รูปที่ ก.1.3 ผลการวิเคราะห์แรงแรงค์ประกอบของเถ้าลอยลิกไนต์

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



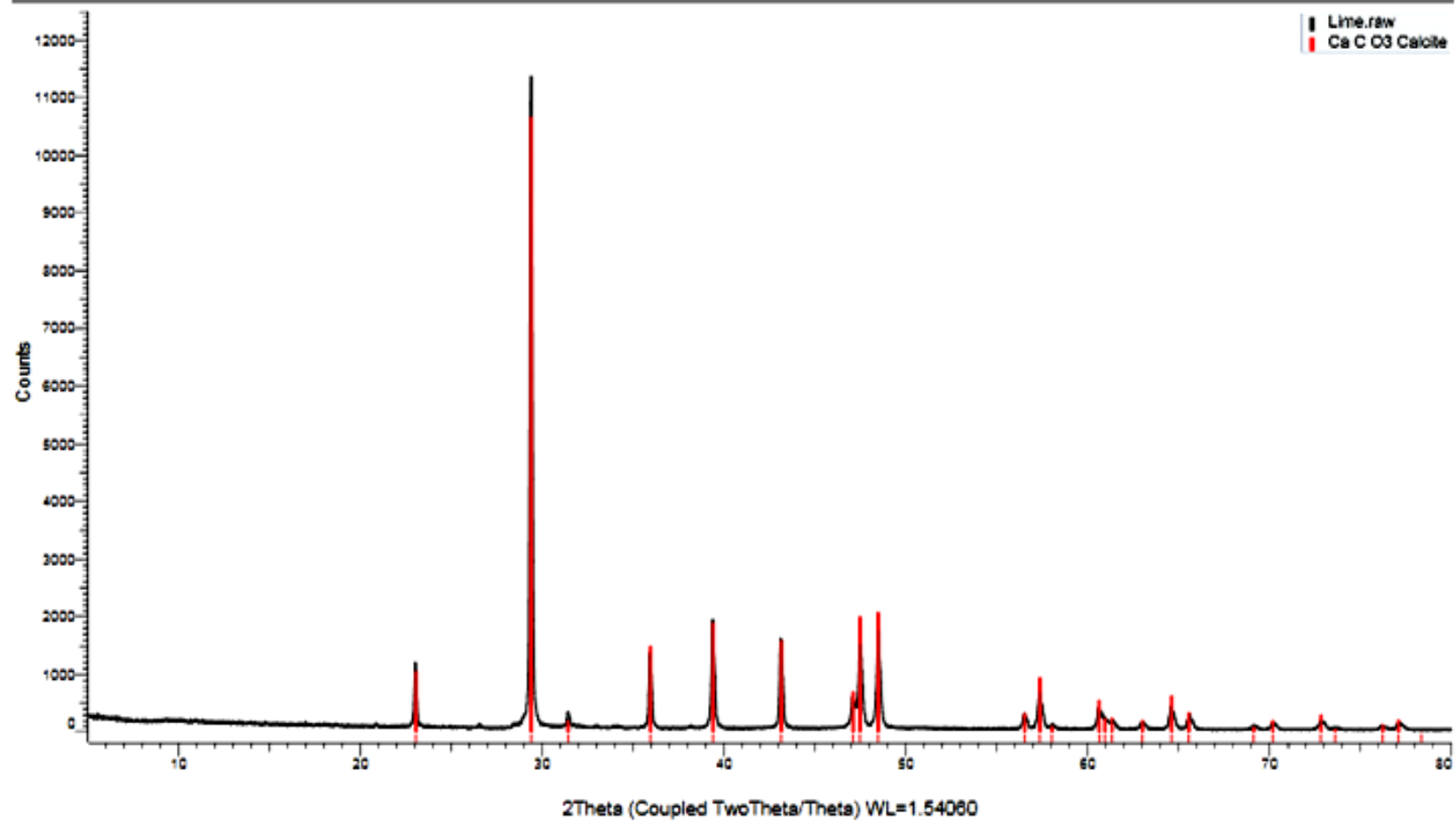
รูปที่ ก.1.4 ผลการวิเคราะห์แร่ของโดโลไมต์

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



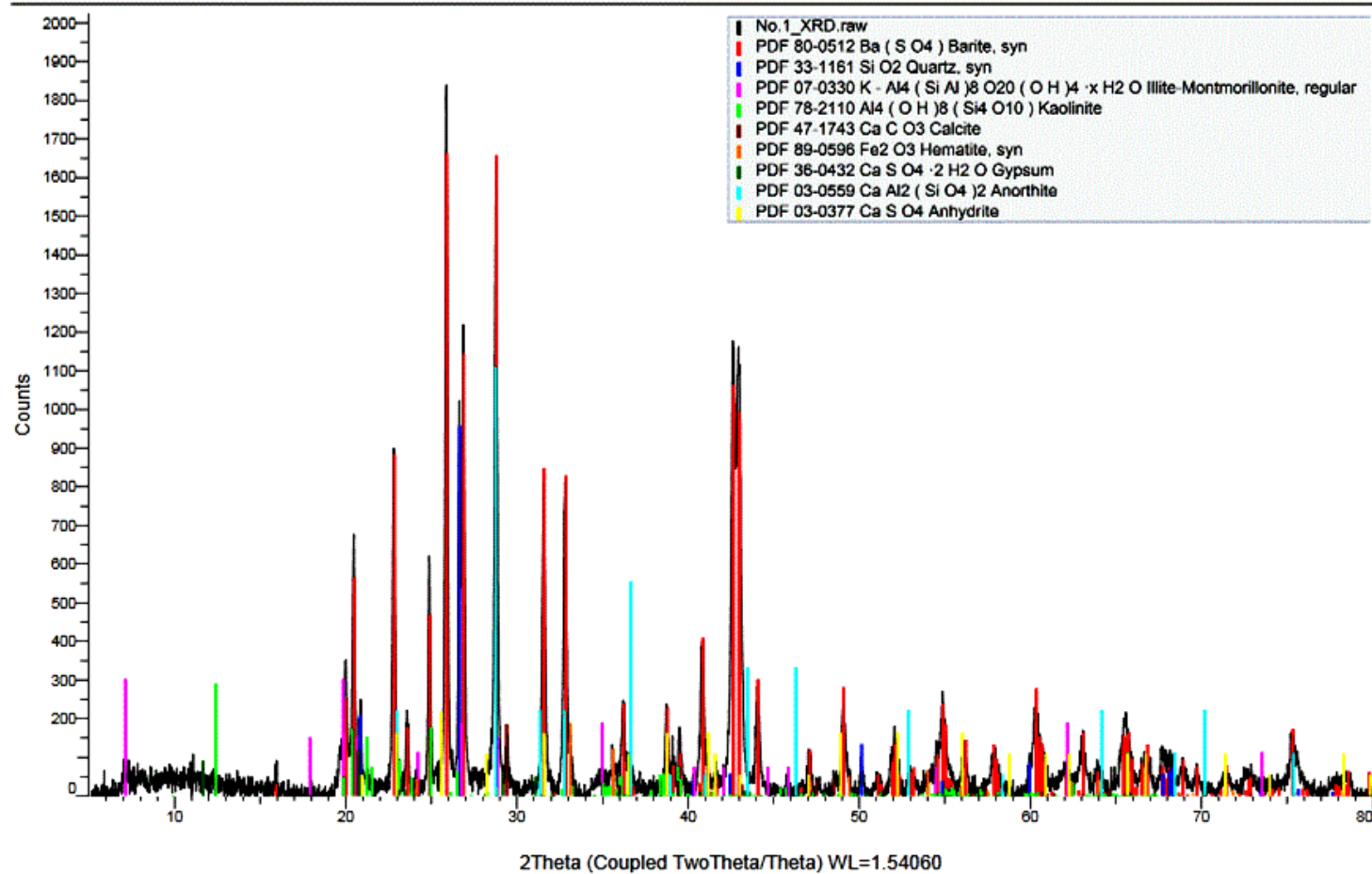
รูปที่ ก.1.5 ผลการวิเคราะห์แรงจลน์ประกอบของเถ้าแกลบ

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



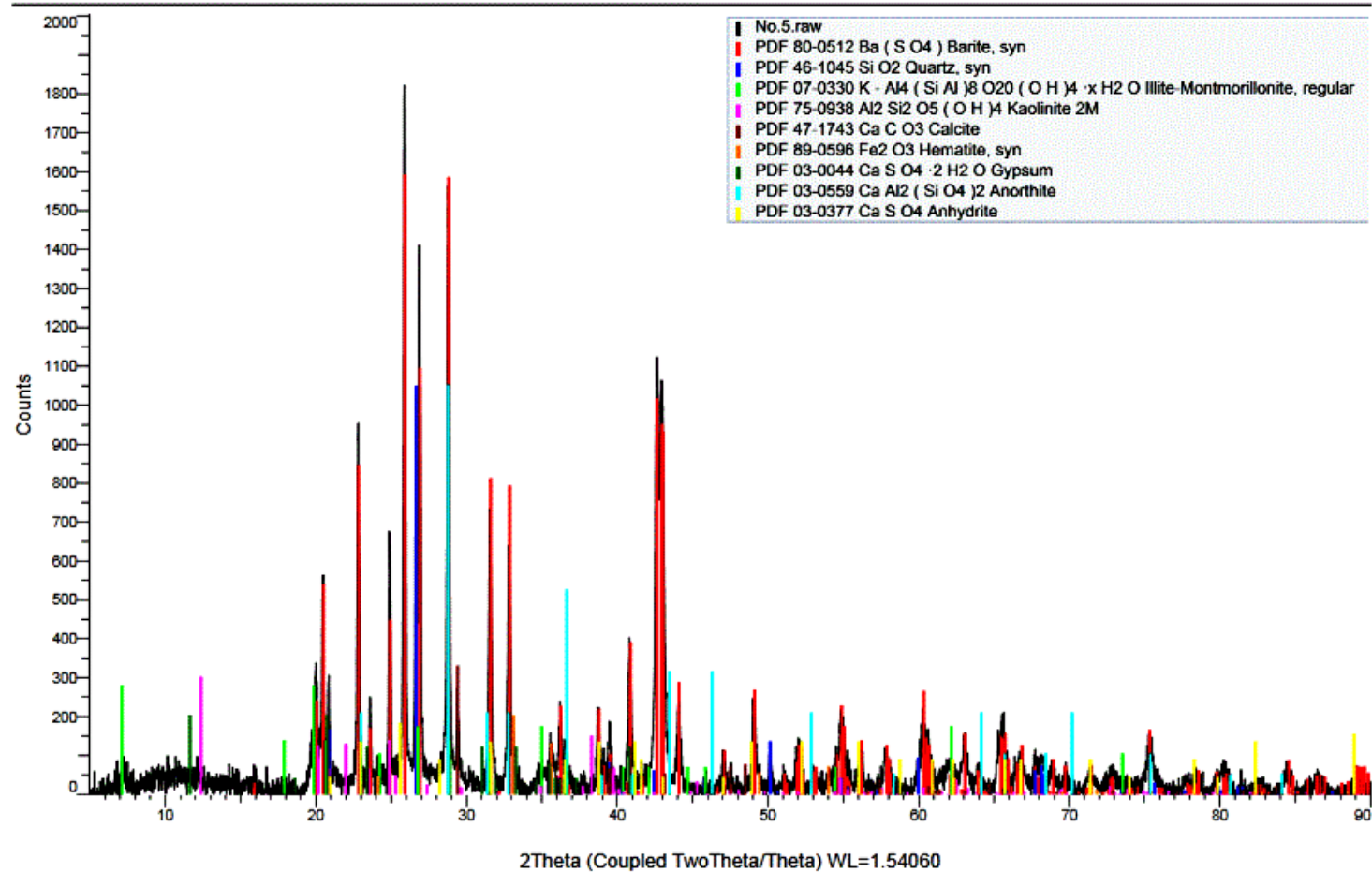
รูปที่ ก.1.6 ผลการวิเคราะห์แรงจลน์ประกอบของปูนขาว

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



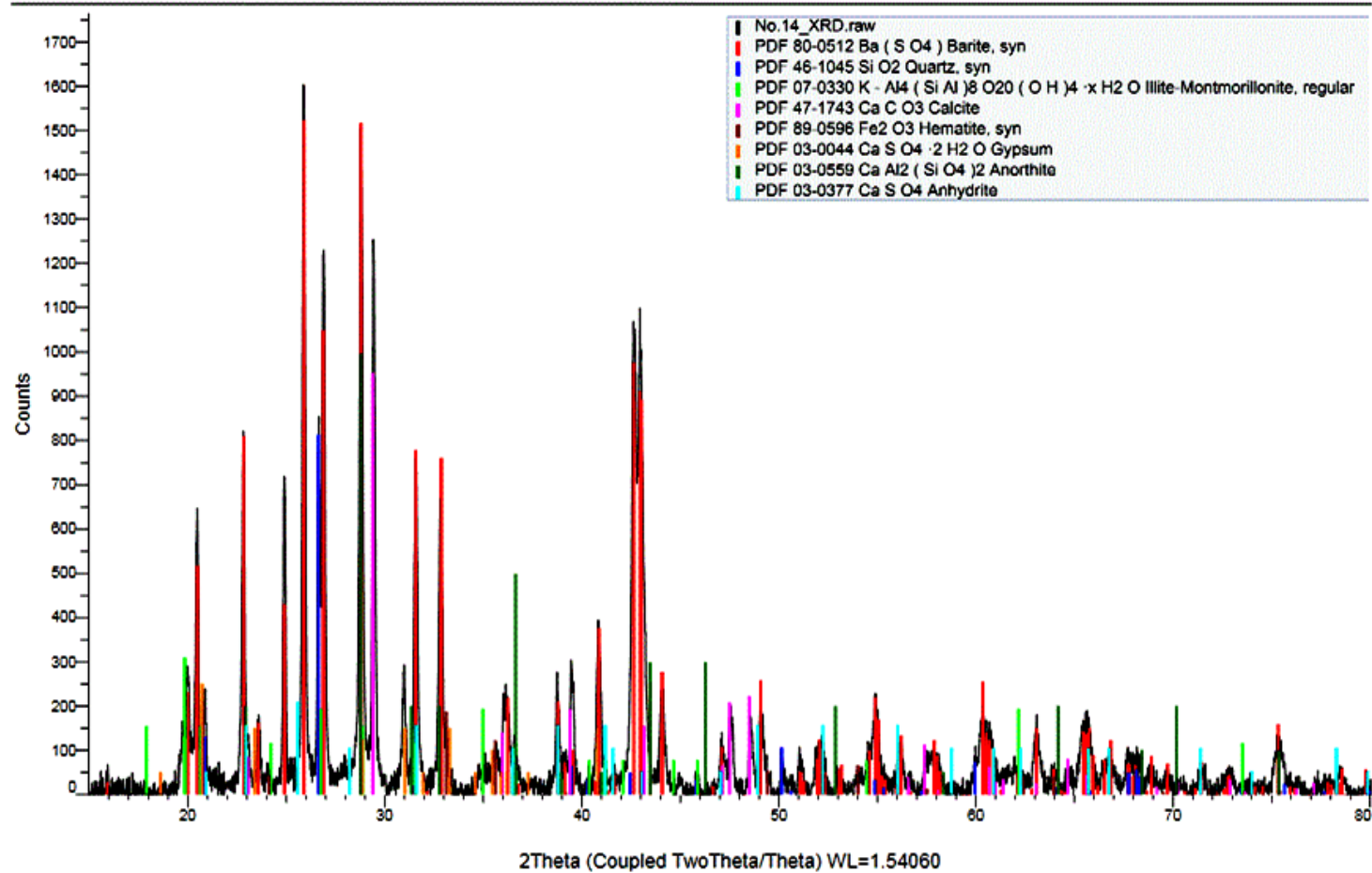
รูปที่ ก.1.7 ผลการวิเคราะห์ร่่องค์ประกอบของน้ำโคลนผสมเถ้าลอย ที่อุณหภูมิ 30°C (No.1)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



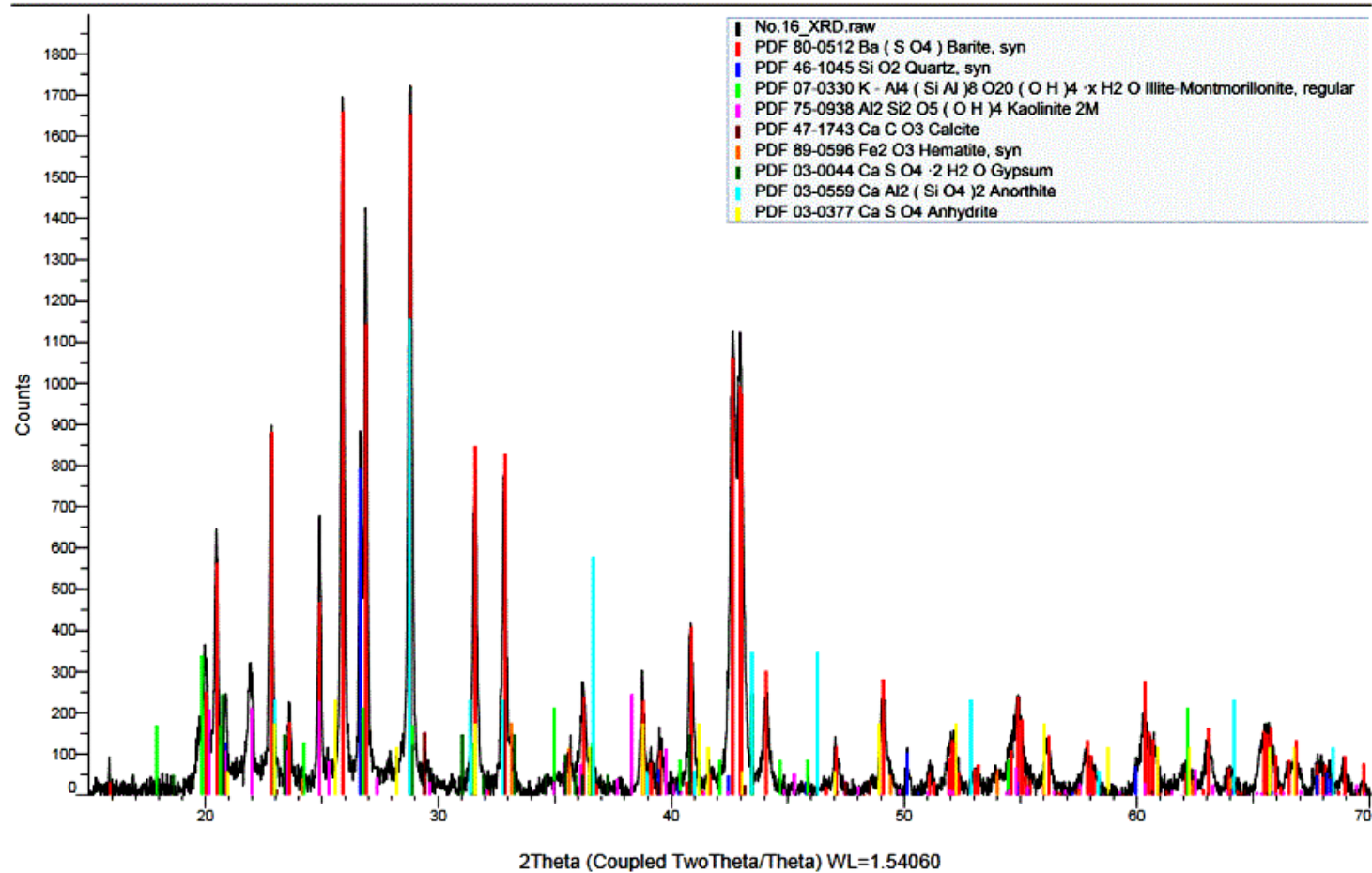
รูปที่ ก.1.8 ผลการวิเคราะห์แร่ของน้ำโคลนผสมเถ้าลอยร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.5)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



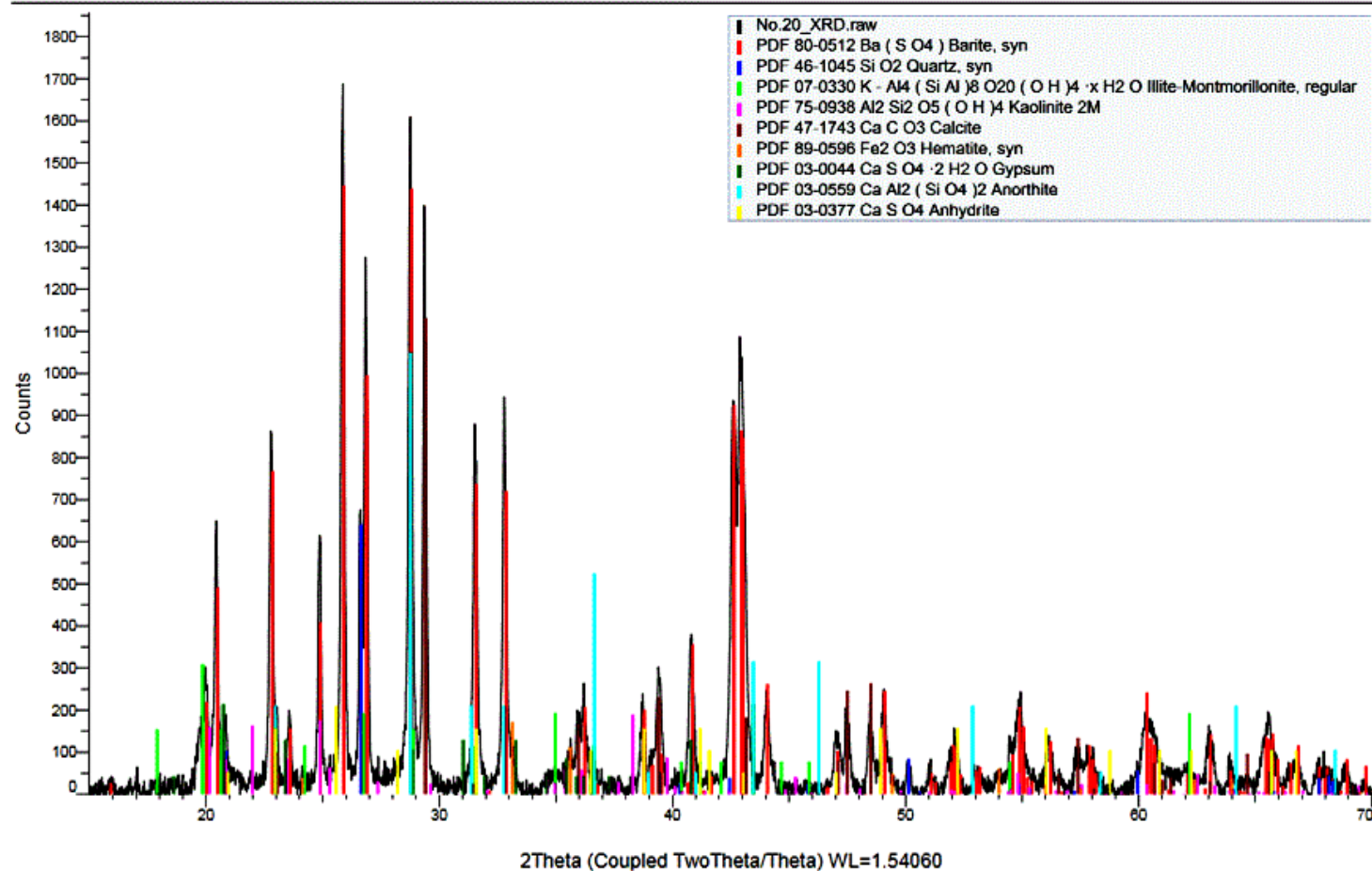
รูปที่ ก.1.9 ผลการวิเคราะห์แร่ของประกอบของน้ำโคลนผสมโดโลไมต์ร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.14)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



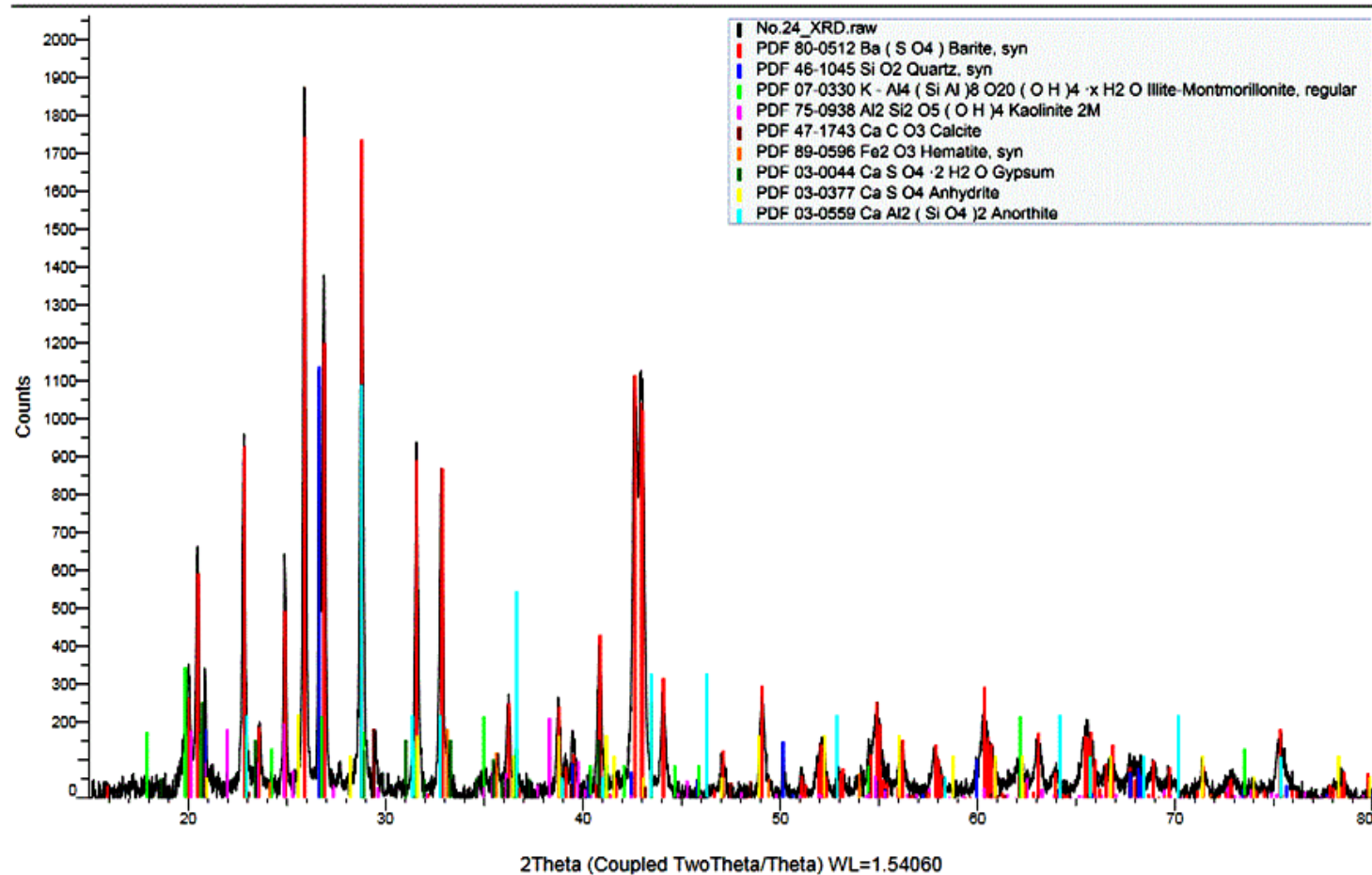
รูปที่ ก.1.10 ผลการวิเคราะห์ร่องค้ำประกอบของน้ำโคลนผสมเถ้าแกลบร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.16)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



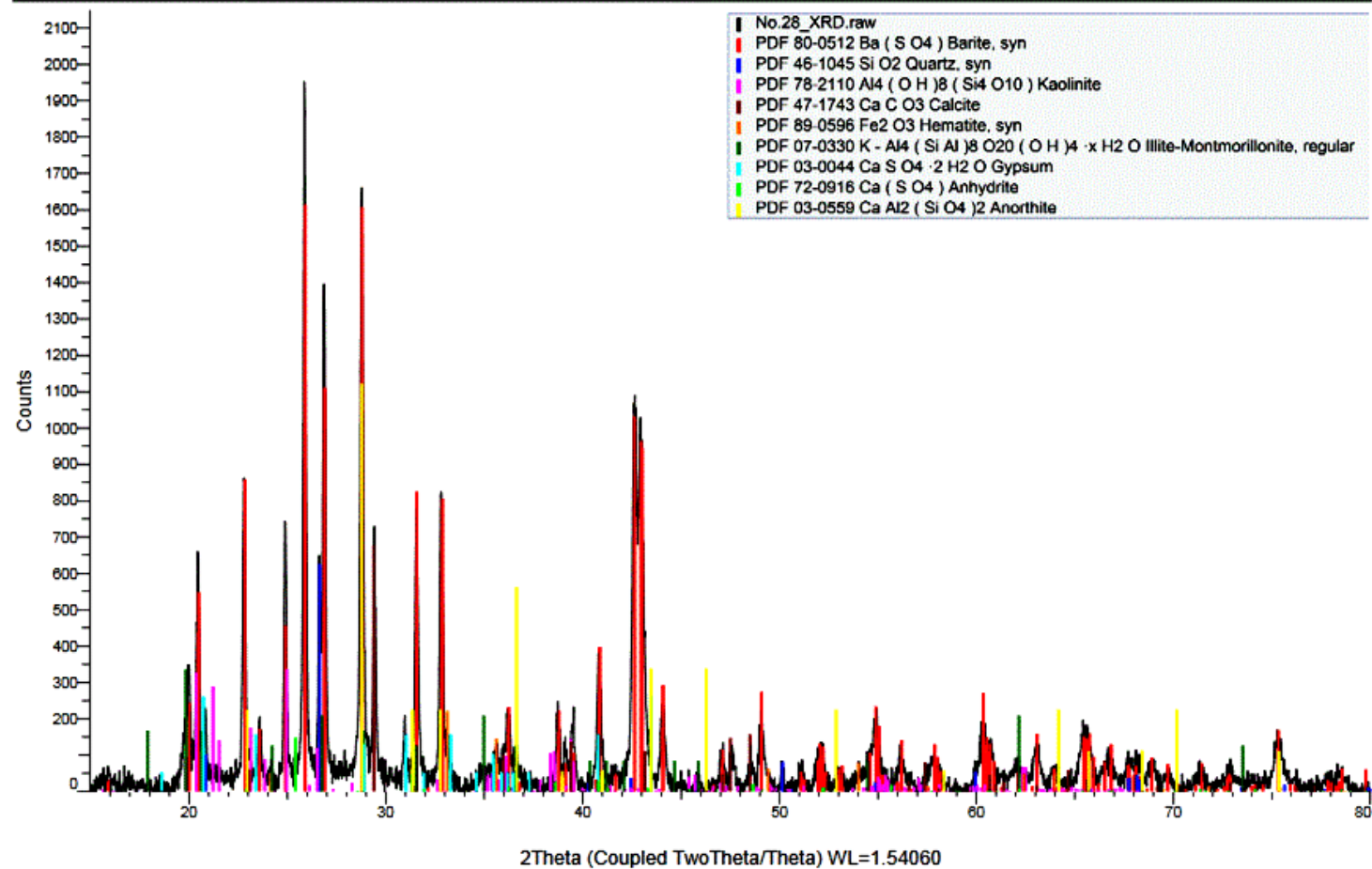
รูปที่ ก.1.11 ผลการวิเคราะห์แรงค์ประกอบของน้ำโคลนผสมปูนขาวร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.20)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



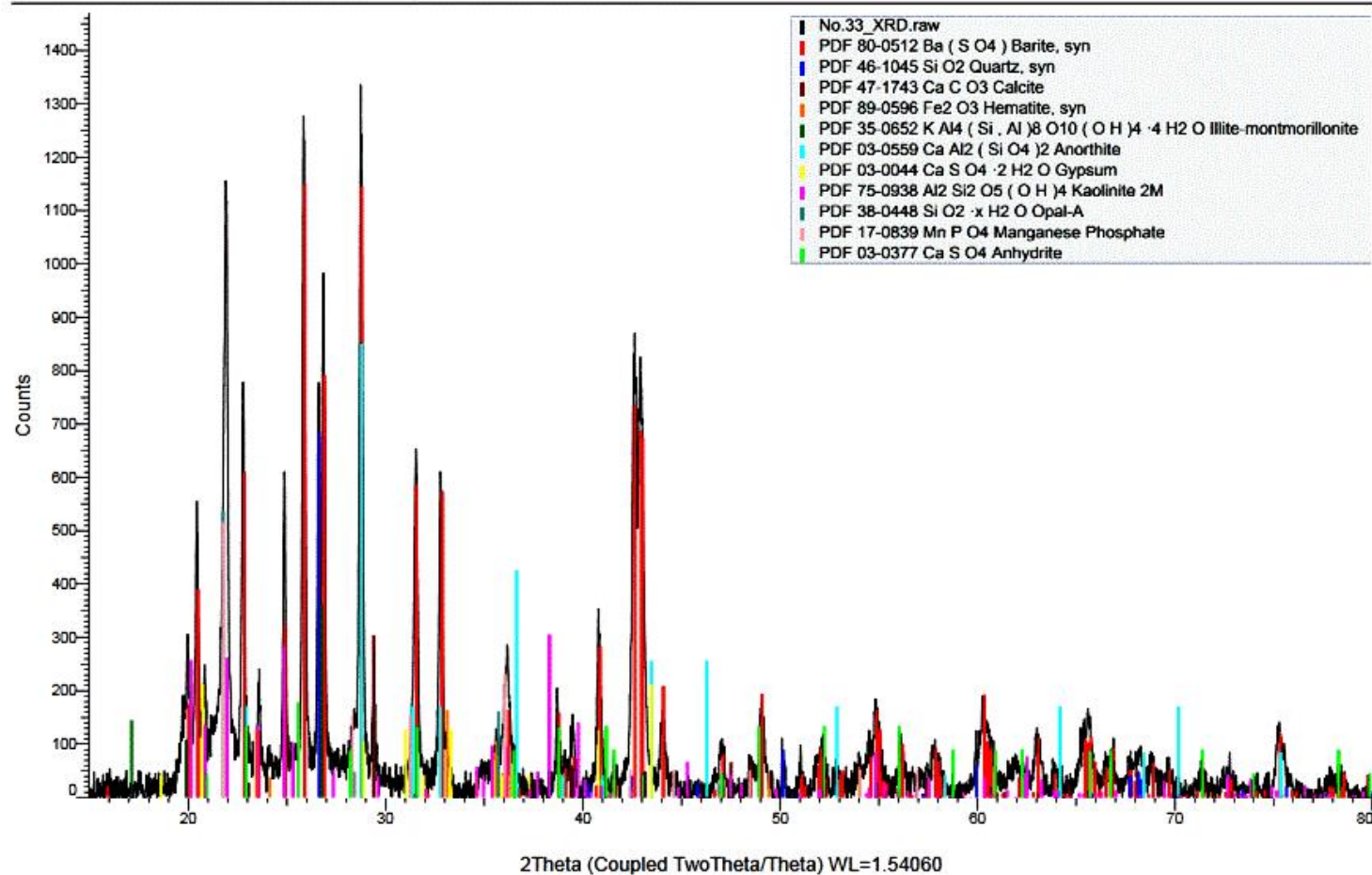
รูปที่ ก.1.12 ผลการวิเคราะห์แร่ของน้ำโคลนผสมแป้งมันร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.24)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



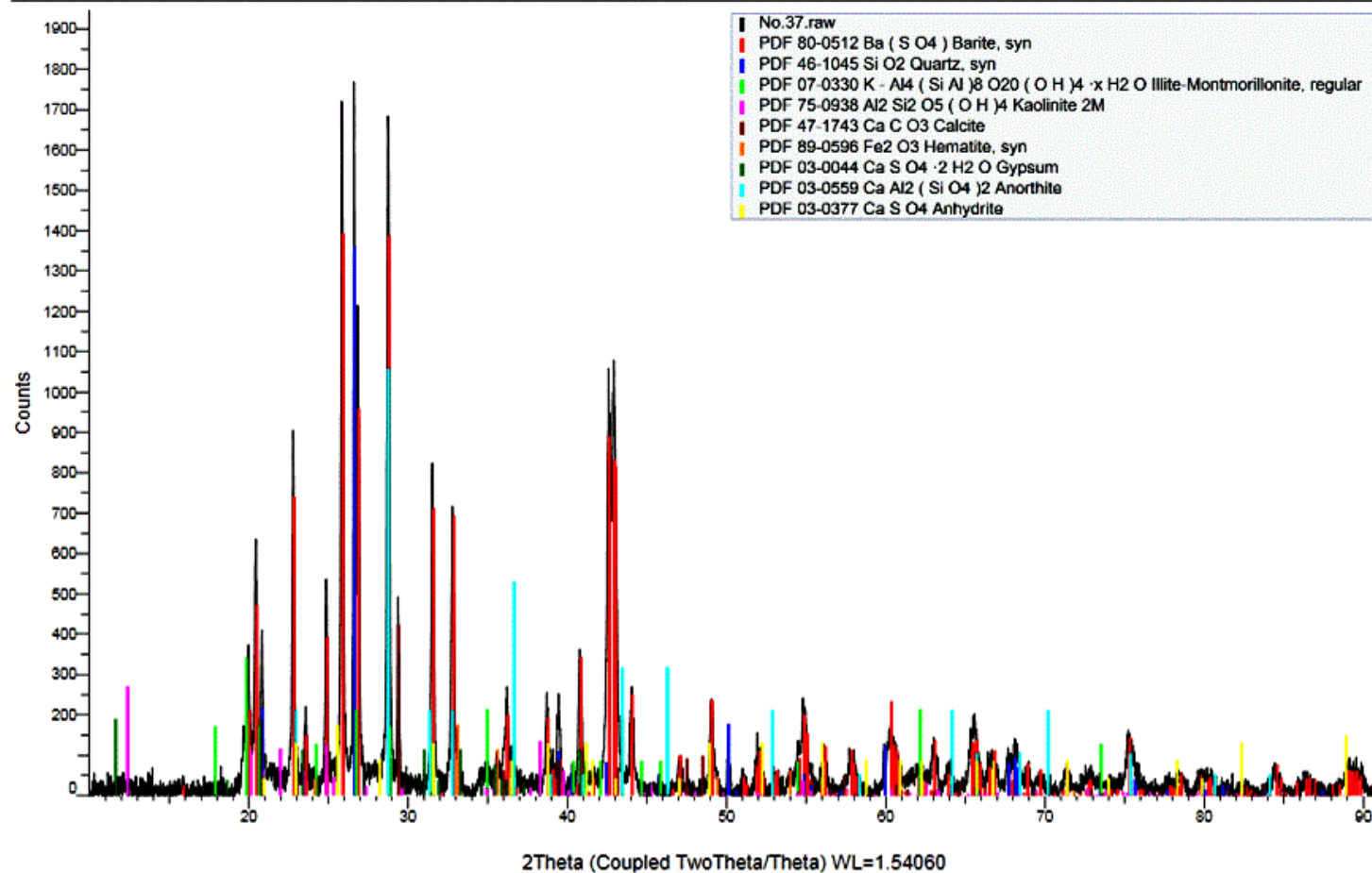
รูปที่ ก.1.13 ผลการวิเคราะห์แรงค์ประกอบของน้ำโคลนผสมโคลไโมต์ร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.28)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



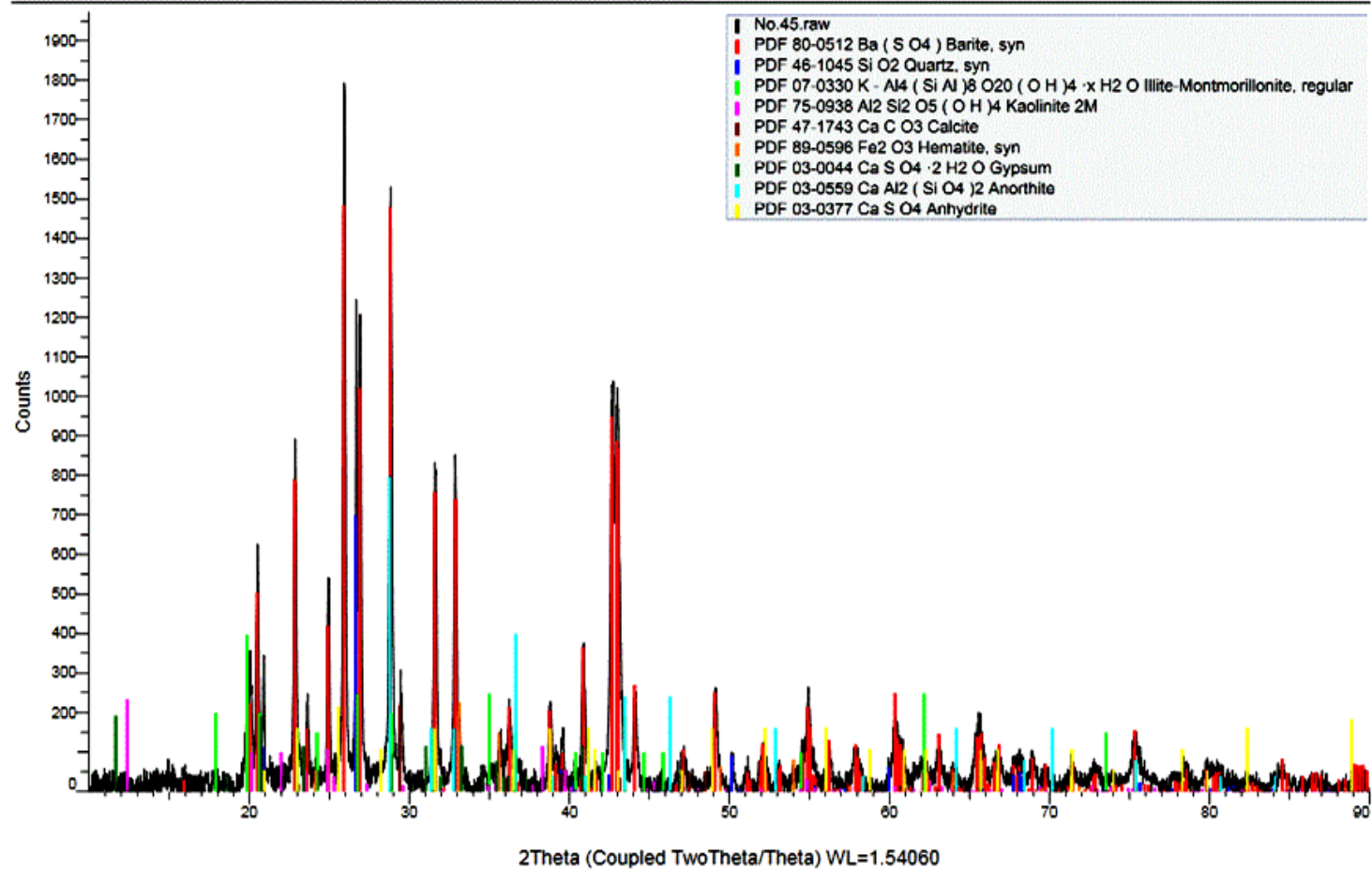
รูปที่ ก.1.14 ผลการวิเคราะห์แรงค์ประกอบของน้ำโคลนตัวใหม่ 1ผสมเข้าเกลบร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.33)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



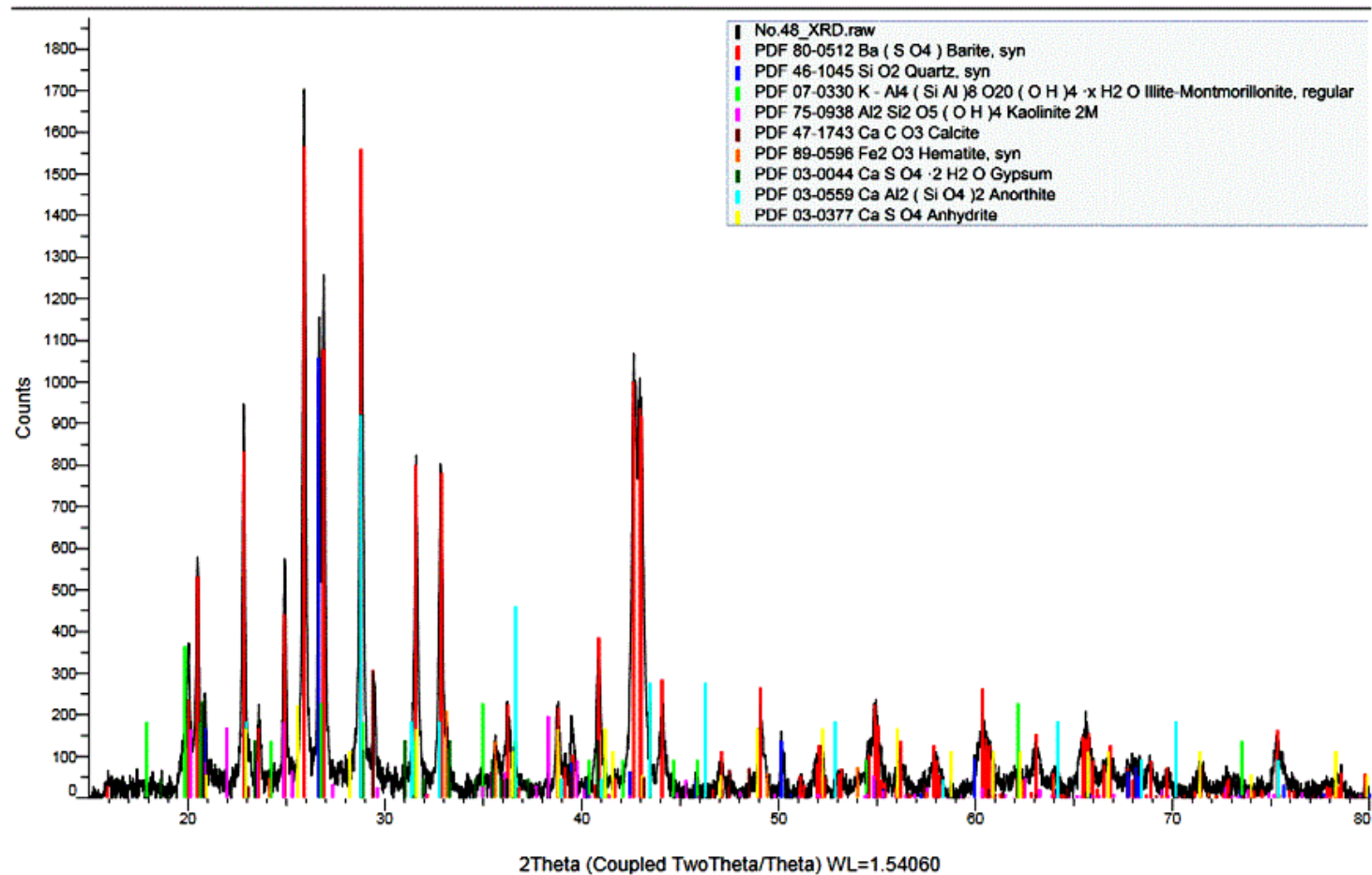
รูปที่ ก.1.15 ผลการวิเคราะห์แร่องค์ประกอบของน้ำโคลนตัวใหม่ 1ผสมปูนขาวร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.37)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



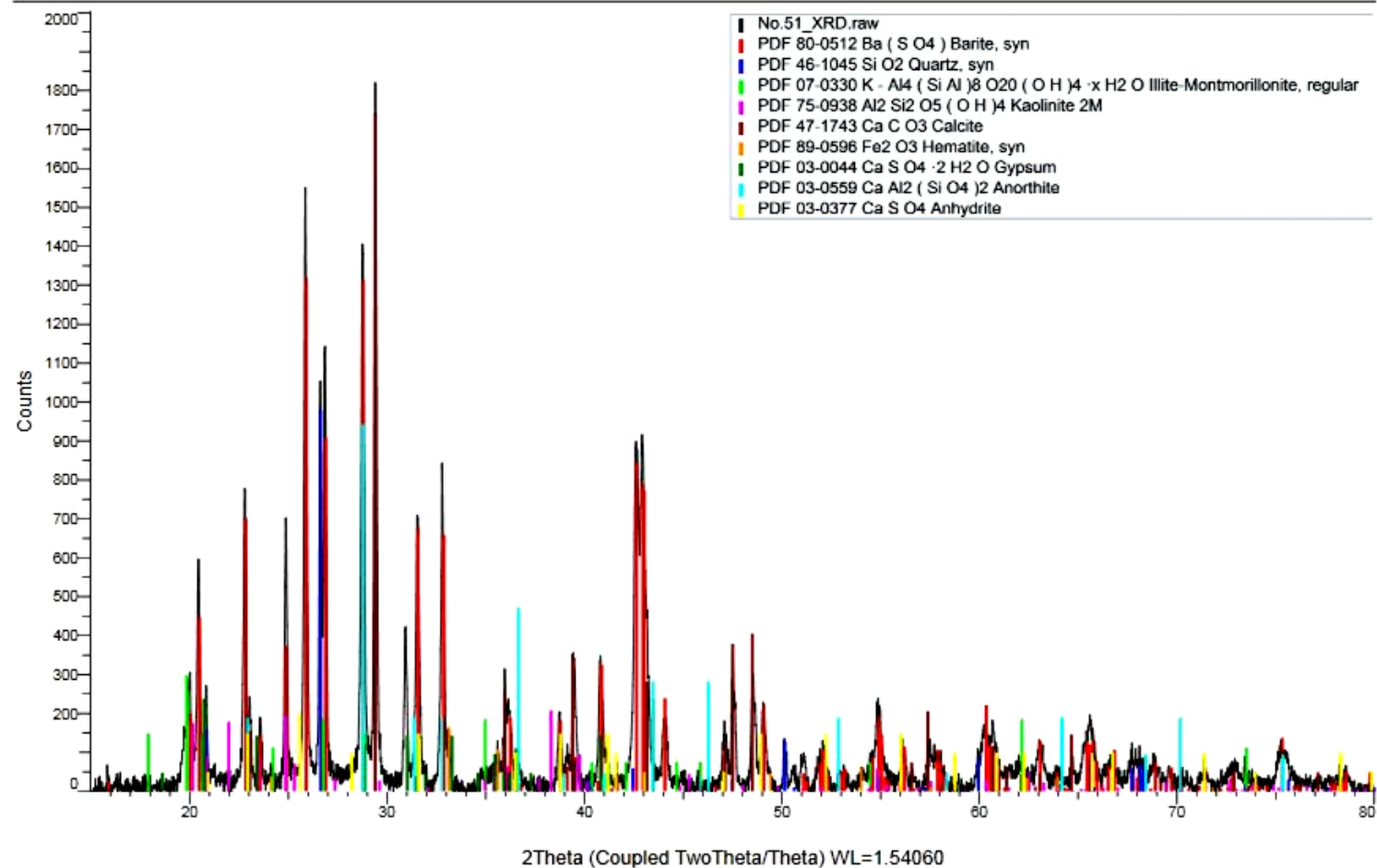
รูปที่ ก.1.16 ผลการวิเคราะห์แร่องค์ประกอบของน้ำโคลนตัวใหม่ 1ผสมแป้งมันร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.45)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



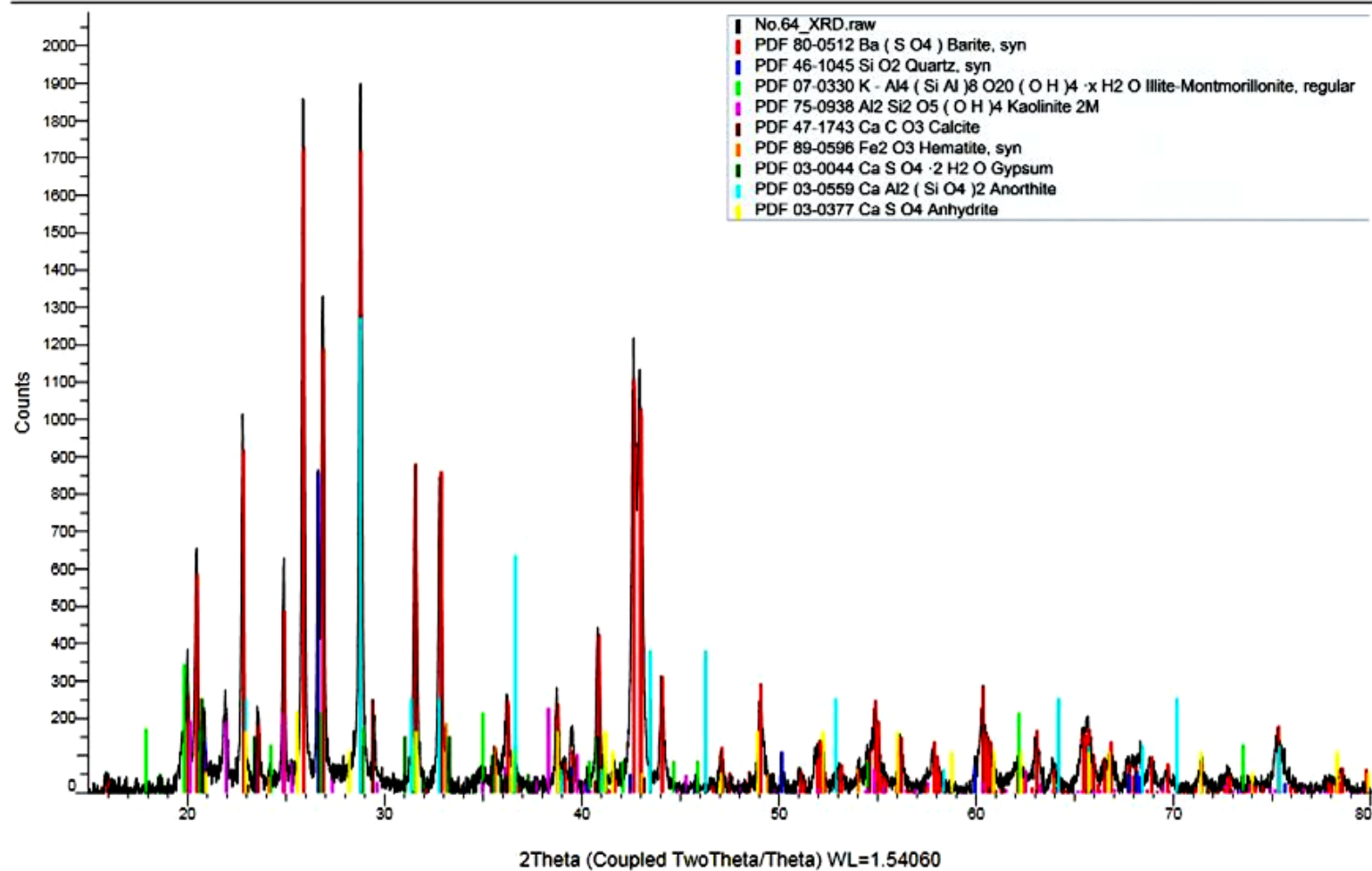
รูปที่ ก.1.16 ผลการวิเคราะห์เร่องค์ประกอบของน้ำโคลนตัวใหม่ 1ผสมแป้งมันร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.48)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



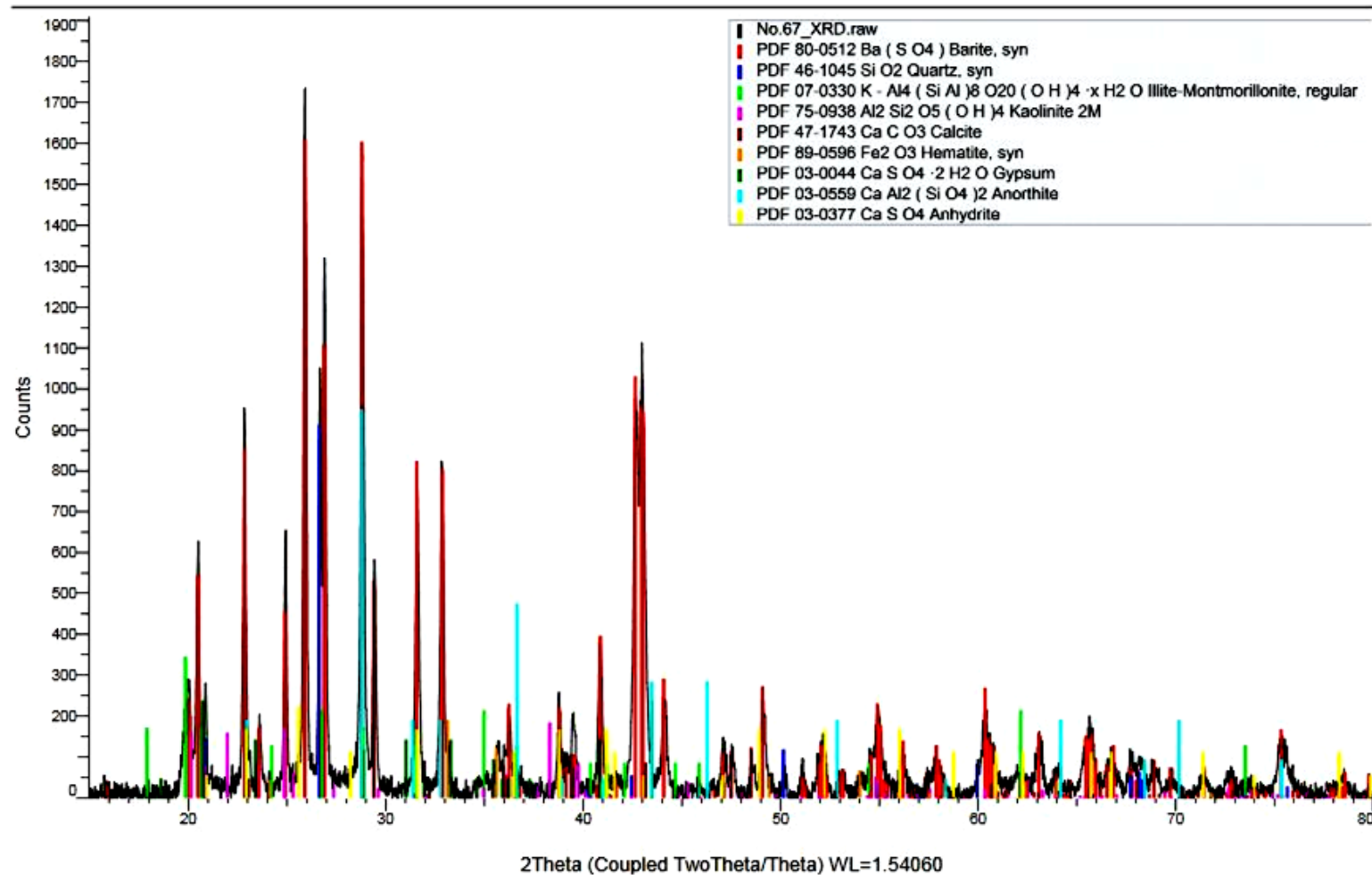
รูปที่ ก.1.17 ผลการวิเคราะห์แรงจลน์ประกอบของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมโดโลไมต์ร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.51)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



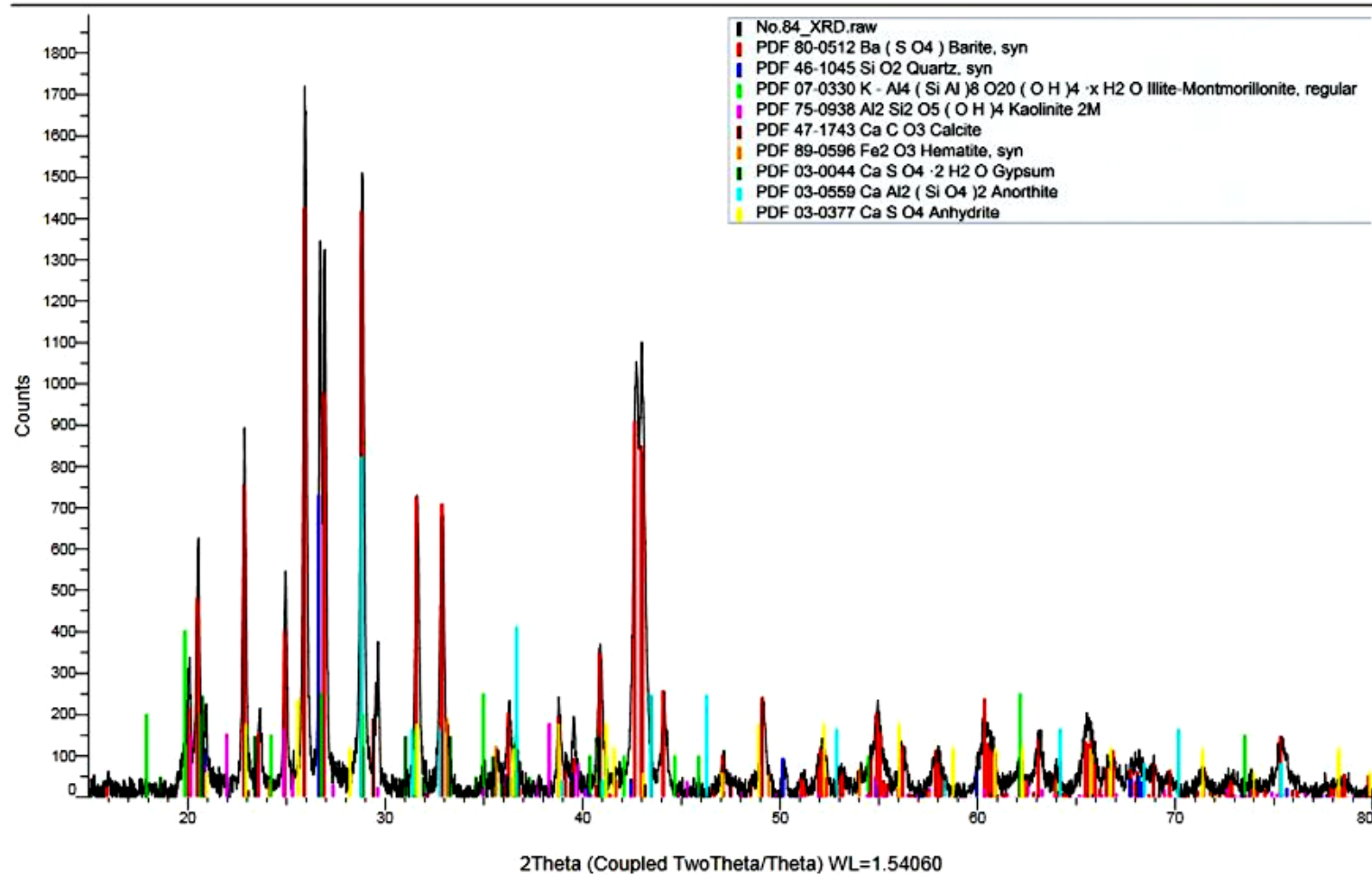
รูปที่ ก.1.18 ผลการวิเคราะห์แร่ของประกอบของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแฉ่ำเกลบรื้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 90°C (No.64)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



รูปที่ ก.1.19 ผลการวิเคราะห์แรงแรงค์ประกอบของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาวร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.67)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



รูปที่ ก.1.20 ผลการวิเคราะห์แร่ของน้ำโคลนตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 90°C (No.84)

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองและวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

ผลจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืด

ตารางที่ ข.1.1 น้ำโคลนขุดเจาะพื้นฐาน ที่อุณหภูมิ 30°C (No.1)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	44	46	47	48	46.3	1021.8	0.099
300	37	37	41	38	38.3	510.9	0.082
200	34	34	36	35	34.8	340.6	0.074
100	32	31	33	30	31.5	170.3	0.067
6	30	29	32	27	29.5	10.2	0.063
3	27	29	31	25	28.0	5.1	0.060
PV	7	9	6	10	8		
AV	22	23	23.5	24	23		
YP	30	28	35	28	30		
Gel _{in}	27						
Gel ₁₀	31						

ตารางที่ ข.1.2 น้ำโคลนขุดเจาะพื้นฐาน ที่อุณหภูมิ 60°C (No.2)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	65	63	61	59	62.0	1021.8	0.132
300	54	59	54	51	54.5	510.9	0.116
200	53	56	51	48	52.0	340.6	0.111
100	50	52	51	46	49.8	170.3	0.106
6	41	46	47	42	44.0	10.2	0.094
3	30	33	32	37	33.0	5.1	0.070
PV	11	4	7	8	8		
AV	32.5	31.5	30.5	29.5	31		
YP	43	55	47	43	47		
Gel _{in}	30						
Gel ₁₀	32						

ตารางที่ ข.1.3 น้ำโคลนขุดเจาะพื้นฐาน ที่อุณหภูมิ 90°C (No.3)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	76	75	71	70	73.0	1021.8	0.156
300	74	70	66	63	68.3	510.9	0.146
200	74	68	70	60	68.0	340.6	0.145
100	70	65	67	57	64.8	170.3	0.138
6	52	51	57	46	51.5	10.2	0.110
3	37	39	42	37	38.8	5.1	0.083
PV	2	5	5	7	5		
AV	38	37.5	35.5	35	37		
YP	72	65	61	56	64		
Gel _{in}	37						
Gel ₁₀	42						

ตารางที่ ข.1.4 น้ำโคลนขุดเจาะผสมเกล็ดลอยร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.4)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	36	37	35	35	35.8	1021.8	0.076
300	26	27	28	27	27.0	510.9	0.058
200	25	24	25	22	24.0	340.6	0.051
100	21	19	22	19	20.3	170.3	0.043
6	20	18	22	20	20.0	10.2	0.043
3	19	23	26	18	21.5	5.1	0.046
PV	10	10	7	8	9		
AV	18	18.5	17.5	17.5	18		
YP	16	17	21	19	18		
Gel _{in}	19						
Gel ₁₀	26						

ตารางที่ ข.1.5 น้ำโคลนชุดเจาะผสมเกล็ดลอยร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.5)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	78	78	76	79	77.8	1021.8	0.166
300	74	75	70	71	72.5	510.9	0.155
200	72	72	69	68	70.3	340.6	0.150
100	68	66	65	64	65.8	170.3	0.140
6	45	46	37	48	44.0	10.2	0.094
3	21	23	22	30	24.0	5.1	0.051
PV	4	3	6	8	5		
AV	39	39	38	39.5	39		
YP	70	72	64	63	67		
Gel _{in}	21						
Gel ₁₀	22						

ตารางที่ ข.1.6 น้ำโคลนชุดเจาะผสมเกล็ดลอยร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.6)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	80	82	72	74	77.0	1021.8	0.164
300	75	73	64	66	69.5	510.9	0.148
200	72	69	63	59	65.8	340.6	0.140
100	67	60	60	52	59.8	170.3	0.127
6	41	35	32	30	34.5	10.2	0.074
3	22	22	19	18	20.3	5.1	0.043
PV	5	9	8	8	8		
AV	40	41	36	37	39		
YP	70	64	56	58	62		
Gel _{in}	22						
Gel ₁₀	19						

ตารางที่ ข.1.7 น้ำโคลนชุดเจาะผสมเกล็ดลอยร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.7)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	36	37	37	31	35.3	1021.8	0.075
300	30	29	31	28	29.5	510.9	0.063
200	28	27	29	22	26.5	340.6	0.056
100	25	23	26	29	25.8	170.3	0.055
6	29	24	30	22	26.3	10.2	0.056
3	28	28	35	28	29.8	5.1	0.063
PV	6	8	6	3	6		
AV	18	18.5	18.5	15.5	18		
YP	24	21	25	25	24		
Gel _{in}	28						
Gel ₁₀	35						

ตารางที่ ข.1.8 น้ำโคลนชุดเจาะผสมเกล็ดลอยร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.8)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	59	59	52	54	56.0	1021.8	0.119
300	54	52	46	51	50.0	510.9	0.107
200	50	49	44	48	47.8	340.6	0.102
100	47	44	40	44	43.8	170.3	0.093
6	16	16	15	17	16.0	10.2	0.034
3	10	10	13	11	11.0	5.1	0.023
PV	5	7	6	3	5		
AV	29.5	29.5	26	27	28		
YP	49	45	40	48	46		
Gel _{in}	10						
Gel ₁₀	13						

ตารางที่ ข.1.9 น้ำโคลนชุดเจาะผสมเกล็ดลอรีออล 5 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.9)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	54	54	50	52	52.50	1021.8	0.112
300	49	50	45	50	48.50	510.9	0.103
200	46	47	42	47	45.50	340.6	0.097
100	42	43	38	43	41.50	170.3	0.088
6	15	17	16	17	16.25	10.2	0.035
3	12	12	10	12	11.50	5.1	0.025
PV	5	4	5	2	4		
AV	27	27	25	26	26		
YP	44	46	40	48	45		
Gel _{in}	12						
Gel ₁₀	10						

ตารางที่ ข.1.10 น้ำโคลนชุดเจาะผสมเกล็ดลอรีออล 1 ที่อุณหภูมิ 90°C (No.10)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	41	41	41	42	41.33	1021.8	0.088
300	38	34	35	34	35.33	510.9	0.075
200	37	33	34	31	33.67	340.6	0.072
100	36	30	31	28	31.33	170.3	0.067
6	35	30	32	31	32.00	10.2	0.068
3	27	34	32	35	32.00	5.1	0.068
PV	3	7	6	8	6		
AV	20.5	20.5	20.7	21	21		
YP	35	27	29.3	26	29		
Gel _{in}	27						
Gel ₁₀	35						

ตารางที่ ข.1.11 น้ำโคลนขุดเจาะผสมเกล็ดลอซร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 90°C (No.11)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	57	57	56	57	56.75	1021.8	0.121
300	50	53	50	51	51.00	510.9	0.109
200	46	50	46	49	47.75	340.6	0.102
100	42	46	42	45	43.75	170.3	0.093
6	18	19	19	20	19.00	10.2	0.041
3	11	12	13	16	13.00	5.1	0.028
PV	7	4	6	6	6		
AV	28.5	28.5	28	28.5	28		
YP	43	49	44	45	45		
Gel _{in}	11						
Gel ₁₀	13						

ตารางที่ ข.1.12 น้ำโคลนขุดเจาะผสมเกล็ดลอซร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 90°C (No.12)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	51	51	51	51	51.00	1021.8	0.109
300	38	48	43	47	44.00	510.9	0.094
200	36	44	38	45	40.75	340.6	0.087
100	33	42	35	41	37.75	170.3	0.080
6	14	17	18	19	17.00	10.2	0.036
3	5	10	10	11	9.00	5.1	0.019
PV	13	3	8	4	7		
AV	25.5	25.5	25.5	25.5	26		
YP	25	45	35	43	37		
Gel _{in}	5						
Gel ₁₀	10						

ตารางที่ ข.1.13 น้ำโคลนขุดเจาะผสมโคลไมต์ร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.13)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	46	46	48	48	47.00	1021.8	0.100
300	38	37	40	39	38.50	510.9	0.082
200	34	35	37	36	35.50	340.6	0.076
100	31	31	34	32	32.00	170.3	0.068
6	28	27	32	27	28.50	10.2	0.061
3	22	28	33	27	27.50	5.1	0.059
PV	8	9	8	9	9		
AV	23	23	24	24	24		
YP	30	28	32	30	30		
Gel _{in}	22						
Gel ₁₀	33						

ตารางที่ ข.1.14 น้ำโคลนขุดเจาะผสมโคลไมต์ร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.14)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	48	48	49	51	49.00	1021.8	0.104
300	39	39	41	41	40.00	510.9	0.085
200	36	36	37	37	36.50	340.6	0.078
100	33	32	35	33	33.25	170.3	0.071
6	31	31	34	30	31.50	10.2	0.067
3	28	31	38	32	32.25	5.1	0.069
PV	9	9	8	10	9		
AV	24	24	24.5	25.5	25		
YP	30	30	33	31	31		
Gel _{in}	28						
Gel ₁₀	38						

ตารางที่ ข.1.15 น้ำโคลนขุดเจาะผสมโคลไมต์ร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.15)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	49	50	50	51	50.00	1021.8	0.107
300	42	42	42	43	42.25	510.9	0.090
200	39	38	40	40	39.25	340.6	0.084
100	35	35	36	35	35.25	170.3	0.075
6	34	34	37	32	34.25	10.2	0.073
3	33	33	37	33	34.00	5.1	0.072
PV	7	8	8	8	8		
AV	24.5	25	25	25.5	25		
YP	35	34	34	35	35		
Gel _{in}	33						
Gel ₁₀	37						

ตารางที่ ข.1.16 น้ำโคลนขุดเจาะผสมถ้ำเกลบร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.16)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	44	45	48	49	46.50	1021.8	0.099
300	35	36	40	42	38.25	510.9	0.082
200	32	33	36	36	34.25	340.6	0.073
100	29	29	32	32	30.50	170.3	0.065
6	25	26	30	25	26.50	10.2	0.056
3	22	25	28	24	24.75	5.1	0.053
PV	9	9	8	7	8		
AV	22	22.5	24	24.5	23		
YP	26	27	32	35	30		
Gel _{in}	22						
Gel ₁₀	28						

ตารางที่ ข.1.17 น้ำโคลนขุดเจาะผสมถ้ำเกลบร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.17)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	40	40	40	41	40.25	1021.8	0.086
300	29	30	30	31	30.00	510.9	0.064
200	26	26	27	26	26.25	340.6	0.056
100	22	21	23	21	21.75	170.3	0.046
6	17	16	18	16	16.75	10.2	0.036
3	15	14	19	15	15.75	5.1	0.034
PV	11	10	10	10	10		
AV	20	20	20	20.5	20		
YP	18	20	20	21	20		
Gel _{in}	15						
Gel ₁₀	19						

ตารางที่ ข.1.18 น้ำโคลนขุดเจาะผสมถ้ำเกลบร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.18)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	35	35	37	37	36.00	1021.8	0.077
300	25	25	26	26	25.50	510.9	0.054
200	21	20	22	21	21.00	340.6	0.045
100	17	16	17	16	16.50	170.3	0.035
6	11	11	14	11	11.75	10.2	0.025
3	9	10	9	9	9.25	5.1	0.020
PV	10	10	11	11	11		
AV	17.5	17.5	18.5	18.5	18		
YP	15	15	15	15	15		
Gel _{in}	9						
Gel ₁₀	9						

ตารางที่ ข.1.19 น้ำโคลนชุดเจาะผสมปูนขาวร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.19)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	41	43	50	49	45.75	1021.8	0.098
300	35	35	37	41	37.00	510.9	0.079
200	31	32	35	36	33.50	340.6	0.071
100	28	28	31	32	29.75	170.3	0.063
6	26	28	31	32	29.25	10.2	0.062
3	24	29	33	31	29.25	5.1	0.062
PV	6	8	13	8	9		
AV	20.5	21.5	25	24.5	23		
YP	29	27	24	33	28		
Gel _{in}	24						
Gel ₁₀	33						

ตารางที่ ข.1.20 น้ำโคลนชุดเจาะผสมปูนขาวร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.20)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	48	49	51	51	49.75	1021.8	0.106
300	41	41	42	41	41.25	510.9	0.088
200	38	37	38	37	37.50	340.6	0.080
100	34	33	37	32	34.00	170.3	0.072
6	32	33	37	31	33.25	10.2	0.071
3	31	33	40	33	34.25	5.1	0.073
PV	7	8	9	10	9		
AV	24	24.5	25.5	25.5	25		
YP	34	33	33	31	33		
Gel _{in}	31						
Gel ₁₀	40						

ตารางที่ ข.1.21 น้ำโคลนขุดเจาะผสมปูนขาวร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.21)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	43	44	47	47	45.25	1021.8	0.096
300	33	34	36	35	34.50	510.9	0.074
200	30	29	31	29	29.75	340.6	0.063
100	25	24	26	25	25.00	170.3	0.053
6	21	19	24	19	20.75	10.2	0.044
3	21	19	26	19	21.25	5.1	0.045
PV	10	10	11	12	11		
AV	21.5	22	23.5	23.5	23		
YP	23	24	25	23	24		
Gel _{in}	21						
Gel ₁₀	26						

ตารางที่ ข.1.22 น้ำโคลนขุดเจาะผสมแป้งมันร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.22)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	47	47	49	49	48.00	1021.8	0.102
300	38	37	42	38	38.75	510.9	0.083
200	35	35	40	36	36.50	340.6	0.078
100	32	32	36	33	33.25	170.3	0.071
6	29	27	35	31	30.50	10.2	0.065
3	26	27	35	31	29.75	5.1	0.063
PV	9	10	7	11	9		
AV	23.5	23.5	24.5	24.5	24		
YP	29	27	35	27	30		
Gel _{in}	26						
Gel ₁₀	35						

ตารางที่ ข.1.23 น้ำโคลนขุดเจาะผสมแป้งมันร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.23)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	51	52	54	55	53.00	1021.8	0.113
300	44	45	47	46	45.50	510.9	0.097
200	42	42	44	43	42.75	340.6	0.091
100	39	38	40	40	39.25	170.3	0.084
6	37	37	42	39	38.75	10.2	0.083
3	34	37	41	38	37.50	5.1	0.080
PV	7	7	7	9	8		
AV	25.5	26	27	27.5	27		
YP	37	38	40	37	38		
Gel _{in}	34						
Gel ₁₀	41						

ตารางที่ ข.1.24 น้ำโคลนขุดเจาะผสมแป้งมันร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.24)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	51	52	55	55	53.25	1021.8	0.114
300	45	45	48	46	46.00	510.9	0.098
200	42	42	44	43	42.75	340.6	0.091
100	38	39	41	39	39.25	170.3	0.084
6	35	36	40	34	36.25	10.2	0.077
3	32	35	40	34	35.25	5.1	0.075
PV	6	7	7	9	7		
AV	25.5	26	27.5	27.5	27		
YP	39	38	41	37	39		
Gel _{in}	32						
Gel ₁₀	40						

ตารางที่ ข.1.25 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมโดโลไมต์ร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.25)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	84	82	90	91	86.75	1021.8	0.185
300	78	78	84	85	81.25	510.9	0.173
200	75	74	79	80	77.00	340.6	0.164
100	70	71	75	75	72.75	170.3	0.155
6	48	47	48	42	46.25	10.2	0.099
3	32	26	18	28	26.00	5.1	0.055
PV	6	4	6	6	6		
AV	42	41	45	45.5	43		
YP	72	74	78	79	76		
Gel _{in}	32						
Gel ₁₀	18						

ตารางที่ ข.1.26 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมโดโลไมต์ร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.26)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	83	85	87	86	85.25	1021.8	0.182
300	79	81	78	80	79.50	510.9	0.169
200	77	77	73	74	75.25	340.6	0.160
100	66	72	66	70	68.50	170.3	0.146
6	43	45	37	43	42.00	10.2	0.090
3	31	40	34	37	35.50	5.1	0.076
PV	4	4	9	6	6		
AV	41.5	42.5	43.5	43	43		
YP	75	77	69	74	74		
Gel _{in}	31						
Gel ₁₀	34						

ตารางที่ ข.1.27 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมโดโลไมต์ร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.27)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	91	101	90	93	93.75	1021.8	0.200
300	79	90	84	85	84.50	510.9	0.180
200	73	87	80	81	80.25	340.6	0.171
100	65	77	74	75	72.75	170.3	0.155
6	40	46	42	48	44.00	10.2	0.094
3	24	37	25	37	30.75	5.1	0.066
PV	12	11	6	8	9		
AV	45.5	50.5	45	46.5	47		
YP	67	79	78	77	75		
Gel _{in}	24						
Gel ₁₀	25						

ตารางที่ ข.1.28 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมโดโลไมต์ร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.28)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	59	60	60	61	60.00	1021.8	0.128
300	56	55	53	55	54.75	510.9	0.117
200	55	52	50	52	52.25	340.6	0.111
100	52	45	45	48	47.50	170.3	0.101
6	28	23	19	25	23.75	10.2	0.051
3	20	12	8	13	13.25	5.1	0.028
PV	3	5	7	6	5		
AV	29.5	30	30	30.5	30		
YP	53	50	46	49	50		
Gel _{in}	20						
Gel ₁₀	8						

ตารางที่ ข.1.29 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมโดโลไมต์ร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.29)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	62	61	63	62	62.00	1021.8	0.132
300	56	57	56	57	56.50	510.9	0.120
200	53	54	52	54	53.25	340.6	0.114
100	51	50	47	49	49.25	170.3	0.105
6	28	28	29	28	28.25	10.2	0.060
3	20	21	17	20	19.50	5.1	0.042
PV	6	4	7	5	6		
AV	31	30.5	31.5	31	31		
YP	50	53	49	52	51		
Gel _{in}	20						
Gel ₁₀	17						

ตารางที่ ข.1.30 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมโดโลไมต์ร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.30)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	78	78	76	75	76.75	1021.8	0.164
300	73	73	68	68	70.50	510.9	0.150
200	70	68	62	65	66.25	340.6	0.141
100	67	63	59	60	62.25	170.3	0.133
6	29	27	19	28	25.75	10.2	0.055
3	26	11	9	10	14.00	5.1	0.030
PV	5	5	8	7	6		
AV	39	39	38	37.5	38		
YP	68	68	60	61	64		
Gel _{in}	26						
Gel ₁₀	9						

ตารางที่ ข.1.31 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมเถ้าแกลบร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.31)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	72	70	70	69	70.25	1021.8	0.150
300	65	67	65	63	65.00	510.9	0.139
200	54	66	63	62	61.25	340.6	0.131
100	41	65	62	59	56.75	170.3	0.121
6	19	60	59	53	47.75	10.2	0.102
3	21	55	36	48	40.00	5.1	0.085
PV	7	3	5	6	5		
AV	36	35	35	34.5	35		
YP	58	64	60	57	60		
Gel _{in}	21						
Gel ₁₀	36						

ตารางที่ ข.1.32 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมเถ้าแกลบร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.32)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	62	62	65	65	63.50	1021.8	0.135
300	55	57	61	62	58.75	510.9	0.125
200	51	56	58	62	56.75	340.6	0.121
100	49	55	54	61	54.75	170.3	0.117
6	45	54	49	55	50.75	10.2	0.108
3	31	42	34	42	37.25	5.1	0.079
PV	7	5	4	3	5		
AV	31	31	32.5	32.5	32		
YP	48	52	57	59	54		
Gel _{in}	31						
Gel ₁₀	34						

ตารางที่ ข.1.33 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมเถ้าแกลบร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.33)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)	
600	36	36	45	45	40.50	1021.8	0.086	
300	33	33	35	40	35.25	510.9	0.075	
200	32	33	33	39	34.25	340.6	0.073	
100	28	30	37	41	34.00	170.3	0.072	
6	20	30	27	40	29.25	10.2	0.062	
3	21	19	19	24	20.75	5.1	0.044	
PV	3	3	10	5	5			
AV	18	18	22.5	22.5	20			
YP	30	30	25	35	30			
Gel _{in}	21							
Gel ₁₀	19							

ตารางที่ ข.1.34 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมเถ้าแกลบร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.34)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)		
600	45	45	46	48	46.00	1021.8	0.098		
300	39	41	37	43	40.00	510.9	0.085		
200	35	38	35	39	36.75	340.6	0.078		
100	33	35	33	33	33.50	170.3	0.071		
6	19	14	13	9	13.75	10.2	0.029		
3	24	9	10	7	12.50	5.1	0.027		
PV	6	4	9	5	6				
AV	22.5	22.5	23	24	23				
YP	33	37	28	38	34				
Gel _{in}	24								
Gel ₁₀	10								

ตารางที่ ข.1.35 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมแฉ่ำเกลบร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.35)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	42	49	40	40	42.75	1021.8	0.091
300	41	44	37	34	39.00	510.9	0.083
200	40	41	37	33	37.75	340.6	0.080
100	40	41	39	31	37.75	170.3	0.080
6	38	36	38	27	34.75	10.2	0.074
3	32	33	32	24	30.25	5.1	0.064
PV	1	5	3	6	4		
AV	21	24.5	20	20	21		
YP	40	39	34	28	35		
Gel _{in}	32						
Gel ₁₀	32						

ตารางที่ ข.1.36 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมแฉ่ำเกลบร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.36)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	70	68	70	69	69.25	1021.8	0.148
300	68	68	68	67	67.75	510.9	0.144
200	68	68	69	68	68.25	340.6	0.146
100	67	66	64	69	66.50	170.3	0.142
6	47	60	54	63	56.00	10.2	0.119
3	22	34	35	41	33.00	5.1	0.070
PV	2	0	2	2	2		
AV	35	34	35	34.5	35		
YP	66	68	66	65	66		
Gel _{in}	22						
Gel ₁₀	35						

ตารางที่ ข.1.37 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมปูนขาวร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.37)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	78	78	76	79	77.8	1021.8	0.166
300	74	75	70	71	72.5	510.9	0.155
200	72	72	69	68	70.3	340.6	0.150
100	68	66	65	64	65.8	170.3	0.140
6	45	46	37	48	44.0	10.2	0.094
3	21	23	22	30	24.0	5.1	0.051
PV	4	3	6	8	5.3		
AV	39	39	38	39.5	38.9		
YP	70	72	64	63	67.3		
Gel _{in}	21						
Gel ₁₀	22						

ตารางที่ ข.1.38 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมปูนขาวร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.38)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	104	111	100	96	102.75	1021.8	0.219
300	97	94	83	84	89.50	510.9	0.191
200	92	85	77	79	83.25	340.6	0.177
100	83	77	69	71	75.00	170.3	0.160
6	43	44	38	36	40.25	10.2	0.086
3	26	29	19	26	25.00	5.1	0.053
PV	7	17	17	12	13		
AV	52	55.5	50	48	51		
YP	90	77	66	72	76		
Gel _{in}	26						
Gel ₁₀	19						

ตารางที่ ข.1.39 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมปูนขาวร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.39)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	89	82	78	78	81.75	1021.8	0.174
300	81	73	65	69	72.00	510.9	0.154
200	67	67	60	65	64.75	340.6	0.138
100	62	61	50	58	57.75	170.3	0.123
6	32	36	28	38	33.50	10.2	0.071
3	11	19	18	23	17.75	5.1	0.038
PV	8	9	13	9	10		
AV	44.5	41	39	39	41		
YP	73	64	52	60	62		
Gel _{in}	11						
Gel ₁₀	18						

ตารางที่ ข.1.40 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมปูนขาวร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.40)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	65	65	69	68	66.75	1021.8	0.142
300	55	60	53	62	57.50	510.9	0.123
200	49	54	56	58	54.25	340.6	0.116
100	46	46	43	50	46.25	170.3	0.099
6	12	18	8	21	14.75	10.2	0.031
3	14	11	6	8	9.75	5.1	0.021
PV	10	5	16	6	9		
AV	32.5	32.5	34.5	34	33		
YP	45	55	37	56	48		
Gel _{in}	14						
Gel ₁₀	6						

ตารางที่ ข.1.41 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมปูนขาวร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.41)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	80	78	76	83	79.25	1021.8	0.169
300	70	70	67	77	71.00	510.9	0.151
200	65	66	60	72	65.75	340.6	0.140
100	60	60	54	66	60.00	170.3	0.128
6	32	33	28	40	33.25	10.2	0.071
3	15	19	18	20	18.00	5.1	0.038
PV	10	8	9	6	8		
AV	40	39	38	41.5	40		
YP	60	62	58	71	63		
Gel _{in}	15						
Gel ₁₀	18						

ตารางที่ ข.1.42 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมปูนขาวร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.42)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	70	69	65	64	67.00	1021.8	0.143
300	59	62	55	60	59.00	510.9	0.126
200	54	57	51	56	54.50	340.6	0.116
100	47	51	46	52	49.00	170.3	0.104
6	25	26	25	26	25.50	10.2	0.054
3	21	19	13	17	17.50	5.1	0.037
PV	11	7	10	4	8		
AV	35	34.5	32.5	32	34		
YP	48	55	45	56	51		
Gel _{in}	21						
Gel ₁₀	13						

ตารางที่ ข.1.43 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมันร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.43)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	84	80	82	83	82.25	1021.8	0.175
300	81	77	77	79	78.50	510.9	0.167
200	80	75	74	86	78.75	340.6	0.168
100	78	69	69	76	73.00	170.3	0.156
6	50	49	35	55	47.25	10.2	0.101
3	31	16	15	15	19.25	5.1	0.041
PV	3	3	5	4	4		
AV	42	40	41	41.5	41		
YP	78	74	72	75	75		
Gel _{in}	31						
Gel ₁₀	15						

ตารางที่ ข.1.44 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมันร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.44)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	77	76	81	83	79.25	1021.8	0.169
300	76	73	75	79	75.75	510.9	0.161
200	74	70	69	75	72.00	340.6	0.154
100	72	68	65	71	69.00	170.3	0.147
6	48	49	48	51	49.00	10.2	0.104
3	24	24	18	26	23.00	5.1	0.049
PV	1	3	6	4	4		
AV	38.5	38	40.5	41.5	40		
YP	75	70	69	75	72		
Gel _{in}	24						
Gel ₁₀	18						

ตารางที่ ข.1.45 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมันร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.45)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	87	92	99	100	94.50	1021.8	0.201
300	82	88	90	94	88.50	510.9	0.189
200	80	86	86	90	85.50	340.6	0.182
100	74	82	74	85	78.75	170.3	0.168
6	57	62	56	59	58.50	10.2	0.125
3	26	24	19	27	24.00	5.1	0.051
PV	5	4	9	6	6		
AV	43.5	46	49.5	50	47		
YP	77	84	81	88	83		
Gel _{in}	26						
Gel ₁₀	19						

ตารางที่ ข.1.46 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมันร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.46)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	100	103	102	102	101.75	1021.8	0.217
300	79	89	82	86	84.00	510.9	0.179
200	75	80	80	78	78.25	340.6	0.167
100	72	75	74	72	73.25	170.3	0.156
6	25	35	27	40	31.75	10.2	0.068
3	23	29	25	25	25.50	5.1	0.054
PV	21	14	20	16	18		
AV	50	51.5	51	51	51		
YP	58	75	62	70	66		
Gel _{in}	23						
Gel ₁₀	25						

ตารางที่ ข.1.47 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมันร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.47)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	266	268	252	249	258.75	1021.8	0.552
300	198	223	188	193	200.50	510.9	0.427
200	185	208	167	177	184.25	340.6	0.393
100	169	179	148	157	163.25	170.3	0.348
6	78	109	45	106	84.50	10.2	0.180
3	68	68	44	64	61.00	5.1	0.130
PV	68	45	64	56	58		
AV	133	134	126	124.5	129		
YP	130	178	124	137	142		
Gel _{in}	68						
Gel ₁₀	44						

ตารางที่ ข.1.48 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมันร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.48)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	304	304	304	304	304.00	1021.8	0.648
300	304	304	304	304	304.00	510.9	0.648
200	303	304	304	304	303.75	340.6	0.648
100	303	303	304	304	303.50	170.3	0.647
6	134	136	134	142	136.50	10.2	0.291
3	131	122	130	126	127.25	5.1	0.271
PV	0	0	0	0	0		
AV	152	152	152	152	152		
YP	304	304	304	304	304		
Gel _{in}	131						
Gel ₁₀	130						

ตารางที่ ข.1.49 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมโคลโลไม้ร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.49)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	34	34	40	41	37.25	1021.8	0.079
300	27	27	33	31	29.50	510.9	0.063
200	24	24	30	28	26.50	340.6	0.056
100	20	20	28	22	22.50	170.3	0.048
6	16	16	25	16	18.25	10.2	0.039
3	14	17	22	17	17.50	5.1	0.037
PV	7	7	7	10	8		
AV	17	17	20	20.5	19		
YP	20	20	26	21	22		
Gel _{in}	14						
Gel ₁₀	22						

ตารางที่ ข.1.50 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมโคลโลไม้ร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.50)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	35	36	38	39	37.00	1021.8	0.079
300	26	27	31	31	28.75	510.9	0.061
200	23	23	29	26	25.25	340.6	0.054
100	20	19	25	22	21.50	170.3	0.046
6	15	17	25	21	19.50	10.2	0.042
3	12	19	28	20	19.75	5.1	0.042
PV	9	9	7	8	8		
AV	17.5	18	19	19.5	19		
YP	17	18	24	23	21		
Gel _{in}	12						
Gel ₁₀	28						

ตารางที่ ข.1.51 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมโคลโลไม้ร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.51)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	38	38	41	41	39.50	1021.8	0.084
300	31	30	34	33	32.00	510.9	0.068
200	29	27	32	26	28.50	340.6	0.061
100	26	23	27	23	24.75	170.3	0.053
6	21	21	28	22	23.00	10.2	0.049
3	19	19	28	21	21.75	5.1	0.046
PV	7	8	7	8	8		
AV	19	19	20.5	20.5	20		
YP	24	22	27	25	25		
Gel _{in}	19						
Gel ₁₀	28						

ตารางที่ ข.1.52 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมโคลโลไม้ร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.52)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	42	42	40	40	41.00	1021.8	0.087
300	35	34	34	32	33.75	510.9	0.072
200	34	32	31	28	31.25	340.6	0.067
100	31	29	29	23	28.00	170.3	0.060
6	27	26	31	19	25.75	10.2	0.055
3	23	26	32	20	25.25	5.1	0.054
PV	7	8	6	8	7		
AV	21	21	20	20	21		
YP	28	26	28	24	27		
Gel _{in}	23						
Gel ₁₀	32						

ตารางที่ ข.1.53 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมโดโลไมต์ร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.53)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	41	40	42	41	41.00	1021.8	0.087
300	36	32	38	32	34.50	510.9	0.074
200	34	29	36	29	32.00	340.6	0.068
100	31	27	33	26	29.25	170.3	0.062
6	29	25	32	25	27.75	10.2	0.059
3	25	23	29	25	25.50	5.1	0.054
PV	5	8	4	9	7		
AV	20.5	20	21	20.5	21		
YP	31	24	34	23	28		
Gel _{in}	25						
Gel ₁₀	29						

ตารางที่ ข.1.54 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมโดโลไมต์ร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.54)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	43	42	41	39	41.25	1021.8	0.088
300	36	34	36	29	33.75	510.9	0.072
200	34	31	34	26	31.25	340.6	0.067
100	31	26	30	21	27.00	170.3	0.058
6	29	23	31	20	25.75	10.2	0.055
3	29	23	33	20	26.25	5.1	0.056
PV	7	8	5	10	8		
AV	21.5	21	20.5	19.5	21		
YP	29	26	31	19	26		
Gel _{in}	29						
Gel ₁₀	33						

ตารางที่ ข.1.55 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมโดโลไมต์ร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 90°C (No.55)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	39	39	39	38	38.75	1021.8	0.083
300	35	32	34	30	32.75	510.9	0.070
200	33	30	33	28	31.00	340.6	0.066
100	30	26	30	24	27.50	170.3	0.059
6	30	22	30	21	25.75	10.2	0.055
3	27	21	29	19	24.00	5.1	0.051
PV	4	7	5	8	6		
AV	19.5	19.5	19.5	19	19		
YP	31	25	29	22	27		
Gel _{in}	27						
Gel ₁₀	29						

ตารางที่ ข.1.56 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมโดโลไมต์ร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 90°C (No.56)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	41	40	38	37	39.00	1021.8	0.083
300	35	32	36	29	33.00	510.9	0.070
200	34	30	33	26	30.75	340.6	0.066
100	32	28	30	22	28.00	170.3	0.060
6	31	28	44	26	32.25	10.2	0.069
3	25	25	37	28	28.75	5.1	0.061
PV	6	8	2	8	6		
AV	20.5	20	19	18.5	20		
YP	29	24	34	21	27		
Gel _{in}	25						
Gel ₁₀	37						

ตารางที่ ข.1.57 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมโคลโลไมต์ร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 90°C (No.57)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	38	39	39	38	38.50	1021.8	0.082
300	35	32	33	31	32.75	510.9	0.070
200	33	29	32	27	30.25	340.6	0.064
100	30	25	29	23	26.75	170.3	0.057
6	36	26	50	18	32.50	10.2	0.069
3	29	25	40	28	30.50	5.1	0.065
PV	3	7	6	7	6		
AV	19	19.5	19.5	19	19		
YP	32	25	27	24	27		
Gel _{in}	29						
Gel ₁₀	40						

ตารางที่ ข.1.58 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมถ้ำเกลบร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.58)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	35	36	38	38	36.75	1021.8	0.078
300	29	28	31	29	29.25	510.9	0.062
200	27	25	28	26	26.50	340.6	0.056
100	25	22	26	22	23.75	170.3	0.051
6	20	23	25	22	22.50	10.2	0.048
3	17	23	32	25	24.25	5.1	0.052
PV	6	8	7	9	8		
AV	17.5	18	19	19	18		
YP	23	20	24	20	22		
Gel _{in}	17						
Gel ₁₀	32						

ตารางที่ ข.1.59 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมเถ้าแกบลร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.59)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	36	36	37	39	37.00	1021.8	0.079
300	29	29	32	31	30.25	510.9	0.064
200	26	25	29	27	26.75	340.6	0.057
100	23	22	25	23	23.25	170.3	0.050
6	23	22	27	23	23.75	10.2	0.051
3	22	22	29	26	24.75	5.1	0.053
PV	7	7	5	8	7		
AV	18	18	18.5	19.5	19		
YP	22	22	27	23	24		
Gel _{in}	22						
Gel ₁₀	29						

ตารางที่ ข.1.60 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมเถ้าแกบลร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.60)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	37	37	37	39	37.50	1021.8	0.080
300	29	29	29	29	29.00	510.9	0.062
200	26	25	26	26	25.75	340.6	0.055
100	22	21	24	21	22.00	170.3	0.047
6	18	19	23	19	19.75	10.2	0.042
3	17	18	23	22	20.00	5.1	0.043
PV	8	8	8	10	9		
AV	18.5	18.5	18.5	19.5	19		
YP	21	21	21	19	21		
Gel _{in}	17						
Gel ₁₀	23						

ตารางที่ ข.1.61 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแฉ่ำเกลบร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.61)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	40	40	38	37	38.75	1021.8	0.083
300	32	32	32	28	31.00	510.9	0.066
200	30	28	30	25	28.25	340.6	0.060
100	26	24	27	22	24.75	170.3	0.053
6	23	23	41	19	26.50	10.2	0.056
3	18	30	40	30	29.50	5.1	0.063
PV	8	8	6	9	8		
AV	20	20	19	18.5	19		
YP	24	24	26	19	23		
Gel _{in}	18						
Gel ₁₀	40						

ตารางที่ ข.1.62 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแฉ่ำเกลบร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.62)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	39	39	36	35	37.25	1021.8	0.079
300	34	33	28	27	30.50	510.9	0.065
200	31	29	27	23	27.50	340.6	0.059
100	27	25	24	18	23.50	170.3	0.050
6	22	24	23	15	21.00	10.2	0.045
3	30	24	42	19	28.75	5.1	0.061
PV	5	6	8	8	7		
AV	19.5	19.5	18	17.5	19		
YP	29	27	20	19	24		
Gel _{in}	30						
Gel ₁₀	42						

ตารางที่ ข.1.63 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแฉ่ำเกลบร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.63)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	42	41	41	40	41.00	1021.8	0.087
300	34	33	33	32	33.00	510.9	0.070
200	32	30	32	28	30.50	340.6	0.065
100	29	26	26	22	25.75	170.3	0.055
6	28	23	36	18	26.25	10.2	0.056
3	27	26	38	18	27.25	5.1	0.058
PV	8	8	8	8	8		
AV	21	20.5	20.5	20	21		
YP	26	25	25	24	25		
Gel _{in}	27						
Gel ₁₀	38						

ตารางที่ ข.1.64 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแฉ่ำเกลบร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 90°C (No.64)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	36	35	33	32	34.00	1021.8	0.072
300	30	28	26	22	26.50	510.9	0.056
200	28	24	24	20	24.00	340.6	0.051
100	26	20	23	16	21.25	170.3	0.045
6	28	22	41	13	26.00	10.2	0.055
3	23	24	30	17	23.50	5.1	0.050
PV	6	7	7	10	8		
AV	18	17.5	16.5	16	17		
YP	24	21	19	12	19		
Gel _{in}	23						
Gel ₁₀	30						

ตารางที่ ข.1.65 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมเถ้าแกบลร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 90°C (No.65)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	30	30	29	29	29.50	1021.8	0.063
300	22	21	23	21	21.75	510.9	0.046
200	21	19	21	17	19.50	340.6	0.042
100	20	15	16	13	16.00	170.3	0.034
6	26	13	11	6	14.00	10.2	0.030
3	24	15	15	6	15.00	5.1	0.032
PV	8	9	6	8	8		
AV	15	15	14.5	14.5	15		
YP	14	12	17	13	14		
Gel _{in}	24						
Gel ₁₀	15						

ตารางที่ ข.1.66 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมเถ้าแกบลร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 90°C (No.66)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	35	35	34	34	34.50	1021.8	0.074
300	24	25	24	25	24.50	510.9	0.052
200	21	21	21	21	21.00	340.6	0.045
100	18	17	18	16	17.25	170.3	0.037
6	24	17	16	10	16.75	10.2	0.036
3	19	16	21	9	16.25	5.1	0.035
PV	11	10	10	9	10		
AV	17.5	17.5	17	17	17		
YP	13	15	14	16	15		
Gel _{in}	19						
Gel ₁₀	21						

ตารางที่ ข.1.67 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาวร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.67)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	46	47	56	57	51.50	1021.8	0.110
300	34	36	45	46	40.25	510.9	0.086
200	32	31	40	41	36.00	340.6	0.077
100	27	27	38	36	32.00	170.3	0.068
6	24	25	42	38	32.25	10.2	0.069
3	21	29	45	46	35.25	5.1	0.075
PV	12	11	11	11	11		
AV	23	23.5	28	28.5	26		
YP	22	25	34	35	29		
Gel _{in}	21						
Gel ₁₀	45						

ตารางที่ ข.1.68 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาวร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.68)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	62	61	74	71	67.00	1021.8	0.143
300	55	53	67	62	59.25	510.9	0.126
200	52	50	66	61	57.25	340.6	0.122
100	47	48	65	63	55.75	170.3	0.119
6	49	60	77	75	65.25	10.2	0.139
3	42	63	69	79	63.25	5.1	0.135
PV	7	8	7	9	8		
AV	31	30.5	37	35.5	34		
YP	48	45	60	53	52		
Gel _{in}	42						
Gel ₁₀	69						

ตารางที่ ข.1.69 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาวร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.69)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	76	77	111	111	93.75	1021.8	0.200
300	70	69	107	105	87.75	510.9	0.187
200	66	66	110	110	88.00	340.6	0.188
100	61	64	110	110	86.25	170.3	0.184
6	63	82	87	90	80.50	10.2	0.172
3	59	79	70	89	74.25	5.1	0.158
PV	6	8	4	6	6		
AV	38	38.5	55.5	55.5	47		
YP	64	61	103	99	82		
Gel _{in}	59						
Gel ₁₀	70						

ตารางที่ ข.1.70 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาวร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.70)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	46	45	48	48	46.75	1021.8	0.100
300	41	39	45	39	41.00	510.9	0.087
200	39	35	44	35	38.25	340.6	0.082
100	37	32	43	32	36.00	170.3	0.077
6	38	31	42	33	36.00	10.2	0.077
3	36	31	37	29	33.25	5.1	0.071
PV	5	6	3	9	6		
AV	23	22.5	24	24	23		
YP	36	33	42	30	35		
Gel _{in}	36						
Gel ₁₀	37						

ตารางที่ ข.1.71 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาวร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.71)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	55	57	61	58	57.75	1021.8	0.123
300	52	48	58	48	51.50	510.9	0.110
200	49	49	56	49	50.75	340.6	0.108
100	47	48	54	49	49.50	170.3	0.106
6	56	57	60	59	58.00	10.2	0.124
3	35	55	66	57	53.25	5.1	0.114
PV	3	9	3	10	6		
AV	27.5	28.5	30.5	29	29		
YP	49	39	55	38	45		
Gel _{in}	35						
Gel ₁₀	66						

ตารางที่ ข.1.72 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาวร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.72)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	52	52	56	55	53.75	1021.8	0.115
300	49	48	56	50	50.75	510.9	0.108
200	47	47	55	49	49.50	340.6	0.106
100	46	45	53	48	48.00	170.3	0.102
6	48	52	54	56	52.50	10.2	0.112
3	40	45	46	52	45.75	5.1	0.098
PV	3	4	0	5	3		
AV	26	26	28	27.5	27		
YP	46	44	56	45	48		
Gel _{in}	40						
Gel ₁₀	46						

ตารางที่ ข.1.73 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาวร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 90°C (No.73)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	45	44	43	41	43.25	1021.8	0.092
300	40	38	38	34	37.50	510.9	0.080
200	38	34	34	31	34.25	340.6	0.073
100	36	32	33	28	32.25	170.3	0.069
6	36	33	51	31	37.75	10.2	0.080
3	28	31	46	29	33.50	5.1	0.071
PV	5	6	5	7	6		
AV	22.5	22	21.5	20.5	22		
YP	35	32	33	27	32		
Gel _{in}	28						
Gel ₁₀	46						

ตารางที่ ข.1.74 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาวร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 90°C (No.74)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	45	43	39	40	41.75	1021.8	0.089
300	41	40	36	33	37.50	510.9	0.080
200	39	39	34	31	35.75	340.6	0.076
100	38	38	33	30	34.75	170.3	0.074
6	36	51	50	40	44.25	10.2	0.094
3	34	46	45	41	41.50	5.1	0.088
PV	4	3	3	7	4		
AV	22.5	21.5	19.5	20	21		
YP	37	37	33	26	33		
Gel _{in}	34						
Gel ₁₀	45						

ตารางที่ ข.1.75 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาวร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 90°C (No.75)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	45	44	39	43	42.75	1021.8	0.091
300	43	41	33	35	38.00	510.9	0.081
200	42	41	31	34	37.00	340.6	0.079
100	40	40	35	33	37.00	170.3	0.079
6	33	44	41	39	39.25	10.2	0.084
3	32	39	40	37	37.00	5.1	0.079
PV	2	3	6	8	5		
AV	22.5	22	19.5	21.5	21		
YP	41	38	27	27	33		
Gel _{in}	32						
Gel ₁₀	40						

ตารางที่ ข.1.76 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.76)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	36	37	37	36	36.50	1021.8	0.078
300	27	28	29	28	28.00	510.9	0.060
200	24	24	25	22	23.75	340.6	0.051
100	21	20	22	19	20.50	170.3	0.044
6	20	18	22	18	19.50	10.2	0.042
3	18	16	26	19	19.75	5.1	0.042
PV	9	9	8	8	9		
AV	18	18.5	18.5	18	18		
YP	18	19	21	20	20		
Gel _{in}	18						
Gel ₁₀	26						

ตารางที่ ข.1.77 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.77)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	38	39	39	38	38.50	1021.8	0.082
300	31	31	32	31	31.25	510.9	0.067
200	28	28	30	27	28.25	340.6	0.060
100	25	23	27	23	24.50	170.3	0.052
6	22	22	26	18	22.00	10.2	0.047
3	21	24	25	17	21.75	5.1	0.046
PV	7	8	7	7	7		
AV	19	19.5	19.5	19	19		
YP	24	23	25	24	24		
Gel _{in}	21						
Gel ₁₀	25						

ตารางที่ ข.1.78 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C (No.78)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	37	38	38	37	37.50	1021.8	0.080
300	30	30	31	29	30.00	510.9	0.064
200	26	26	27	25	26.00	340.6	0.055
100	23	22	22	20	21.75	170.3	0.046
6	20	19	21	17	19.25	10.2	0.041
3	18	17	20	15	17.50	5.1	0.037
PV	7	8	7	8	8		
AV	18.5	19	19	18.5	19		
YP	23	22	24	21	23		
Gel _{in}	18						
Gel ₁₀	20						

ตารางที่ ข.1.79 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.79)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	80	80	81	79	80.00	1021.8	0.171
300	66	62	66	57	62.75	510.9	0.134
200	61	56	64	52	58.25	340.6	0.124
100	54	50	55	44	50.75	170.3	0.108
6	40	40	50	35	41.25	10.2	0.088
3	32	38	57	43	42.50	5.1	0.091
PV	14	18	15	22	17		
AV	40	40	40.5	39.5	40		
YP	52	44	51	35	46		
Gel _{in}	32						
Gel ₁₀	57						

ตารางที่ ข.1.80 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.80)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	165	166	171	174	169.00	1021.8	0.360
300	125	120	123	127	123.75	510.9	0.264
200	113	105	115	109	110.50	340.6	0.236
100	97	90	98	90	93.75	170.3	0.200
6	74	76	82	55	71.75	10.2	0.153
3	72	72	81	57	70.50	5.1	0.150
PV	40	46	48	47	45		
AV	82.5	83	85.5	87	85		
YP	85	74	75	80	79		
Gel _{in}	72						
Gel ₁₀	81						

ตารางที่ ข.1.81 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 60°C (No.81)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	300	300	300	300	300.00	1021.8	0.640
300	275	267	264	252	264.50	510.9	0.564
200	242	230	233	211	229.00	340.6	0.488
100	203	195	200	175	193.25	170.3	0.412
6	125	123	147	114	127.25	10.2	0.271
3	110	117	141	112	120.00	5.1	0.256
PV	25	33	36	48	36		
AV	150	150	150	150	150		
YP	250	234	228	204	229		
Gel _{in}	110						
Gel ₁₀	141						

ตารางที่ ข.1.82 น้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 90°C (No.82)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	81	83	81	78	80.75	1021.8	0.172
300	66	65	67	59	64.25	510.9	0.137
200	62	57	60	52	57.75	340.6	0.123
100	57	50	55	44	51.50	170.3	0.110
6	43	36	64	36	44.75	10.2	0.095
3	38	37	55	40	42.50	5.1	0.091
PV	15	18	14	19	17		
AV	40.5	41.5	40.5	39	40		
YP	51	47	53	40	48		
Gel _{in}	38						
Gel ₁₀	55						

ตารางที่ ข.1.83 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 90°C (No.83)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	245	248	263	269	256.25	1021.8	0.546
300	178	184	194	198	188.50	510.9	0.402
200	161	160	170	168	164.75	340.6	0.351
100	144	135	148	138	141.25	170.3	0.301
6	96	93	114	86	97.25	10.2	0.207
3	85	87	109	82	90.75	5.1	0.193
PV	67	64	69	71	68		
AV	122.5	124	131.5	134.5	128		
YP	111	120	125	127	121		
Gel _{in}	85						
Gel ₁₀	109						

ตารางที่ ข.1.84 น้ำโคลนขุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 90°C (No.84)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	300	300	300	300	300.00	1021.8	0.640
300	300	300	300	300	300.00	510.9	0.640
200	300	300	300	300	300.00	340.6	0.640
100	300	300	300	300	300.00	170.3	0.640
6	198	202	226	198	206.00	10.2	0.439
3	167	194	213	183	189.25	5.1	0.403
PV	0	0	0	0	0		
AV	150	150	150	150	150		
YP	300	300	300	300	300		
Gel _{in}	167						
Gel ₁₀	213						

ผลจากเครื่องวิเคราะห์การซึมผ่านและความหนาของแผ่นโคลน (Mud cake)

ตารางที่ ข.2.1 ค่าเฉลี่ยปริมาณการสูญเสียของน้ำโคลนชุดเจาะ

อุณหภูมิ (°C)	No.	ค่าเฉลี่ยปริมาณการสูญเสีย (Fluid loss, mL)					
		1 นาที	2 นาที	3 นาที	4 นาที	5 นาที	5.47 นาที
30	1	2.5	5.5	8.5	11.5	14.5	16.0
60	2	2.5	6.5	9.5	13.0	16.5	18.0
90	3	3.0	6.5	11.0	14.5	18.5	20.0
30	4	2.5	6.0	10.0	13.5	17.5	19.5
	5	5.0	10.5	17.0	24.0	32.0	37.0
	6	9.0	17.0	26.0	36.0	47.0	53.0
60	7	2.5	7.5	12.5	17.0	21.5	24.0
	8	12.0	26.0	40.5	56.5	73.0	80.0
	9	13.0	25.5	41.0	58.0	74.5	83.5
90	10	4.5	9.5	15.5	20.0	25.0	27.0
	11	17.0	36.0	57.5	79.5	102.5	113.0
	12	19.0	37.0	59.5	82.0	105.5	116.5
30	13	2.5	6.0	9.0	12.0	15.5	17.0
	14	2.0	5.5	8.5	11.0	14.0	16.0
	15	2.0	4.5	8.0	11.5	14.5	16.0
	16	2.0	5.0	8.0	11.0	13.5	15.0
	17	3.0	5.5	9.0	12.5	16.0	17.5
	18	3.5	6.5	9.5	13.0	16.5	18.5
	19	2.5	6.0	10.0	13.0	16.0	17.0
	20	2.5	5.5	8.5	11.5	14.5	16.0
	21	2.5	5.5	8.5	12.0	15.0	16.5
	22	2.5	5.5	9.5	12.5	15.5	17.0
	23	2.0	5.0	8.0	10.5	13.5	15.0
	24	2.0	4.5	7.5	10.0	12.5	14.0

ตารางที่ ข.2.1 ค่าเฉลี่ยปริมาณการสูญเสีย น้ำของน้ำโคลนชุดเจาะ (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	No.	ค่าเฉลี่ยปริมาณการสูญเสีย น้ำ (Fluid loss, mL)					
		1 นาที	2 นาที	3 นาที	4 นาที	5 นาที	5.47 นาที
30	25	5.0	11.5	18.0	26.0	33.0	36.5
	26	5.5	13.0	21.0	28.5	37.0	41.0
	27	6.5	13.0	21.0	28.5	37.0	41.0
60	28	9.0	18.5	27.0	37.5	49.5	55.0
	29	8.0	18.0	28.5	40.5	53.0	59.0
	30	9.5	20.5	32.5	45.5	59.0	65.0
30	31	4.5	10.5	18.0	22.0	29.0	32.0
	32	2.5	10.0	15.0	21.0	27.5	30.5
	33	2.0	9.0	13.5	19.0	26.0	28.5
60	34	7.5	17.0	27.0	37.5	50.0	56.0
	35	7.5	16.5	26.0	36.0	48.0	55.0
	36	5.5	15.0	21.0	29.0	38.0	42.0
30	37	6.0	13.0	20.5	28.5	36.5	40.5
	38	7.0	16.5	25.0	35.0	44.0	49.5
	39	8.0	17.5	26.0	36.0	47.5	51.5
60	40	8.0	17.5	28.0	40.0	52.5	58.5
	41	9.0	19.5	32.0	45.0	59.0	66.0
	42	13.0	24.5	40.0	57.0	73.0	83.0
30	43	5.0	10.5	17.0	22.5	30.0	33.0
	44	5.0	10.0	16.0	22.5	29.0	32.5
	45	4.5	10.0	15.5	21.5	27.5	30.5
60	46	4.5	7.5	10.5	13.5	17.0	18.0
	47	2.0	4.0	5.5	6.5	8.0	8.5
	48	2.0	3.0	4.5	5.5	6.0	7.0
30	49	2.0	6.0	9.5	13.0	17.0	19.0

ตารางที่ ข.2.1 ค่าเฉลี่ยปริมาณการสูญเสีย น้ำของน้ำโคลนชุดเจาะ (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	No.	ค่าเฉลี่ยปริมาณการสูญเสีย น้ำ (Fluid loss, mL)					
		1 นาที	2 นาที	3 นาที	4 นาที	5 นาที	5.47 นาที
30	50	2.0	5.5	10.0	13.5	16.0	18.5
	51	2.0	6.0	10.0	13.5	14.0	16.5
60	52	3.0	8.0	12.0	16.0	20.5	22.5
	53	2.5	7.5	13.0	16.0	20.5	22.0
	54	2.0	8.0	12.5	16.0	21.0	21.5
90	55	3.5	7.5	12.5	17.0	22.0	24.0
	56	4.0	8.0	13.0	18.0	23.0	25.5
	57	4.0	9.0	13.5	19.0	23.5	26.0
30	58	2.0	6.0	10.0	13.5	17.5	18.5
	59	2.5	7.0	10.5	14.5	18.5	20.5
	60	2.5	6.0	10.5	15.0	19.0	21.0
60	61	3.0	7.0	11.5	17.0	21.0	23.0
	62	4.0	8.5	13.5	18.5	24.0	27.0
	63	3.0	8.0	14.0	19.0	24.0	29.0
90	64	4.0	9.0	14.0	19.5	25.0	27.0
	65	4.5	9.5	15.0	20.5	26.0	29.0
	66	4.5	10.5	17.0	23.0	29.5	32.5
30	67	2.0	6.5	10.0	12.5	16.5	18.5
	68	2.5	7.0	10.5	14.0	18.5	20.0
	69	2.5	6.0	10.5	14.5	19.0	21.5
60	70	4.5	8.0	12.0	17.0	21.0	23.0
	71	3.0	8.0	13.0	18.0	23.0	25.5
	72	3.0	8.0	13.0	18.0	23.0	26.0
90	73	3.0	9.0	13.0	19.0	24.0	27.5
	74	4.5	10.0	15.5	21.5	27.5	30.0

ตารางที่ ข.2.1 ค่าเฉลี่ยปริมาณการสูญเสีย น้ำของน้ำโคลนชุดเจาะ (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	No.	ค่าเฉลี่ยปริมาณการสูญเสีย น้ำ (Fluid loss, มล.)					
		1 นาที	2 นาที	3 นาที	4 นาที	5 นาที	5.47 นาที
90	75	4.5	10.0	16.0	22.5	29.0	32.0
30	76	2.0	5.5	9.0	12.5	16.5	18.0
	77	2.0	5.0	9.0	11.5	15.0	16.5
	78	2.0	5.0	9.0	11.5	14.5	16.0
60	79	1.5	4.0	6.5	8.5	11.0	12.0
	80	0.25	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
	81	0.0	0.5	2.0	3.0	4.0	4.0
90	82	0.5	3.0	5.0	6.5	8.0	9.0
	83	0.25	0.5	2.5	3.0	4.0	4.5
	84	0.0	0.5	2.0	2.5	3.0	3.5

ตารางที่ ข.2.2 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะพื้นฐานที่อุณหภูมิ 30, 60 และ 90°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
1	3.80	3.84	3.79	3.81
2	3.96	3.14	4.60	3.90
3	4.92	4.92	5.72	5.19

ตารางที่ ข.2.3 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะผสมถั่วลอยร้อยละ 1, 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
4	5.10	4.50	6.92	5.51
5	10.10	11.68	10.16	10.65
6	10.80	10.12	12.42	11.11

ตารางที่ ข.2.4 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะผสมถั่วลอยร้อยละ 1, 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 60°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
7	6.84	5.10	7.24	6.39
8	12.06	12.90	12.54	12.50
9	12.54	14.76	13.02	13.44

ตารางที่ ข.2.5 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะผสมถั่วลอยร้อยละ 1, 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 90°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
10	9.70	8.34	10.90	9.65
11	15.70	20.00	15.28	16.99
12	18.90	21.28	18.84	19.67

ตารางที่ ข.2.6 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะผสมปูนขาวร้อยละ 1, 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
13	4.42	4.42	3.86	4.23
14	3.96	4.06	4.18	4.07
15	3.92	4.20	4.12	4.08

ตารางที่ ข.2.7 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะผสมถั่วแกลบร้อยละ 1, 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
16	3.82	3.96	3.81	3.86
17	4.38	4.34	3.98	4.23
18	4.48	4.36	4.08	4.31

ตารางที่ ข.2.8 ความหนาแน่นโคลนของ น้ำโคลนชุดเจาะผสมปูนขาวร้อยละ 1, 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
19	4.39	4.32	3.94	4.22
20	3.42	3.92	4.12	3.82
21	3.90	3.86	3.96	3.91

ตารางที่ ข.2.9 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะผสมแป้งมันร้อยละ 1, 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
22	4.00	4.12	4.52	4.21
23	3.52	3.67	4.20	3.80
24	3.36	2.94	3.00	3.10

ตารางที่ ข.2.10 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมโคลโลไมต์ร้อยละ 1, 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
25	7.94	9.92	9.92	9.26
26	10.32	10.22	10.20	10.25
27	11.24	10.32	9.37	10.31

ตารางที่ ข.2.11 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมโคลโลไมต์ร้อยละ 1, 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 60°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
28	13.62	13.52	14.42	13.85
29	16.82	17.68	17.88	17.46
30	17.80	18.10	17.98	17.96

ตารางที่ ข.2.12 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมแฉ่ำเกลบร้อยละ 1, 3 และ 5
ที่อุณหภูมิ 30°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
31	9.22	7.98	9.98	9.06
32	7.30	8.22	8.84	8.12
33	7.14	6.88	7.56	7.19

ตารางที่ ข.2.13 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมแฉ่ำเกลบร้อยละ 1, 3 และ 5
ที่อุณหภูมิ 60°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
34	13.68	13.64	12.90	13.41
35	12.32	12.16	12.56	12.35
36	11.48	12.24	11.46	11.73

ตารางที่ ข.2.14 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมปูนขาวร้อยละ 1, 3 และ 5
ที่อุณหภูมิ 30°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
37	10.64	11.52	10.42	10.86
38	11.62	11.92	11.48	11.67
39	11.22	12.14	12.02	11.79

ตารางที่ ข.2.15 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมปูนขาวร้อยละ 1, 3 และ 5
ที่อุณหภูมิ 60°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
40	17.16	16.94	16.26	16.79
41	17.32	18.94	17.58	17.95
42	18.14	18.62	19.38	18.71

ตารางที่ ข.2.16 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมันร้อยละ 1, 3 และ 5
ที่อุณหภูมิ 30°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
43	10.20	10.92	10.30	10.47
44	9.92	9.34	11.42	10.23
45	8.72	9.96	8.30	8.99

ตารางที่ ข.2.17 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 1 ผสมแป้งมันร้อยละ 1, 3 และ 5
ที่อุณหภูมิ 60°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
46	3.46	4.84	4.90	4.40
47	3.40	2.86	2.72	2.99
48	2.40	2.08	3.50	2.66

ตารางที่ ข.2.18 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมโคลโลไม้ไผ่ร้อยละ 1, 3 และ 5
ที่อุณหภูมิ 30°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
49	4.26	4.14	4.88	4.43
50	4.00	3.84	4.88	4.24
51	3.72	4.08	4.66	4.15

ตารางที่ ข.2.19 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมโคลโลไม้ไผ่ร้อยละ 1, 3 และ 5
ที่อุณหภูมิ 60°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
52	4.94	5.10	5.78	5.27
53	5.00	4.82	5.78	5.20
54	5.00	4.78	5.80	5.19

ตารางที่ ข.2.20 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมโคลโลไม้ไผ่ร้อยละ 1, 3 และ 5
ที่อุณหภูมิ 90°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
55	7.40	5.00	6.08	6.16
56	8.68	5.44	6.88	7.00
57	8.32	6.18	7.00	7.17

ตารางที่ ข.2.21 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมเข้าเกลบร้อยละ 1, 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 30°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
58	4.02	5.42	5.47	4.97
59	4.78	6.52	4.48	5.26
60	5.44	5.24	5.28	5.32

ตารางที่ ข.2.22 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมเข้าเกลบร้อยละ 1, 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 60°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
61	5.82	5.44	6.98	6.08
62	5.48	6.60	7.86	6.65
63	6.78	6.80	6.86	6.81

ตารางที่ ข.2.23 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมเข้าเกลบร้อยละ 1, 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 90°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
64	7.52	6.90	7.50	7.31
65	6.96	7.94	8.64	7.85
66	7.50	8.14	8.28	7.97

ตารางที่ ข.2.24 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาวร้อยละ 1, 3 และ 5
ที่อุณหภูมิ 30°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
67	7.08	6.92	4.10	6.03
68	6.62	6.68	6.92	6.74
69	7.00	6.84	6.78	6.87

ตารางที่ ข.2.25 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาวร้อยละ 1, 3 และ 5
ที่อุณหภูมิ 60°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
70	8.24	5.60	8.34	7.39
71	8.56	7.44	7.48	7.83
72	7.34	7.82	8.42	7.86

ตารางที่ ข.2.26 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมปูนขาวร้อยละ 1, 3 และ 5
ที่อุณหภูมิ 90°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
73	6.68	8.34	7.80	7.61
74	8.16	8.88	8.08	8.37
75	8.26	8.50	8.92	8.56

ตารางที่ ข.2.27 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันร้อยละ 1, 3 และ 5
ที่อุณหภูมิ 30°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
76	3.80	3.78	3.72	3.77
77	3.38	3.70	3.64	3.57
78	3.44	3.34	3.72	3.50

ตารางที่ ข.2.28 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันร้อยละ 1, 3 และ 5
ที่อุณหภูมิ 60°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
79	5.60	3.54	6.80	5.31
80	6.16	4.34	5.31	5.27
81	7.20	3.28	5.26	5.25

ตารางที่ ข.2.29 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะตัวใหม่ 2 ผสมแป้งมันร้อยละ 1, 3 และ 5
ที่อุณหภูมิ 90°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
82	4.10	4.66	5.06	4.61
83	3.08	2.10	2.62	2.60
84	2.54	1.88	2.38	2.27

ผลจากเครื่องวิเคราะห์ความหนาแน่น

ตารางที่ ข.3.1 ความหนาแน่นของน้ำโคลนชุดเจาะ

No.	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของน้ำโคลนชุดเจาะ				
	อุณหภูมิ	Fluid density			Pressure gradient
	(°C)	g/cm ³	lb/gal	lb/ft ³	lb/in ² /1000ft
1	30	1.098	9.14	68.48	475.58
2	60	1.095	9.12	68.33	474.50
3	90	1.092	9.10	68.14	473.20
4	30	1.108	9.23	69.12	480.02
5	30	1.119	9.32	69.79	484.68
6	30	1.131	9.42	70.57	490.10
7	60	1.105	9.20	68.95	478.83
8	60	1.117	9.30	69.67	483.81
9	60	1.130	9.41	70.51	489.66
10	90	1.103	9.19	68.83	477.96
11	90	1.114	9.28	69.48	482.51
12	90	1.127	9.39	70.32	488.36
13	30	1.104	9.20	68.89	478.40
14	30	1.118	9.31	69.73	484.25
15	30	1.137	9.47	70.92	492.48
16	30	1.107	9.22	69.08	479.70
17	30	1.119	9.32	69.83	484.90
18	30	1.127	9.39	70.32	488.36
19	30	1.106	9.21	69.01	479.26
20	30	1.116	9.30	69.64	483.60
21	30	1.128	9.40	70.39	488.80
22	30	1.103	9.19	68.83	477.96
23	30	1.106	9.21	69.01	479.26

ตารางที่ ข.3.1 ความหนาแน่นของน้ำโคลนชุดเจาะ (ต่อ)

No.	ความหนาแน่นของน้ำโคลนชุดเจาะ				
	อุณหภูมิ	Fluid density			Pressure gradient
	(°C)	g/cm ³	lb/gal	lb/ft ³	lb/in ² /1000ft
24	30	1.110	9.25	69.26	481.00
25	30	1.121	9.34	69.95	485.76
26	30	1.132	9.43	70.64	490.53
27	30	1.141	9.50	71.20	494.43
28	60	1.122	9.34	69.98	485.98
29	60	1.135	9.45	70.82	491.83
30	60	1.141	9.50	71.20	494.43
31	30	1.119	9.32	69.83	484.90
32	30	1.131	9.42	70.54	489.88
33	30	1.139	9.49	71.07	493.56
34	60	1.112	9.26	69.36	481.65
35	60	1.125	9.37	70.17	487.28
36	60	1.133	9.43	70.67	490.75
37	30	1.122	9.35	70.01	486.20
38	30	1.130	9.41	70.48	489.45
39	30	1.139	9.49	71.07	493.56
40	60	1.121	9.34	69.95	485.76
41	60	1.124	9.36	70.11	486.85
42	60	1.130	9.41	70.51	489.66
43	30	1.119	9.32	69.83	484.90
44	30	1.126	9.38	70.23	487.71
45	30	1.130	9.41	70.48	489.45
46	60	1.114	9.28	69.48	482.51
47	60	1.099	9.15	68.55	476.01
48	60	1.096	9.13	68.36	474.71

ตารางที่ ข.3.1 ความหนาแน่นของน้ำโคลนชุดเจาะ (ต่อ)

No.	ความหนาแน่นของน้ำโคลนชุดเจาะ				
	อุณหภูมิ	Fluid density			Pressure gradient
	(°C)	g/cm ³	lb/gal	lb/ft ³	lb/in ² /1000ft
49	30	1.116	9.30	69.64	483.60
50	30	1.127	9.39	70.32	488.36
51	30	1.139	9.48	71.04	493.35
52	60	1.106	9.21	69.01	479.26
53	60	1.115	9.29	69.58	483.16
54	60	1.125	9.37	70.17	487.28
55	90	1.118	9.31	69.76	484.46
56	90	1.111	9.25	69.33	481.43
57	90	1.144	9.53	71.35	495.51
58	30	1.112	9.26	69.36	481.65
59	30	1.120	9.33	69.86	485.11
60	30	1.132	9.43	70.64	490.53
61	60	1.103	9.19	68.83	477.96
62	60	1.109	9.24	69.20	480.56
63	60	1.128	9.39	70.36	488.58
64	90	1.099	9.15	68.58	476.23
65	90	1.108	9.23	69.14	480.13
66	90	1.111	9.25	69.33	481.43
67	30	1.115	9.29	69.58	483.16
68	30	1.122	9.34	69.98	485.98
69	30	1.130	9.41	70.51	489.66
70	60	1.102	9.18	68.73	477.31
71	60	1.120	9.33	69.89	485.33
72	60	1.127	9.39	70.32	488.36
73	90	1.099	9.15	68.55	476.01

ตารางที่ ข.3.1 ความหนาแน่นของน้ำโคลนชุดเจาะ (ต่อ)

No.	ความหนาแน่นของน้ำโคลนชุดเจาะ				
	อุณหภูมิ	Fluid density			Pressure gradient
	(°C)	g/cm ³	lb/gal	lb/ft ³	lb/in ² /1000ft
74	90	1.104	9.20	68.89	478.40
75	90	1.109	9.23	69.17	480.35
76	30	1.110	9.25	69.26	481.00
77	30	1.114	9.28	69.48	482.51
78	30	1.118	9.31	69.73	484.25
79	60	1.100	9.16	68.64	476.66
80	60	1.094	9.11	68.27	474.06
81	60	1.086	9.05	67.77	470.60
82	90	1.098	9.15	68.52	475.80
83	90	1.084	9.03	67.61	469.51
84	90	1.081	9.00	67.45	468.43

ผลจากเครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง

ตารางที่ ข.4.1 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนชุดเจาะ

No.	ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)			ค่าเฉลี่ย
		#1	#2	#3	
1	Mud	9.98	9.94	9.95	9.95
	Mud filtrate	9.77	9.70	9.705	9.72
2	Mud	9.78	9.75	9.75	9.76
	Mud filtrate	9.62	9.61	9.61	9.61
3	Mud	9.50	9.52	9.52	9.51
	Mud filtrate	9.38	9.37	9.36	9.37
4	Mud	10.91	10.86	10.87	10.88
	Mud filtrate	10.60	10.63	10.61	10.61
5	Mud	11.45	11.48	11.46	11.46
	Mud filtrate	11.60	11.60	11.59	11.60
6	Mud	11.35	11.40	11.66	11.47
	Mud filtrate	11.69	11.69	11.66	11.68
7	Mud	10.59	10.61	10.73	10.64
	Mud filtrate	10.85	10.72	10.72	10.76
8	Mud	11.13	11.21	11.29	11.21
	Mud filtrate	11.68	11.66	11.67	11.67
9	Mud	11.30	11.37	11.41	11.36
	Mud filtrate	11.60	11.61	11.61	11.61
10	Mud	10.30	10.42	10.48	10.40
	Mud filtrate	10.90	10.90	10.91	10.90
11	Mud	10.97	11.10	11.18	11.08
	Mud filtrate	11.43	11.43	11.45	11.44
12	Mud	11.15	11.16	11.32	11.21
	Mud filtrate	11.44	11.43	11.46	11.44

ตารางที่ ข.4.1 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนชุดเจาะ (ต่อ)

No.	ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)			ค่าเฉลี่ย
		#1	#2	#3	
13	Mud	9.90	9.93	9.92	9.92
	Mud filtrate	9.64	9.67	9.62	9.64
14	Mud	9.93	9.92	9.95	9.93
	Mud filtrate	9.69	9.67	9.65	9.67
15	Mud	9.99	9.95	9.94	9.96
	Mud filtrate	9.79	9.70	9.66	9.72
16	Mud	9.89	9.86	9.84	9.86
	Mud filtrate	9.69	9.70	9.71	9.70
17	Mud	9.88	9.80	9.81	9.83
	Mud filtrate	9.66	9.65	9.64	9.65
18	Mud	9.74	9.75	9.71	9.73
	Mud filtrate	9.63	9.60	9.57	9.60
19	Mud	10.31	10.15	10.12	10.19
	Mud filtrate	9.89	9.86	9.82	9.86
20	Mud	10.47	10.48	10.46	10.47
	Mud filtrate	10.08	10.06	10.09	10.08
21	Mud	10.87	10.84	10.88	10.86
	Mud filtrate	10.70	10.71	10.7	10.70
22	Mud	9.89	9.83	9.85	9.86
	Mud filtrate	9.74	9.67	9.71	9.71
23	Mud	9.82	9.79	9.78	9.80
	Mud filtrate	9.72	9.66	9.62	9.67
24	Mud	9.72	9.72	9.7	9.71
	Mud filtrate	9.50	9.54	9.53	9.52
25	Mud	11.52	11.53	11.56	11.54
	Mud filtrate	11.64	11.64	11.65	11.64

ตารางที่ ข.4.1 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนชุดเจาะ (ต่อ)

No.	ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)			ค่าเฉลี่ย
		#1	#2	#3	
26	Mud	11.46	11.48	11.47	11.47
	Mud filtrate	11.62	11.64	11.63	11.63
27	Mud	11.47	11.44	11.46	11.46
	Mud filtrate	11.58	11.61	11.63	11.61
28	Mud	11.22	11.33	11.39	11.31
	Mud filtrate	11.62	11.66	11.68	11.65
29	Mud	11.12	11.17	11.25	11.18
	Mud filtrate	11.45	11.50	11.55	11.50
30	Mud	10.87	10.95	11.00	10.94
	Mud filtrate	11.40	11.43	11.45	11.43
31	Mud	11.20	11.31	11.31	11.27
	Mud filtrate	11.30	11.37	11.36	11.34
32	Mud	11.06	11.07	11.12	11.08
	Mud filtrate	11.19	11.23	11.23	11.22
33	Mud	10.70	10.73	10.81	10.75
	Mud filtrate	11.16	11.18	11.19	11.18
34	Mud	10.82	10.88	10.94	10.88
	Mud filtrate	11.32	11.35	11.34	11.34
35	Mud	10.78	10.87	10.94	10.86
	Mud filtrate	11.25	11.28	11.27	11.27
36	Mud	10.59	10.65	10.71	10.65
	Mud filtrate	11.14	11.18	11.16	11.16
37	Mud	11.53	11.51	11.53	11.52
	Mud filtrate	11.67	11.68	11.68	11.68
38	Mud	11.52	11.52	11.50	11.51
	Mud filtrate	11.64	11.71	11.69	11.68

ตารางที่ ข.4.1 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนชุดเจาะ (ต่อ)

No.	ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)			ค่าเฉลี่ย
		#1	#2	#3	
39	Mud	11.49	11.52	11.5	11.50
	Mud filtrate	11.60	11.67	11.72	11.66
40	Mud	11.19	11.19	11.20	11.19
	Mud filtrate	11.43	11.46	11.50	11.46
41	Mud	11.08	11.12	11.14	11.11
	Mud filtrate	11.38	11.44	11.44	11.42
42	Mud	11.00	11.08	11.12	11.07
	Mud filtrate	11.43	11.48	11.53	11.48
43	Mud	11.26	11.25	11.28	11.26
	Mud filtrate	11.40	11.47	11.48	11.45
44	Mud	11.17	11.26	11.24	11.22
	Mud filtrate	11.32	11.35	11.32	11.33
45	Mud	11.19	11.20	11.22	11.20
	Mud filtrate	11.30	11.32	11.32	11.31
46	Mud	10.86	10.86	10.95	10.89
	Mud filtrate	11.36	11.42	11.43	11.40
47	Mud	10.68	10.65	10.74	10.69
	Mud filtrate	11.23	11.17	11.24	11.21
48	Mud	10.67	10.66	10.65	10.66
	Mud filtrate	11.35	11.03	10.86	11.08
49	Mud	11.00	10.98	10.98	10.99
	Mud filtrate	10.93	10.95	10.92	10.93
50	Mud	11.06	11.03	11.05	11.05
	Mud filtrate	10.98	10.99	11.00	10.99
51	Mud	11.01	11.04	11.04	11.03
	Mud filtrate	10.71	10.99	10.42	10.71

ตารางที่ ข.4.1 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนชุดเจาะ (ต่อ)

No.	ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)			ค่าเฉลี่ย
		#1	#2	#3	
52	Mud	10.30	10.72	10.36	10.46
	Mud filtrate	10.37	10.69	10.29	10.45
53	Mud	10.42	10.42	10.56	10.47
	Mud filtrate	10.84	10.84	10.87	10.85
54	Mud	10.28	10.32	10.39	10.33
	Mud filtrate	10.78	10.77	10.76	10.77
55	Mud	10.32	10.30	10.38	10.33
	Mud filtrate	10.88	10.92	10.92	10.91
56	Mud	10.25	10.34	10.44	10.34
	Mud filtrate	10.98	10.89	10.91	10.93
57	Mud	10.46	10.55	10.51	10.51
	Mud filtrate	10.96	10.92	10.94	10.94
58	Mud	10.82	10.77	10.82	10.80
	Mud filtrate	10.90	10.91	10.96	10.92
59	Mud	10.69	10.72	10.79	10.73
	Mud filtrate	10.54	10.54	10.66	10.58
60	Mud	10.66	10.55	10.59	10.60
	Mud filtrate	10.52	10.51	10.51	10.51
61	Mud	10.43	10.47	10.41	10.44
	Mud filtrate	10.88	10.84	10.81	10.84
62	Mud	10.14	10.11	10.14	10.13
	Mud filtrate	10.43	10.42	10.42	10.42
63	Mud	9.87	9.87	9.99	9.91
	Mud filtrate	10.11	10.08	10.07	10.09

ตารางที่ ข.4.1 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนชุดเจาะ (ต่อ)

No.	ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)			ค่าเฉลี่ย
		#1	#2	#3	
64	Mud	10.16	10.40	10.50	10.35
	Mud filtrate	10.76	10.84	10.78	10.79
65	Mud	9.95	10.07	10.12	10.05
	Mud filtrate	10.34	10.36	10.35	10.35
66	Mud	9.63	9.69	9.79	9.70
	Mud filtrate	9.98	9.97	9.98	9.98
67	Mud	10.98	10.94	10.97	10.96
	Mud filtrate	10.86	10.83	10.85	10.85
68	Mud	11.11	11.23	11.25	11.20
	Mud filtrate	11.30	11.31	11.30	11.30
69	Mud	11.34	11.34	11.36	11.35
	Mud filtrate	11.45	11.50	11.49	11.48
70	Mud	10.48	10.45	10.49	10.47
	Mud filtrate	10.76	10.77	10.80	10.78
71	Mud	11.04	11.05	11.18	11.09
	Mud filtrate	11.20	11.22	11.24	11.22
72	Mud	11.13	11.17	11.10	11.13
	Mud filtrate	11.29	11.33	11.38	11.33
73	Mud	10.42	10.43	10.44	10.43
	Mud filtrate	11.11	11.13	11.11	11.12
74	Mud	10.56	10.65	10.79	10.67
	Mud filtrate	11.21	11.26	11.26	11.24
75	Mud	10.61	10.75	10.67	10.68
	Mud filtrate	11.25	11.32	11.30	11.29

ตารางที่ ข.4.1 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนชุดเจาะ (ต่อ)

No.	ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)			ค่าเฉลี่ย
		#1	#2	#3	
76	Mud	10.81	10.86	10.90	10.86
	Mud filtrate	10.60	10.56	10.55	10.57
77	Mud	10.60	10.61	10.60	10.60
	Mud filtrate	10.46	10.49	10.47	10.47
78	Mud	10.52	10.50	10.55	10.52
	Mud filtrate	10.45	10.41	10.39	10.42
79	Mud	10.33	10.40	10.43	10.39
	Mud filtrate	10.49	10.56	10.51	10.52
80	Mud	10.28	10.30	10.38	10.32
	Mud filtrate	10.38	10.42	10.33	10.38
81	Mud	9.17	9.16	9.17	9.17
	Mud filtrate	9.97	9.95	9.98	9.97
82	Mud	10.17	10.17	10.15	10.16
	Mud filtrate	10.49	10.50	10.49	10.49
83	Mud	10.11	10.18	10.24	10.18
	Mud filtrate	10.30	10.29	10.22	10.27
84	Mud	9.50	9.64	9.73	9.62
	Mud filtrate	9.92	9.82	9.82	9.85

Solid and sand contents data for all fluids tested.

ตารางที่ ข.5.1 ปริมาณของแข็งและทราย

No.	ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็ง		ค่าเฉลี่ยปริมาณทราย (%)
	น้ำ (ml)	ของแข็ง (%)	
1	49.0	7.6	0.50
2	48.0	7.5	0.58
3	48.0	7.4	0.58
4	48.0	9.9	1.25
5	47.0	10.9	1.50
6	48.0	11.4	2.00
7	47.5	9.5	1.25
8	46.0	10.8	1.50
9	39.0	11.2	2.00
10	45.0	9.0	1.25
11	48.5	10.7	1.50
12	45.5	10.8	2.00
13	48.0	8.1	0.50
14	48.0	8.3	0.75
15	47.5	8.9	0.50
16	47.0	8.7	1.50
17	47.0	9.0	5.00
18	46.5	9.8	10.00
19	45.5	9.8	0.75
20	45.0	10.3	1.00
21	39.5	10.9	1.50
22	48.0	8.3	0.83
23	47.5	8.5	0.50
24	47.0	8.9	0.50
25	47.0	10.6	1.50

No.	ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็ง		ค่าเฉลี่ยปริมาณทราย (%)
	น้ำ (ml)	ของแข็ง (%)	
26	46.0	11.4	1.50
27	45.5	12.6	1.00
28	47.0	9.7	1.50
29	47.5	10.5	1.50
30	47.5	12.5	1.50
31	47.0	9.8	2.00
32	47.0	11.9	3.50
33	47.5	12.0	7.50
34	47.0	9.6	2.00
35	46.5	10.1	5.00
36	45.5	11.8	8.00
37	47.0	10.8	1.00
38	46.0	11.8	1.50
39	47.0	12.5	2.00
40	47.5	9.4	1.50
41	46.0	10.1	1.50
42	47.5	10.6	1.50
43	47.0	9.7	1.50
44	46.0	10.4	1.50
45	45.0	10.7	1.50
46	47.5	9.0	2.00
47	47.0	9.9	2.00
48	31.0	10.4	2.00

Solid and sand contents data for all fluids tested.

Table A113 Solid and sand contents all drilling mud.

No.	Average solid content		Average sand content (%)
	Water (ml)	Solid (%)	
1	49.0	7.6	0.50
2	48.0	7.5	0.58
3	48.0	7.4	0.58
4	48.0	9.9	1.25
5	47.0	10.9	1.50
6	48.0	11.4	2.00
7	47.5	9.5	1.25
8	46.0	10.8	1.50
9	39.0	11.2	2.00
10	45.0	9.0	1.25
11	48.5	10.7	1.50
12	45.5	10.8	2.00
13	48.0	8.1	0.50
14	48.0	8.3	0.75
15	47.5	8.9	0.50
16	47.0	8.7	1.50
17	47.0	9.0	5.00
18	46.5	9.8	10.00
19	45.5	9.8	0.75
20	45.0	10.3	1.00
21	39.5	10.9	1.50
22	48.0	8.3	0.83
23	47.5	8.5	0.50
24	47.0	8.9	0.50
25	47.0	10.6	1.50
26	46.0	11.4	1.50
27	45.5	12.6	1.00
28	47.0	9.7	1.50
29	47.5	10.5	1.50
30	47.5	12.5	1.50
31	47.0	9.8	2.00
32	47.0	11.9	3.50

Table A113 Solid and sand contents all drilling mud (continued).

No.	Average solid content		Average sand content
	Water (ml)	Solid (%)	
33	47.5	12.0	7.50
34	47.0	9.6	2.00
35	46.5	10.1	5.00
36	45.5	11.8	8.00
37	47.0	10.8	1.00
38	46.0	11.8	1.50
39	47.0	12.5	2.00
40	47.5	9.4	1.50
41	46.0	10.1	1.50
42	47.5	10.6	1.50
43	47.0	9.7	1.50
44	46.0	10.4	1.50
45	45.0	10.7	1.50
46	47.5	9.0	2.00
47	47.0	9.9	2.00
48	31.0	10.4	2.00

ประวัตินักวิจัย

นางบัณฑิตา ชีระกุลสถิตย์ เกิดวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2518 ที่จังหวัดนครพนม ได้สำเร็จปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และชั้นปริญญาเอก สาขาวิชาธรณีวิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา