



รายงานการวิจัย

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเบนโทไนด์ในท้องถิ่นประเทศไทยกับ
เบนโทไนด์นำเข้าในน้ำโคลนขุดเจาะ
(Comparative Efficiency of Thai Local Bentonite to Imported Bentonite
in Drilling Fluid)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเบนโทไนด์ในท้องถิ่นประเทศไทยกับ
เบนโทไนด์นำเข้าในน้ำโคลนขุดเจาะ
(Comparative Efficiency of Thai Local Bentonite to Imported Bentonite
in Drilling Fluid)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิตา ชีระกุลสถิตย์

สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2559

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการอุดหนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีประจำปีงบประมาณ 2558 ผู้ทำวิจัยต้องขอขอบคุณการสนับสนุนจากบริษัทไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด และ บริษัท แอมคอล อินเตอร์เนชั่นแนล (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลืออย่างยิ่ง รวมถึงให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลและตัวอย่างเบนโทไนด์ การวิเคราะห์ทั้งหมดจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้หากขาดบุคลากรฝ่ายวิเคราะห์ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่คอยให้ความรู้และการฝึกการอบรมในการใช้เครื่องมือต่างๆ เป็นอย่างดี อันได้แก่ คุณศุภราภรณ์ สกุลภักดี คุณคมสันต์ ต่ายทรัพย์ และคุณยูธิกา สร้อยระย้า และบุคคลอื่นๆที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัย

กันยายน 2559

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

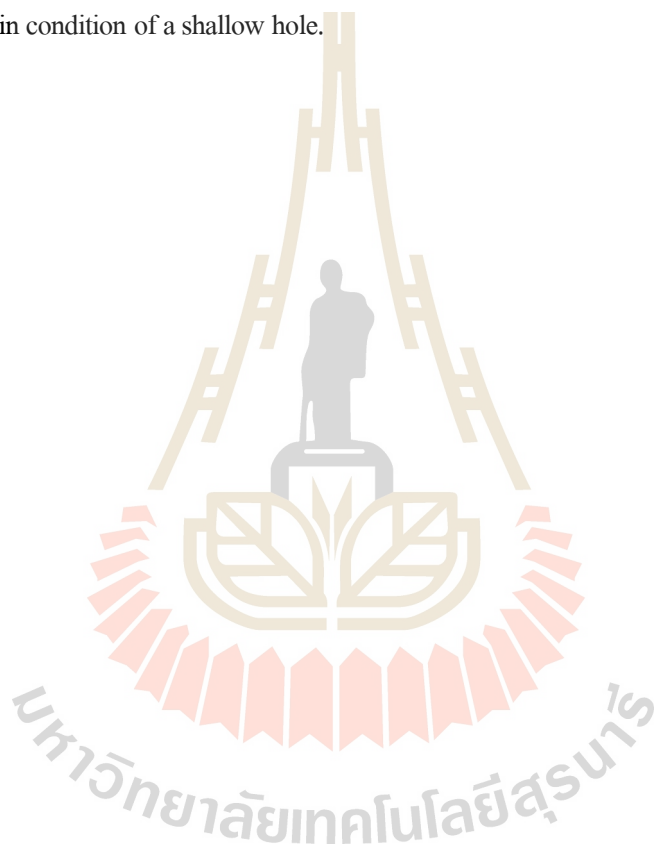
วัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้คือเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพน้ำโคลนขุดเจาะผสมด้วยเบนโทไนด์จากประเทศไทย ประกอบด้วย ลพบุรี สระบุรี และกาญจนบุรี กับเบนโทไนด์นำเข้าจากต่างประเทศ ประกอบด้วย สหรัฐอเมริกา อินโดนีเซีย อินเดีย และจีน ซึ่งได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำโคลนที่ผสมด้วยเบนโทไนด์ในแต่ละแหล่ง โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 องศาเซลเซียส การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเบนโทไนด์และน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนด์ในแต่ละแหล่ง ได้หาค่าองค์ประกอบของธาตุและแร่โดยใช้เครื่องมือเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) และเครื่องมือเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD) ตามลำดับ ผลของการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าธาตุประกอบหลักของเบนโทไนด์ ส่วนใหญ่ประกอบด้วย MgO, Al₂O₃, SiO₂, CaO และ Fe₂O₃ ซึ่งธาตุเหล่านี้สัมพันธ์กับแร่ประกอบ โดยแร่ประกอบหลักของเบนโทไนด์สหรัฐอเมริกา ประกอบด้วยแร่ไมโครไคลน์ เคโอลิไนต์ ทัลก์ และซิลิกา จากผลการเปรียบเทียบแสดงถึงแร่ประกอบของเบนโทไนด์จากประเทศไทยมีความคล้ายคลึงกับเบนโทไนด์นำเข้า โดยที่เบนโทไนด์ลพบุรีและอินเดีย ประกอบด้วยแร่ทัลก์และเคโอลิไนต์ เบนโทไนด์สระบุรีและจีน ประกอบด้วยแร่ซิลิกาและไมโครไคลน์ และเบนโทไนด์กาญจนบุรีและอินโดนีเซีย ประกอบด้วยแร่ไมโครไคลน์และทัลก์ ซึ่งส่วนประกอบเคมีนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของส่วนผสมของเบนโทไนด์และแบไรต์ จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างและรูปร่างของผลึกโดยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างมีความขรุขระ มีการจับตัวกันแน่นของส่วนประกอบ อุณหภูมิไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของธาตุและแร่ประกอบ และโครงสร้างและรูปร่างของผลึก การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ โดยใช้วิธีการศึกษาคุณสมบัติทางวิทยากระแสของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมด้วยเบนโทไนด์แต่ละแหล่ง ตามแบบจำลองบิงแฮมและเพาเวอร์ลอว์ การทดสอบการซึมผ่าน ความหนาแน่น ความเป็นกรด-ด่าง ความต้านทานไฟฟ้า ปริมาณของแข็ง และปริมาณทราย โดยได้ทำการทดสอบตามขั้นตอนมาตรฐาน API RP 13B-1 จากผลการทดสอบความหนืดปรากฏ จุดคราก และความแข็งของเจลมีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ความหนืดพลาสติก มีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการซึมผ่าน อยู่ในช่วง 13.5 ถึง 195 มิลลิลิตร โดยค่าปริมาณการสูญเสียในน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนด์จากทุกแหล่งมีความคล้ายคลึงกันคือ มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ซึ่งพบว่าเบนโทไนด์สหรัฐอเมริกา มีปริมาณการสูญเสียที่ต่ำที่สุดซึ่งมีค่าต่ำ

กว่าเบนโทไนด์อินโดนีเซีย อินเดีย ลพบุรี กาญจนบุรี สระบุรี และจีน ตามลำดับ ในส่วนของความหนาแน่นโคลนมีค่าอยู่ระหว่าง 1.96 ถึง 6.7 มิลลิเมตร ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณการสูญเสียของน้ำโคลน ผลของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนด์จากประเทศไทยมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าเบนโทไนด์นำเข้าเล็กน้อย ซึ่งประกอบด้วย ค่าความหนาแน่น (1.06 ถึง 1.10 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (7.48 ถึง 9.95) ปริมาณของแข็ง (ร้อยละ 2 ถึง 10) ปริมาณทราย (ร้อยละ 0.2 ถึง 0.58) และค่าความต้านทานไฟฟ้า (4.43 ถึง 18.29 โอห์ม-เมตร) จากผลการวิเคราะห์พบว่าน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมด้วยเบนโทไนด์ลพบุรี เหมาะสำหรับการนำมาใช้ในการป้องกันการสูญเสียน้ำได้ แต่เบนโทไนด์กาญจนบุรีและสระบุรี ไม่เหมาะแก่การนำไปใช้ในคุณสมบัตินี้ การเปรียบเทียบราคาของเบนโทไนด์ พบว่าเบนโทไนด์ของประเทศไทยสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าเบนโทไนด์จากต่างประเทศได้ แต่คุณภาพและประสิทธิภาพอาจไม่เทียบเท่ากับเบนโทไนด์ของสหรัฐอเมริกา โดยคุณสมบัติของเบนโทไนด์ของจังหวัดลพบุรีใกล้เคียงกับเบนโทไนด์ของประเทศอินเดีย อย่างไรก็ตามเบนโทไนด์สระบุรี ลพบุรี และกาญจนบุรีสามารถใช้ทดแทนเบนโทไนด์จากต่างประเทศได้ โดยเฉพาะในสถานะของหลุมที่ไม่ลึกมาก

Abstract

The purpose of this study is to study and compare an efficiency of drilling mud mixed with bentonite from Thailand including Lopburi, Saraburi, and Kanchanaburi to imported bentonite including United State of America, China, Indonesia and India, which investigate the physical and chemical properties of drilling mud mixed with each bentonite at 30, 60 and 90°C. The chemical properties of bentonite and drilling mud are determined the elemental and mineral composition by X-ray fluorescence (XRF) and X-ray diffraction (XRD), respectively. Result of chemical experiment shows the elemental composition mainly consisting of MgO, Al₂O₃, SiO₂, CaO and Fe₂O₃. These elements involve with mineral composition of each bentonite. Mineral composition of America bentonite mainly comprise microcline, kaolinite, talc, and silica, respectively. Comparison of mineral analysis represents that bentonite from Thailand is similar to the imported bentonite, which Lopburi and India has talc and kaolinite, Saraburi and China has silica and microcline, and Kanchanaburi and Indonesia has microcline and talc. These chemical compositions depend on content of bentonite and barite. Crystal structure and morphologies are analyzed by scanning electron microscope (SEM), showing a roughly, tightly packed from the composition. The temperature is not effect to the variation of elemental and mineral compositions, and crystal structure and morphology. The physical property is analyzed by the rheological properties testing on Bingham and Power Law model, filtration, density, pH, resistivity, solid and sand content according to API RP 13B-1 standard. Result of the apparent viscosity, yield point and gel strength of drilling mud mixed with all bentonite have increased as temperature rise, while the plastic viscosity slightly decrease as increasing temperature. The filtration ranges from 13.5 to 195 ml, which the filtration loss of drilling mud mixed with all bentonite are similar values that high as rising temperature. The filtration loss of America bentonite is best efficiency, which value is lower than Indonesia, India, Lopburi, Saraburi, Kanchanburi and China, respectively. Mud cake thickness ranges from 1.96 to 6.7 ml, which directly relates to the filtration loss. Result of drilling mud mixed with bentonite from Thailand is slightly lower efficiency than the imported bentonite including density (1.06 to 1.10 g/cm³), pH (7.48 to 9.95), solid content (2.0 to 10%), sand content (0.2 to 0.58%), and resistivity

(4.43 to 18.29 Ω .m). In conclusion, drilling mud mixed with Lopburi bentonite is suitable for utilization of filtration loss control, but Kanchanaburi and Sarburi are unqualified for this property. The comparative price of bentonite represented that the bentonite from Thailand could be reducing cost of imported bentonite from aboard. However, the quality and performance could not be comparable to USA bentonite. The property of Lopburi bentonite is nearby the bentonite from India. However, bentonite from Saraburi, Lopburi and Kanchanaburi could be instead of bentonite from aboard, which appropriate use in condition of a shallow hole.



สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของการทำวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตโครงการวิจัย.....	2
1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย.....	3
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล.....	5
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
บทที่ 3 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์	
3.1 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์.....	24
3.1.1 การเตรียมตัวอย่างวิเคราะห์ทางเคมีของเบนโทไนต์และน้ำโคลนขุดเจาะ.....	25
3.1.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเบนโทไนต์และน้ำโคลนขุดเจาะ.....	26
3.2 เครื่องมือและการวิเคราะห์.....	26
3.2.1 เครื่องวิเคราะห์เอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF).....	26
3.2.2 เครื่องวิเคราะห์เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกโตริมิเตอร์ (XRD).....	27
3.2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	28
3.2.4 เครื่องวิเคราะห์ความหนืด (Viscometer).....	29
3.2.5 เครื่องวิเคราะห์การซึมผ่าน (Filter press).....	30
3.2.6 เครื่องวิเคราะห์ความหนาแน่น (Mud balance).....	31
3.2.7 เครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH meter).....	32
3.2.8 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง (Solid content).....	33

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.9	เครื่องวิเคราะห์ปริมาณทราย (Sand content).....	33
3.2.10	เครื่องวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity meter)	34
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์และการอภิปรายผล		
4.1	ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์	36
4.1.1	ผลการวิเคราะห์ก่อนการผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ	36
4.1.2	ผลการวิเคราะห์หลังการผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ	40
4.2	ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตรมิเตอร์	44
4.2.1	ผลการวิเคราะห์ก่อนและหลังการผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ	44
4.3	ผลการวิเคราะห์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	52
4.3.1	ผลการวิเคราะห์ก่อนการผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ	52
4.3.2	ผลการวิเคราะห์หลังการผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ	61
4.4	ผลการวิเคราะห์จากเครื่องมือปฏิบัติการการขุดเจาะ	66
4.4.1	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านวิทยากระแสน้ำโคลนขุดเจาะ	66
4.4.2	พฤติกรรมทางด้านวิทยากระแสน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์	77
4.4.3	ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของน้ำโคลนขุดเจาะ	83
4.4.4	ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของน้ำโคลนขุดเจาะ	89
4.4.5	ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนขุดเจาะ	91
4.4.6	ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งของน้ำโคลนขุดเจาะ	94
4.4.7	ผลการวิเคราะห์ปริมาณทรายของน้ำโคลนขุดเจาะ	95
4.4.8	ผลการวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้าของน้ำโคลนขุดเจาะ	97
4.5	ผลการประเมินราคาเบนโทไนต์ของแต่ละแหล่ง	101
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ		
5.1	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ผลของอุณหภูมิของน้ำโคลนขุดเจาะ	102
5.2	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ผลของอุณหภูมิของน้ำโคลนขุดเจาะ	104
5.3	ผลการวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้าของน้ำโคลนขุดเจาะ	106

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.4	ข้อเสนอแนะ	107
บรรณานุกรม		108
ภาคผนวก		
ภาคผนวก ก	ผลการทดลองและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี	110
ก.1	ผลจากเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟคโตริเมตร	110
ภาคผนวก ข	ผลการทดลองและวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ.....	139
ข.1	ผลจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืด.....	139
ข.2	ผลจากเครื่องวิเคราะห์การซึมผ่าน	150
ข.3	ผลจากเครื่องวิเคราะห์ความหนาแน่น.....	154
ข.4	ผลจากเครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง	155
ข.5	ผลจากเครื่องวิเคราะห์ปริมาณของแข็งและทราย.....	157
ข.6	ผลจากเครื่องวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้า	158
ประวัตินักวิจัย	164

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	คุณสมบัติของการดูดซับของดินเหนียวชนิดต่างๆ	10
ตารางที่ 2.2	คุณลักษณะของแร่เบนโทไนต์ ตามมาตรฐานของสถาบันปิโตรเลียมอเมริกัน	11
ตารางที่ 2.3	คุณลักษณะของแร่เบนโทไนต์ ตามมาตรฐานของสมาคมจัดหาปัจจัยเพื่อ อุตสาหกรรมน้ำมัน	12
ตารางที่ 2.4	คุณลักษณะของเบนโทไนต์ สำหรับทำโคลนเจาะ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรมประเทศไทย	12
ตารางที่ 2.5	ราคาของสารเคมี	13
ตารางที่ 2.6	ชนิดของน้ำโคลน โดยมีน้ำเป็นส่วนผสมหลัก.....	16
ตารางที่ 2.7	คุณสมบัติทางกายภาพของชนิดของน้ำโคลนต่างๆ.....	18
ตารางที่ 2.8	หน้าที่และคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำโคลนที่ใช้สำหรับขุดเจาะน้ำมัน	20
ตารางที่ 3.1	ส่วนประกอบของน้ำโคลนที่ใช้ในการทดสอบ	24
ตารางที่ 4.1	แสดงปริมาณร้อยละธาตุองค์ประกอบที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ ในตัวอย่างก่อนการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ	38
ตารางที่ 4.2	ปริมาณร้อยละของธาตุองค์ประกอบที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ ในตัวอย่างหลังการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ	41
ตารางที่ 4.3	ปริมาณร้อยละแรงค์ประกอบในตัวอย่างก่อนการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ	45
ตารางที่ 4.4	ปริมาณร้อยละแรงค์ประกอบในตัวอย่างหลังการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ	49
ตารางที่ 4.5	ผลของความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือนของน้ำโคลนขุดเจาะ.....	67
ตารางที่ 4.6	พารามิเตอร์ด้านวิทยากระแสของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเบนโทไนต์แต่ละแหล่ง	74
ตารางที่ 4.7	แสดงการเปรียบเทียบราคาเบนโทไนต์แต่ละแหล่ง	101

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	โครงสร้างของแร่ดินเหนียวมอนทอมอริลโลไนต์	9
รูปที่ 2.2	ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของน้ำโคลนสำหรับดินเหนียวจากแหล่งต่างๆ	18
รูปที่ 3.1	เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วย X-ray Fluorescence Horiba (ED)	27
รูปที่ 3.2	เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยวิธีการหักเหแสง Bruker (D2 Phaser)	28
รูปที่ 3.3	เครื่องวิเคราะห์ขนาด รูปร่าง และการกระจายตัว JEOL (JSM-6010LV)	29
รูปที่ 3.4	เครื่องวิเคราะห์ความหนืด จุดคราก และ gel strength fann (35SA 115-Volt)	30
รูปที่ 3.5	เครื่องวิเคราะห์การซึมผ่าน fann (SERIES 300)	31
รูปที่ 3.6	เครื่องวิเคราะห์ความหนาแน่น	32
รูปที่ 3.7	เครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง OAKTON (pH 700)	32
รูปที่ 3.8	เครื่องวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง fann (MODEL 50 ml)	33
รูปที่ 3.9	เครื่องวิเคราะห์ปริมาณทราย fann	34
รูปที่ 3.10	เครื่องวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้า fann (88C)	35
รูปที่ 4.1	ภาพแสดงปริมาณร้อยละของธาตุองค์ประกอบเฉลี่ยในตัวอย่างก่อนการผสม น้ำโคลนชุดเจาะ	39
รูปที่ 4.2	ภาพแสดงปริมาณร้อยละของธาตุองค์ประกอบเฉลี่ยในตัวอย่างหลังการผสม น้ำโคลนชุดเจาะ	43
รูปที่ 4.3	ภาพแสดงปริมาณแรงค์ประกอบในตัวอย่างก่อนการผสมน้ำโคลนชุดเจาะ	47
รูปที่ 4.4	ภาพแสดงปริมาณร้อยละแรงค์ประกอบเฉลี่ยในตัวอย่างหลังการผสม น้ำโคลนชุดเจาะ	51
รูปที่ 4.5	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของแบไรต์ก่อนการผสม (ก)-(ข) แสดงถึงขนาดของแบไรต์และการกระจายตัว และ (ค) แสดงลักษณะพื้นผิว ของแบไรต์ที่เป็นเหลี่ยมและเศษชิ้นที่เรียวยาวแหลม	53

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.6	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของเบนโทไนต์ของประเทศ สหรัฐอเมริกา ก่อนการผสมในน้ำโคลนขุดเจาะ (ก) แสดงถึงขนาดของเบนโทไนต์และ การกระจายตัว และ (ข) แสดงลักษณะพื้นผิวของเบนโทไนต์ที่เป็นเหลี่ยมมน 54	54
รูปที่ 4.7	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของเบนโทไนต์อินโดนีเซีย ก่อนการผสมในน้ำโคลนขุดเจาะ (ก) แสดงถึงขนาดของเบนโทไนต์และ การกระจายตัว และ (ข) แสดงลักษณะพื้นผิวของเบนโทไนต์ที่เป็นเหลี่ยมมน 55	55
รูปที่ 4.8	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของเบนโทไนต์อินเดีย ก่อนการผสมในน้ำโคลนขุดเจาะ (ก) แสดงถึงขนาดของเบนโทไนต์และ การกระจายตัว (ข) แสดงลักษณะพื้นผิวของเบนโทไนต์ที่เป็นเหลี่ยมมน 56	56
รูปที่ 4.9	ลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของเบนโทไนต์จีน ก่อนการผสมในน้ำโคลนขุดเจาะ (ก) แสดงถึงขนาดของเบนโทไนต์และ การกระจายตัว (ข) แสดงลักษณะพื้นผิวของเบนโทไนต์ที่เป็นเหลี่ยมมน 57	57
รูปที่ 4.10	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของเบนโทไนต์สระบุรี ก่อนการผสมในน้ำโคลนขุดเจาะ (ก) แสดงถึงขนาดของเบนโทไนต์และ การกระจายตัว (ข) แสดงลักษณะพื้นผิวของเบนโทไนต์ที่เป็นเหลี่ยมมน 58	58
รูปที่ 4.11	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของเบนโทไนต์ลพบุรี ก่อนการผสมในน้ำโคลนขุดเจาะ (ก) แสดงถึงขนาดของเบนโทไนต์และ การกระจายตัว (ข) แสดงลักษณะพื้นผิวของเบนโทไนต์ที่เป็นเหลี่ยมมน 59	59
รูปที่ 4.12	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของเบนโทไนต์กาญจนบุรี ก่อนการผสมในน้ำโคลนขุดเจาะ (ก) แสดงถึงขนาดของเบนโทไนต์และ การกระจายตัว (ข) แสดงลักษณะพื้นผิวของเบนโทไนต์ที่เป็นเหลี่ยมมน 60	60
รูปที่ 4.13	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และ (ก) แสดงขนาดของตัวอย่างที่ 1 (Base) หลัง การผสม (ข) แสดงลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ 62	62
รูปที่ 4.14	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 4 (ตัวอย่างจากประเทศอินโดนีเซีย) หลังการผสม แสดงลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ เช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1 63	63

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.15	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 7 (ตัวอย่างจากประเทศอินเดีย) หลังการผสม แสดงลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ เช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1	63
รูปที่ 4.16	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 10 (ตัวอย่างจากประเทศจีน) หลังการผสม แสดงลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ เช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1	64
รูปที่ 4.17	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 13 (ตัวอย่างจากจังหวัดสระบุรี) หลังการผสม แสดงลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ เช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1	64
รูปที่ 4.18	แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 16 (ตัวอย่างจากจังหวัดลพบุรี) หลังการผสม แสดงลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ เช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1	65
รูปที่ 4.19	แสดงแสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 19 (ตัวอย่างจากจังหวัดกาญจนบุรี) หลังการผสม แสดงลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ เช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1	65
รูปที่ 4.20	พฤติกรรมการไหลของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกาพร้อมเส้นแนวโน้ม แบบเส้นตรง	68
รูปที่ 4.21	พฤติกรรมการไหลของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกาพร้อมเส้นแนวโน้ม แบบยกกำลัง	68
รูปที่ 4.22	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C	70
รูปที่ 4.23	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์อินโดนีเซีย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C	71
รูปที่ 4.24	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์อินเดีย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C	71

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.25	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์จีน ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C	72
รูปที่ 4.26	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์สระบุรี ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C	72
รูปที่ 4.27	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์ลพบุรี ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C	73
รูปที่ 4.28	ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์กาญจนบุรี ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C	73
รูปที่ 4.29	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) กับอุณหภูมิ	78
รูปที่ 4.30	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดพลาสติก (Plastic viscosity) กับอุณหภูมิ	79
รูปที่ 4.31	ความสัมพันธ์ระหว่างจุดคราก (Yield point) กับอุณหภูมิ	80
รูปที่ 4.32	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของเจลเริ่มต้น (Initial gel strength) กับ อุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลน	81
รูปที่ 4.33	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของเจลที่เวลา 10 นาที (10 minutes gel strength) กับ อุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลน	82
รูปที่ 4.34	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์สหรัฐอเมริกา ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C	84
รูปที่ 4.35	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์อินโดนีเซีย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C	84
รูปที่ 4.36	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์อินเดีย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C	85
รูปที่ 4.37	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์จีน ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C	85
รูปที่ 4.38	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์สระบุรี ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C	86

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

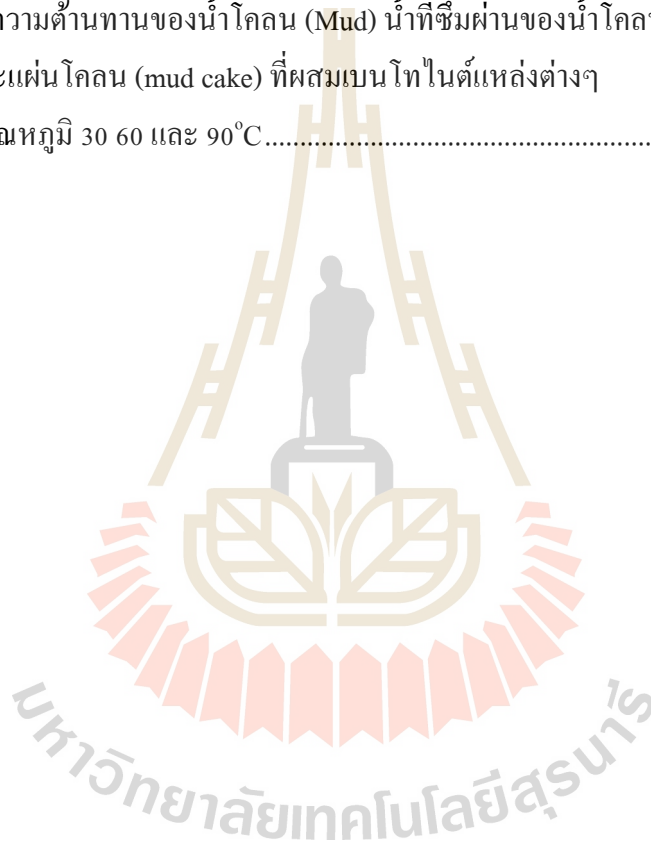
รูปที่ 4.39	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์ลพบุรี ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C.....	86
รูปที่ 4.40	ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์กาญจนบุรี ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C.....	87
รูปที่ 4.41	ปริมาณการสูญเสียในน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จากแหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C.....	87
รูปที่ 4.42	ความหนาแน่นโคลน (Mud cake) ของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จากแหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C.....	89
รูปที่ 4.43	ค่าความหนาแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จากแหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C.....	90
รูปที่ 4.44	ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนผสมเบนโทไนต์แหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C.....	91
รูปที่ 4.45	ค่าความเป็นกรด-ด่าง Mud filtrate ของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์แหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C.....	92
รูปที่ 4.46	ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลน และ Mud filtrate ที่ผสมเบนโทไนต์แหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C.....	93
รูปที่ 4.47	ค่าปริมาณของแข็งของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์แหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C.....	95
รูปที่ 4.48	ค่าปริมาณของทรายของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์แหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C.....	96
รูปที่ 4.49	ค่าความต้านทานของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์แหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C.....	97
รูปที่ 4.50	ค่าความต้านทาน Mud filtrate ที่ผสมเบนโทไนต์แหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C.....	98

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.51 ค่าความต้านทานแผ่นโคลนที่ผสมเบนโทไนต์แหล่งต่างๆ
ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C..... 98

รูปที่ 4.52 ค่าความต้านทานของน้ำโคลน (Mud) น้ำที่ซึมผ่านของน้ำโคลน (Mud filtrate)
และแผ่นโคลน (mud cake) ที่ผสมเบนโทไนต์แหล่งต่างๆ
ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C..... 100



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการทำวิจัย

ในงานขุดเจาะสำรวจและผลิตปิโตรเลียมแบบหมุน (Rotary Drilling) สิ่งจำเป็นที่ต้องใช้ร่วมกับขุดเจาะ คือ น้ำโคลน (Mud or Drilling Fluid) ซึ่งส่วนประกอบสำคัญหลักของน้ำโคลนคือเบนโทไนต์ (Bentonite) และ น้ำ (Water) คุณสมบัติของเบนโทไนต์ มีสูตรทั่วไป $(\text{Na, Ca})_x(\text{Al, Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ โดยทั่วไปเบนโทไนต์ จัดเป็นดินที่เกิดจากการผุพังอยู่กับที่ของกลุ่มหินแก้วภูเขาไฟที่เปลี่ยนไปเป็นเนื้อดิน จัดอยู่ในกลุ่มแร่สมกไทต์ (Smectite) หรือแร่มอนท์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) เป็นองค์ประกอบหลัก มีส่วนประกอบรองลงมาคือ ซิลิกอน อะลูมินา เหล็ก แคลเซียม คอโคซ แมกนีเซียม และอื่นๆ (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2007) ลักษณะโครงสร้างของเบนโทไนต์ เป็นผลึกตาข่ายที่มีขนาดอนุภาคเล็กละเอียดมาก มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำแล้วจะสามารถพองตัวได้มาก 15-20 เท่าจากปริมาตรเดิม ทำให้น้ำโคลนมีความหนืดสูงและป้องกันการแพร่ผ่านของของไหลได้ดี ดังนั้นจึงนิยมเติมเบนโทไนต์ในน้ำโคลนเพื่อทำหน้าที่หล่อลื่นหัวเจาะ ไม่ทำให้เศษชิ้นหินที่เกิดจากการขุดเจาะตกตะกอนช่วยในการลอยตัวพุงก้านขุดเจาะ ลดการสูญเสียโคลน ควบคุมความดันใต้ผิวดินและรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะ โดยการนำเบนโทไนต์เพื่อมาใช้เป็นของไหลสำหรับขุดเจาะนั้นเป็นไปตามมาตรฐานของสถาบันปิโตรเลียมของสหรัฐอเมริกา (American Petroleum Institute bentonite specification, API) ซึ่งในการใช้เบนโทไนต์ในงานขุดเจาะปิโตรเลียมในประเทศไทย มีการนำเข้าเบนโทไนต์จากแหล่งผลิตแร่เบนโทไนต์จากทั่วโลก เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา เยอรมัน ญี่ปุ่น จีน อินโดนีเซีย อินเดีย เป็นต้น ซึ่งแต่ละแหล่งก็จะมีคุณสมบัติทางกายและเคมีแตกต่างกันออกไปขึ้นกับความต้องการ การนำไปใช้ประโยชน์ และราคาคินค้า ซึ่งการนำเข้าผลิตภัณฑ์ที่ราคาแพงเหล่านี้ส่งผลให้ประเทศไทยเสียดุลการค้าต่างประเทศอย่างมาก สำหรับแหล่งแร่เบนโทไนต์ในประเทศไทย จะพบมากในจังหวัดลพบุรี และ

กาญจนบุรี การใช้ประโยชน์จากแร่เบนโทไนต์นั้นมีการนำมาใช้งานในหลายๆ ด้าน อาทิเช่น การใช้เป็นสารฟอกสีหรือสารดูดซึม การใช้เป็นสารตัวเติม (Filler) เพื่อเพิ่มปริมาณเนื้อสาร หรือใช้ในการปรับความหนืดสำหรับอุตสาหกรรมสีและหมึกพิมพ์ สารดูดซับกลิ่นของเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์เลี้ยง ใช้ปรับปรุงคุณภาพดินสำหรับการเพาะปลูก เป็นต้น (Hosterman and Patterson, 1992) ในงานด้านสำรวจจุดเจาะปิโตรเลียมยังไม่มีการนำแร่เบนโทไนต์ในประเทศมาใช้แพร่หลายนัก แม้คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของแร่เบนโทไนต์ในประเทศไทยจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ API ดังนั้นในการทำวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาหาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเบนโทไนต์จากประเทศไทยกับเบนโทไนต์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ รวมถึงเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำโคลนที่ผสมด้วยแร่เบนโทไนต์จากแหล่งต่างๆ โดยดูผลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

งานวิจัยจะมุ่งไปที่การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำโคลนที่ผสมด้วยเบนโทไนต์จากแหล่งต่างๆ ในน้ำโคลนประเภทที่มีน้ำเป็นหลัก (Water-Based Mud) โดยวัตถุประสงค์ของการวิจัยประกอบด้วย

- 1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของของไหลจุดเจาะ โดยการเติมเบนโทไนต์จากประเทศไทยกับเบนโทไนต์นำเข้ามาจากต่างประเทศ
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาการใช้ประโยชน์และการปรับปรุงประสิทธิภาพของเบนโทไนต์ในประเทศไทยเพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติของของไหลจุดเจาะ โดยการผสมเบนโทไนต์จากประเทศไทย กับเบนโทไนต์นำเข้ามาจากต่างประเทศ
- 1.2.4 เพื่อช่วยลดต้นทุนในการนำเข้าเบนโทไนต์จากต่างประเทศ ในอุตสาหกรรมการสำรวจและผลิตปิโตรเลียม

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการนำเบนโทไนต์ของจังหวัดลพบุรี สระบุรี และกาญจนบุรี ซึ่งเป็นแหล่งเบนโทไนต์แหล่งใหญ่ในประเทศไทยมาใช้ในการเติมในน้ำโคลนจุดเจาะทดแทนเบนโทไนต์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา อินโดนีเซีย จีน สหภาพโซเวียตเดิม

และอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งมีราคาต้นทุนการนำเข้าสูง ในขั้นตอนของการทดสอบ เริ่มจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเบนโทไนต์จากลพบุรี สระบุรี และกาญจนบุรี และเบนโทไนต์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ โดยทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือเอกซเรย์ดิฟแฟกชัน (X-ray Diffraction, XRD) เพื่อหาชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียว เครื่องมือเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF) เพื่อหาปริมาณของธาตุองค์ประกอบ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM) เพื่อหารูปร่างลักษณะสัณฐานวัตถุในระดับจุลภาค ในการวิเคราะห์น้ำโคลนโดยการผสมน้ำโคลนโดยใช้น้ำเป็นส่วนผสมและทดสอบคุณสมบัติของน้ำโคลนตามมาตรฐานของ API RP 13B-1 1997 ได้แก่ การหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific density) ความหนาแน่น (Density) ความหนืด (Viscosity) ความต้านทาน (Resistivity) ปริมาณทราย (Sand Content) ปริมาณของแข็ง (Solid content) การแพร่ผ่านของชั้นหิน (Filtration) และความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นต้น ในการทดสอบยังศึกษาถึงผลของอุณหภูมิกับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำโคลนที่ทำการผสมเบนโทไนต์จากแหล่งต่างๆ และทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำโคลนเมื่อผสมเบนโทไนต์จากแหล่งต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบกับเบนโทไนต์มาตรฐานจากไวโอมิง ประเทศสหรัฐอเมริกา

1.4 ทฤษฎี สมบัติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

เบนโทไนต์ (Bentonite) มีสูตรทั่วไป $(\text{Na, Ca})_x (\text{Al, Mg})_2 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ คุณสมบัติโดยทั่วไปของดินเบนโทไนต์ จัดเป็นดินที่เกิดจากการผุพังอยู่กับที่ของกลุ่มหินแก้วภูเขาไฟที่เปลี่ยนไปเป็นเนื้อดิน จัดอยู่ในกลุ่มแร่สมกไทท์ (Smectite) หรือแร่มอนต์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite) เป็นองค์ประกอบหลัก มีส่วนประกอบรองลงมาคือ ซิลิคอน อะลูมินา เหล็ก แคลเซียม ควอร์ตซ์ แมกนีเซียม และอื่นๆ ลักษณะโครงสร้างของดินเบนโทไนต์ เป็นผลึกตาข่ายที่มีขนาดอนุภาคเล็กละเอียดมาก มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก ทำให้มีคุณสมบัติการดูดซับที่ดีและสามารถดูดน้ำไว้ได้มากซึ่งเป็นผลให้ดินมีลักษณะขยายตัว (Swell ability) หรือเกิดการพองตัวบวมเมื่ออุ้มน้ำไว้ได้มากๆ คล้ายกาว จึงจัดเป็นตัวเคลือบ เพิ่มความเหนียวและยึดเกาะระหว่างเม็ดตะกอนได้ดี จากองค์ประกอบนี้เองทำให้เบนโทไนต์มีสมบัติในการดูดซับที่ดี และสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้ อย่างไรก็ตาม สมบัติของเบนโทไนต์ ก็ยังแตกต่างกันไป ในเรื่องของความสามารถในการดูดซับและความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของมอนต์มอริลโลไนต์ ตัวอย่างเช่น มอนต์มอริลโลไนต์ที่มีไอออนโซเดียมแทนที่อยู่ในโครงสร้างเป็นปริมาณมาก จะมีสมบัติในการดูด

ชั้นน้ำและเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่าอนต์มอริลโลไนต์ที่มีไอออนแคลเซียมหรือโพแทสเซียมแทนที่ ดังนั้นเบนโทไนต์ที่มีการใช้งานมากในอุตสาหกรรม สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ คือ แคลเซียมเบนโทไนต์ และ โซเดียมเบนโทไนต์

แคลเซียมเบนโทไนต์ เหมาะสำหรับใช้เพื่อชีวิต (Calcium Bentonite Use for Life) ได้แก่ การใช้เพื่อการเกษตร ใช้เพื่อปรับปรุงดิน เพื่อเป็นฟิลเลอร์ของปุ๋ยเคมี เป็นธาตุอาหารเสริมในปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมี ใช้ป้องกันการรั่วซึมของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ บ่อเก็บน้ำการเกษตร มีคุณสมบัติในการดูดซับกลิ่นในฟาร์มปศุสัตว์ ปกป้องภัยต่อคนสัตว์และสิ่งแวดล้อม อัตราการขยายตัวเมื่อถูกน้ำ 1-5 เท่าของปริมาตรดินเดิม

โซเดียมเบนโทไนต์ เหมาะสำหรับใช้เพื่องานอุตสาหกรรม (Sodium Bentonite Use for Industrial) เป็นดินเบนโทไนต์ที่ผ่านกระบวนการทำปฏิกิริยากับเคมีได้แอคทีเวเตดเคลย์ (Activated Clays) เปลี่ยนจากแคลเซียมเป็นโซเดียมเบนโทไนต์ เหมาะสำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำที่ดี มีอัตราการขยายตัวสูงเมื่อถูกน้ำ (Swelling Index) 15-20 เท่า จากปริมาตรดินแห้ง ประโยชน์ของโซเดียมเบนโทไนต์ ตัวอย่างเช่น การทำโคลนเจาะต่างๆ โดยใช้ผสมกับน้ำเพื่อช่วยหล่อเลี้ยงหัวเจาะในการเจาะบ่อบาดาลหรือเจาะบ่อน้ำมัน การขจัดสีในน้ำมันอุตสาหกรรมฟอกสี การผลิตเครื่องสำอาง การขจัดคราบไขมันในบ่อบำบัดน้ำเสีย อุตสาหกรรมเซรามิก ใช้ผสมดินหรือคอนกรีตในการก่อสร้างเขื่อนหรือคลอง เพื่อป้องกันน้ำรั่วซึม ใช้ในอุตสาหกรรมหล่อเหล็ก ใช้ในการปรับความหนืดสำหรับอุตสาหกรรมสีและหมึกพิมพ์

ในอุตสาหกรรมการสำรวจและผลิตปิโตรเลียม การเติมเบนโทไนต์ในน้ำโคลนขุดเจาะ ซึ่งเบนโทไนต์มีลักษณะคล้ายปูนซีเมนต์ สีเทาๆ บรรจุเป็นถุง โดยการใช้งานจะนำมาผสมน้ำจืด หลังผสมน้ำก็จะมีลักษณะเหมือนน้ำโคลนหนืดๆ ที่สำคัญเบนโทไนต์จะต้องได้คุณสมบัติตามข้อกำหนดมาตรฐานของ API คือ ค่าความหนืดอ่านที่ 600 rpm อย่างน้อย 30 cP ค่าอัตราส่วนของ yield point กับ plastic viscosity (YP/PV) อย่างน้อย 3 การแพร่ผ่าน (Filtration) สูงสุด 13.5 มิลลิลิตร ปริมาณที่ค้างบนแรง 75 ไมโครเมตร (200 เมช) สูงสุด 2.5% และ ปริมาณความชื้น สูงสุด 10% เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติของน้ำโคลนขุดเจาะยังขึ้นกับการใช้งาน สภาพของอุณหภูมิ ความดัน และลำดับของชั้นหินต่างๆ เป็นต้น ประโยชน์ของเบนโทไนต์ในน้ำโคลนขุดเจาะ คือ ช่วยพยุงเอาเศษหินขึ้นมาข้างบนขณะขุดเจาะ เป็นตัวที่ฉาบผนังหลุมเจาะให้มีความเสถียรภาพ ช่วยรักษาและควบคุมความดันได้หลุม ช่วยหล่อเย็นและป้องกันการสึกกร่อนของหัวเจาะควบคุมการสูญเสียโคลน เป็นต้น

แหล่งแร่เบนโทไนต์ที่สำคัญของโลกอยู่ที่เมืองไวโอมิง (Wyoming) ประเทศสหรัฐอเมริกา รองลงมาได้แก่ กลุ่มประเทศอิสระที่แยกตัวจากรัสเซียเดิม (CIS) ประเทศกรีซ เยอรมัน ญี่ปุ่น และตุรกี

โดยคิดเป็นร้อยละ 84 ของกำลังการผลิตโลกในปี 1995 และจากการสำรวจแหล่งดินเบนโทไนต์พบว่า มีปริมาณสำรองอยู่ 1,452 ล้านตัน ในขณะที่มีปริมาณการใช้เฉลี่ยอยู่ที่ 9.8 ล้านตันต่อปี ในปี 1997-1998 พบว่าราคาเฉลี่ยของดินดิบชนิดนี้อยู่ที่ 98 เหรียญสหรัฐต่อตัน และเมื่อผ่านกระบวนการต่างๆ แล้ว ราคาจะอยู่ในช่วงกว้างตั้งแต่ 50 ถึง 250 เหรียญสหรัฐต่อตัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ ปริมาณและความต้องการ สำหรับประเทศไทย แร่เบนโทไนต์จะพบมากในจังหวัดลพบุรี สระบุรี และกาญจนบุรี โดยแหล่งแร่เบนโทไนต์ในเขตจังหวัดลพบุรี จัดเป็นแหล่งใหญ่ในประเทศ ซึ่งพบในบริเวณอำเภอชัยบาดาลจำนวน 2 แหล่ง คือแหล่งแร่เบนโทไนต์ตำบลลำนารายณ์ พบบริเวณเขาปะโคน ครอบคลุมพื้นที่ 12.64 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณแร่สำรองมีศักยภาพเป็นไปได้ประมาณ 290 ล้านเมตริกตัน อีกแหล่งพบที่ บริเวณเขาภู บ้านโป่งหัวแหวน ตำบลห้วยหิน เขาปลวกไล่ัน บ้านหนองจอก ตำบลลำนารายณ์ ครอบคลุมพื้นที่ 2.736 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณทรัพยากรแร่สำรองมีศักยภาพเป็นไปได้ประมาณ 23 ล้านเมตริกตัน จากปริมาณสำรองแร่เบนโทไนต์ที่ค่อนข้างมากและประเทศไทยสามารถที่จะผลิตได้เอง ถ้าการทดสอบคุณภาพและประสิทธิภาพของแร่เบนโทไนต์ในประเทศนี้มีประสิทธิภาพที่สามารถใช้ทดแทนแร่เบนโทไนต์ที่นำเข้าจากต่างประเทศได้ในการใช้เป็นวัตถุดิบในส่วนผสมของน้ำโคลนขุดเจาะในด้านอุตสาหกรรมการขุดเจาะปิโตรเลียม น้ำบาดาล และการก่อสร้าง จะส่งผลให้ประเทศไทยสามารถลดต้นทุนการนำเข้าแร่เบนโทไนต์ ลดการขาดดุลการค้าต่างประเทศ อีกทั้งยังสามารถสร้างมูลค่าของทรัพยากรที่มีอยู่ในประเทศโดยการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่าและยั่งยืนต่อไป

1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลองหรือเก็บข้อมูล

การดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งการทดสอบออกเป็น 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การค้นคว้าและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ค้นคว้าและศึกษาวารสาร รายงาน และสิ่งตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของแร่เบนโทไนต์และน้ำโคลนทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ

ขั้นตอนที่ 2 การเก็บและจัดเตรียมตัวอย่างแร่เบนโทไนต์

เตรียมตัวอย่างเบนโทไนต์จากจังหวัดลพบุรี สระบุรีและกาญจนบุรี โดยพิจารณาตามเกรดของเบนโทไนต์ โดยนำตัวอย่างเบนโทไนต์ทั้งหมดมาทำการบดด้วยเครื่องบด (Grinding Machine)

และทำการคัดแยกขนาดด้วยเครื่องตระแกรงร่อน (Sieve Machine) เพื่อให้ได้เบนโทไนด์ขนาด 200 เมช ซึ่งตัวอย่างเบนโทไนด์ที่ได้จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยส่วนหนึ่งนำไปทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและอีกส่วนนำไปผสมน้ำโคลนเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 การเตรียมและวิเคราะห์ตัวอย่างเบนโทไนด์ และน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์ จากลพบุรี สระบุรีและกาญจนบุรี

ในการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างของเบนโทไนด์ และตัวอย่างน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์จาก ลพบุรี สระบุรี และกาญจนบุรี สามารถจำแนกวิธีการทดสอบออกเป็น 2 วิธีทดสอบดังต่อไปนี้

1) การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของ เบนโทไนด์ และน้ำโคลน

ทำการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี ชนิดและส่วนประกอบของแร่ โดยใช้เครื่องมือเอกซ์เรย์ดิฟแฟกชัน (X-ray Diffraction, XRD) และหาปริมาณธาตุหลักและธาตุรอง โดยใช้เครื่องมือเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF) และหารูปร่างลักษณะสัณฐานวัตถุในระดับจุลภาค (Scanning Electron Microscope, SEM) ในการทดสอบจะทำการทดสอบทั้ง เบนโทไนด์ และน้ำโคลนที่ผสมด้วยเบนโทไนด์จากแหล่งต่างๆ ซึ่งการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่างเหล่านี้ จะทำการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมปิโตรเลียม และห้องปฏิบัติการเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2) การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเบนโทไนด์ และน้ำโคลน

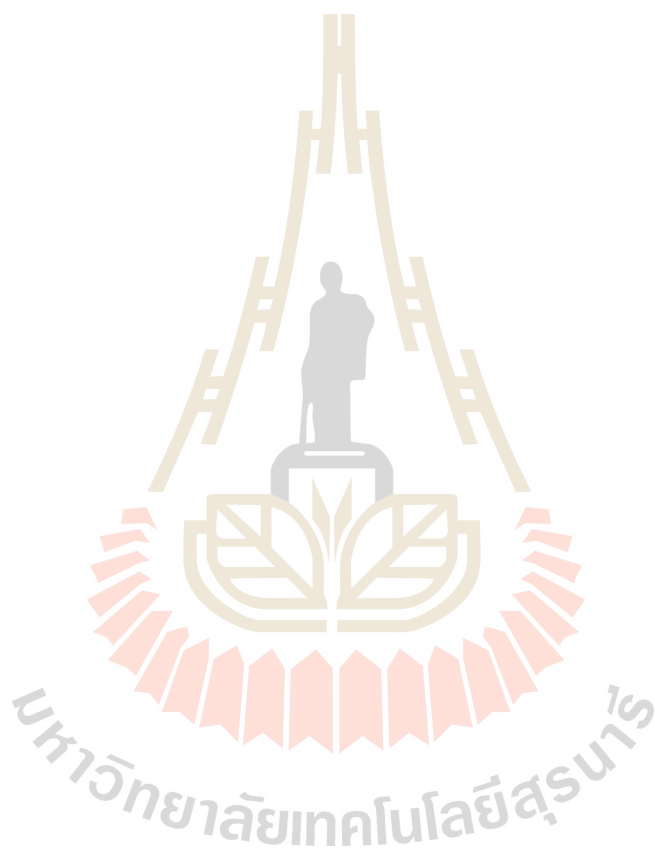
ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำโคลน ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific density) ความหนาแน่น (Density) ความหนืด (Viscosity) ความต้านทาน (Resistivity) ปริมาณทราย (Sand Content) ปริมาณของแข็ง (Solid content) การแพร่ผ่านของชั้นหิน (Filtration) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตามมาตรฐานของของ API RP 13B, 1997 โดยทำการทดสอบตัวอย่างน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์จากประเทศไทย และเบนโทไนด์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ โดยทำการทดสอบคุณสมบัติในตัวอย่างน้ำโคลน ในช่วงอุณหภูมิ 30 60 และ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำโคลน ทำการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมปิโตรเลียม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขั้นตอนที่ 4 การรวบรวมและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลและนำผลการทดสอบทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีมาทำการวิเคราะห์ผล

ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลการทดสอบ

รวบรวมข้อมูลทั้งหมดเพื่อเขียนสรุปผลการทดสอบและจัดทำรูปเล่มรายงาน



บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัตถุประสงค์

ผู้วิจัยได้ค้นคว้าและศึกษาวารสาร รายงาน และสิ่งตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเบนโทไนด์ในท้องถิ่นประเทศไทยกับเบนโทไนด์นำเข้าในน้ำโคลนขุดเจาะ การหาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของน้ำโคลนที่ผสมดินเหนียวจากแหล่งต่างๆ รวมถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพของดินเบนโทไนด์ในการประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ สรุปได้ดังนี้

2.1 หน้าที่ของน้ำโคลนขุดเจาะ

Bourgoyne et al. (1986) ได้อธิบายหน้าที่ของน้ำโคลนขุดเจาะในการเจาะหลุมแบบหมุน (Rotary drilling) ไว้ว่าน้ำโคลนถือว่ามีหน้าที่สำคัญหลายอย่างและต้องมีคุณลักษณะที่เหมาะสมแก่การขุดเจาะ ซึ่งน้ำโคลนเจาะจะถูกใช้ในกระบวนการเพื่อ

1. ทำความสะอาดหลุมโดยนำพาเศษหินใต้ดินที่ถูกหัวเจาะตัด ขึ้นมาทำการแยกที่ผิวดิน
2. ป้องกันความดันจากชั้นหินใต้ดิน และป้องกันการไหลของไหลจากชั้นหินเข้าสู่หลุมเจาะ
3. ช่วยในกระบวนการลงซีเมนต์เพื่อติดตั้ง casing
4. ช่วยหล่อเย็นและหล่อลื่นก้านเจาะและหัวเจาะ

เพื่อให้การเจาะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ น้ำโคลนเจาะไม่ควร

1. มีคุณสมบัติที่ไปขัดขวางการหยั่งค่าธรณีหลุมเจาะ
2. มีคุณสมบัติที่ส่งผลเสียต่อชั้นหินที่เจาะผ่าน
3. มีคุณสมบัติที่กัดกร่อนอุปกรณ์ที่ใช้ในการขุดเจาะ

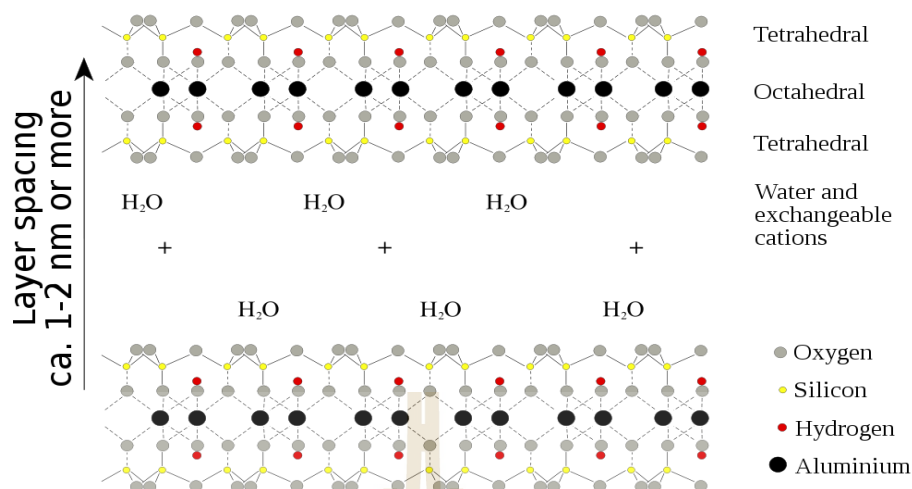
สำหรับเบนโทไนด์ที่ใช้ในน้ำโคลนจะเป็นโคลนประเภท มอนต์มอริลโลไนต์ (Chilingarian et al., 1983) โดยจะถูกผสมในน้ำโคลนเพื่อ

1. เพิ่มคุณสมบัติในการทำความสะอาดหลุม

2. ลดการสูญเสียน้ำโคลนไปสู่ชั้นหินใต้ดินที่มีความซึมผ่าน
3. สร้างชั้นบางๆ ของโคลนเจาะที่มีความซึมผ่านต่ำที่ผนังหลุมเจาะ
4. รักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะ

2.2 แหล่งและคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเบนโทไนต์

Hensen and Smit (2002) และ Petroleum Support (2013) ได้แสดงคุณสมบัติของแร่เบนโทไนต์ ซึ่งแร่เบนโทไนต์เป็นกลุ่มแร่ดินเหนียวชนิดหนึ่ง ซึ่งแร่ดินเหนียวในธรรมชาติสามารถแบ่งแยกตามโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีได้หลายชนิดด้วยกัน ประกอบด้วย กลุ่มแร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite Group) กลุ่มแร่อิลไลต์ (Illite Group) กลุ่มแร่สเม็คไทต์ (Smectite Group) กลุ่มแร่เวอร์มิคูไลต์ (Vermiculite) และ กลุ่มแร่พาลีโกลอร์ซไกต์ (Palygorskite) ส่วนแร่ดินเหนียวมอนท์มอริลโลไนต์ จัดอยู่ในกลุ่มแร่สเม็คไทต์ พบมากในหินตะกอนและการพุ้งสลายตัวของเถ้าภูเขาไฟ (Volcanic Ash) และสำหรับการดุลประจุ (Charge Balance) ที่เกิดขึ้นจากการแทนที่ของไอออนในชั้นออกตะฮีดรอล (Al หรือ Mg) และชั้นเตตระฮีดรอล โดยส่วนมากจะใช้แคลเซียม ไอออนหรือโซเดียม ไอออนเป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุ ส่วนผลรวมระหว่างความหนาของชั้นดินและพื้นที่บริเวณระหว่างชั้นดินแต่ละชุด จะมีความกว้างของช่องว่างเท่าๆ กัน ซึ่งคำนวณจากระนาบ $d(001)$ โดยจะมีค่าตั้งแต่ 9.6 Å จนถึง 20 Å แร่ดินเหนียวมอนท์มอริลโลไนต์มีโครงสร้างแบบ 2:1 ประกอบด้วยชั้นซิลิกอนเตตระฮีดรอล (Tetrahedral sheet) 2 ชั้นและมีชั้นออคตะฮีดรอล (Octahedral Sheet) แทรกตรงกลาง 1 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแร่ดินเหนียวมอนท์มอริลโลไนต์

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของการดูดซับของดินเหนียวชนิดต่างๆ

Type of solid	meq/100g of solids
Attapulgit clay	15 – 25
Chlorite clay	10 – 40
Gumbo shale	20 – 40
Llilit clay	10 – 40
Kaoline clay	3 – 15
Montmorillonite clay	80 – 150

กรมทรัพยากรธรณีวิทยา (2013) ได้สรุปผลการสำรวจและคุณสมบัติของแร่เบนโทไนต์ในประเทศไทย ดังต่อไปนี้

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ มีโครงสร้างของรูปผลึกเป็นระบบโมโนคลินิก ปกติลักษณะเนื้อเหมือนดินหรือเป็นฝุ่น หรือเป็นเม็ดขนาดเล็กละเอียดคล้ายดิน มีสีขาวเทาออกเหลือง เขียว ชมพู และ สีฟ้า ความวาวแบบดิน ความแข็ง 1 ถึง 2 จัดว่าอ่อนมาก มีความถ่วงจำเพาะ 2 ถึง 3 มีน้ำหนักเบา ทึบแสงเพราะอนุภาคเล็กมาก

คุณสมบัติทางเคมี มีสูตรเคมีทั่วไป $(\text{Na}, \text{Ca})_x (\text{Al}, \text{Mg})_2 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 4\text{H}_2\text{O}$ สามารถดูดโมเลกุลของน้ำเข้าไปในโครงสร้างทำให้เกิดการขยายตัวหรือพองตัว

การเกิดของแร่ เป็นแร่ทุติยภูมิ โดยเกิดจากหินที่เปลี่ยนสภาพมาจากหินภูเขาไฟ พวกทัฟฟ์ และประกอบด้วยแร่มอนต์มอริลโลไนต์เป็นส่วนใหญ่ เรียก เบนโทไนต์ นอกจากนี้ ยังพบใน ดิน หินชั้นและหินแปร และแหล่งแร่ที่มีกำเนิดจากน้ำแร่ร้อนเกิดร่วมกับแร่ อิลไลต์ ฮาลลอยไซต์ เคโอลิไนต์ และควอร์ตซ์

แหล่งที่พบในประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี ปราจีนบุรี ลำปาง เลย อุดรดิต์ เชียงราย นครสวรรค์ ลพบุรี กำแพงเพชร สระบุรี ฉะเชิงเทรา และอุดรธานี

กรมทรัพยากรธรณีวิทยา (2007) ได้จำแนกแหล่งแร่เบนโทไนต์ในเขตจังหวัดลพบุรี ที่พบในบริเวณอำเภอชัยบาดาลจำนวน 2 แหล่ง ดังนี้

1. แหล่งแร่เบนโทไนต์ ตำบลลำธารายณ์ พบบริเวณเขาปะโคน เขตตำบลลำธารายณ์ อำเภอชัยบาดาล ครอบคลุมพื้นที่ 12.64 ตารางกิโลเมตร มีทรัพยากรแร่สำรองมีศักยภาพเป็นไปได้ประมาณ 290 ล้านเมตริกตัน ปัจจุบันมีการผลิตโดยบริษัท สินทนนต์ จำกัด
2. แหล่งแร่เบนโทไนต์ ตำบลห้วยหิน อยู่ในบริเวณเขาสูง บ้านโป่งหัวแหวน ตำบลห้วยหิน เขาปลวกไล่ บ้านหนองจอก ตำบลลำธารายณ์ อำเภอชัยบาดาล ครอบคลุมพื้นที่ 2.736 ตารางกิโลเมตรมีปริมาณทรัพยากรสำรองมีศักยภาพเป็นไปได้ประมาณ 23 ล้านเมตริกตัน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2007) ได้สรุปคุณลักษณะของแร่เบนโทไนต์ ตามมาตรฐานการใช้งานและมาตรฐานการซื้อขายแร่ ในตลาดแร่เบนโทไนต์

คุณลักษณะของแร่เบนโทไนต์ตามมาตรฐานที่ใช้กันทั่วโลก ได้แก่

1. คุณลักษณะของแร่เบนโทไนต์ ตามมาตรฐานของสถาบันปิโตรเลียมอเมริกัน (American Petroleum Institute Bentonite Specification) เพื่อใช้เป็นของเหลวสำหรับเจาะ (Drilling Fluids) ตามตารางที่ 2.2
2. คุณลักษณะของแร่เบนโทไนต์ ตามมาตรฐานของสมาคมจัดหาปัจจัยเพื่ออุตสาหกรรมน้ำมัน (Oil Companies Materials Association Bentonite Specification; OCMA) เพื่อใช้เป็นของเหลวสำหรับเจาะ ตามตารางที่ 2.3
3. คุณลักษณะของเบนโทไนต์ สำหรับทำโคลนเจาะ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม ประเทศไทย (มอก.1065-2534) ตามตารางที่ 2.4 แร่เบนโทไนต์

สำหรับทำโคลนเจาะ หรือที่เรียกว่า โคลนผง หมายถึง ดินที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่โซเดียม-สเมกไทต์ (Sodium-Smectite) ลักษณะทั่วไป เป็นผงละเอียดมีหลายสี เช่น ขาวนวล เหลืองอ่อน น้ำตาลอ่อน เทา ดำ คุณลักษณะทางเคมี ต้องเป็น โซเดียมเบสสเมกไทต์เป็นส่วนใหญ่

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของแร่เบนโทไนต์ ตามมาตรฐานของสถาบันปิโตรเลียมอเมริกัน

Test parameter	Specification
Suspension properties :	
- Viscometer dial reading at 600 r/min	Minimum 30
- Yield point/plastic viscosity ratio	Maximum 3
- Filtrate volume	Maximum, 15.0 cm ³
Residue greater than 75 micrometers	Maximum Mass Fraction 4.0 %

ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะของแร่เบนโทไนต์ ตามมาตรฐานของสมาคมจัดหาปิโตรเลียมเพื่ออุตสาหกรรมน้ำมัน

Requirement	Specification
Suspension properties :	
- Viscometer dial reading at 600 r/min	Minimum 30
- Yield point, lb/100 ft ²	Maximum 6
- Filtrate volume, millilitres	Maximum, 16.0 cm ³
Residue greater than 75 micrometers	Maximum 2, 5 % Mass Fraction

การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายและเคมีและราคาของดินเบนโทไนต์ดิบจากแหล่งต่างๆ
แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบทางเคมีของดินเบนโทไนต์โดยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray
Fluorescence) จากประเทศสหรัฐอเมริกา จีน อินโดนีเซีย และไทย

Minerals	Contents			
	Wyoming , USA	China	Indonesia	Lopburi, Thailand (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่, 2007)
ซิลิกา (Si ₂ O)	61.4%	67.13%	54.80%	71.62%
อะลูมินา (Al ₂ O ₃)	18.1%	14.27%	17.20%	15.22%
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	3.5%	1.84%	6.55%	1.96%
ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO ₂)	0.02%	0.13%	1.67%	0.36%
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	0.04%	1.99%	4.05%	0.61%
โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O)	2.3%	1.85%	0.004%	1.41%
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	1.7%	2.69%	3.89%	1.66%
โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O)	0.01%	1.38%	0.40%	1.00%
เฟอร์ริกออกไซด์ (FeO)	NA	0.63%	NA	0.37%
ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	NA	NA	0.003	NA
แบเรียมออกไซด์ (BaO)	NA	NA	0.84	NA
ความชื้น (Moisture)	7.8%	10%	NA	4.8%
ความเป็นกรด-เบส (pH)	8.3-9.1	8.0-9.5	NA	8.0-9.0

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2550) ได้รวบรวมราคาของสารเคมีที่ใช้เติม
ในน้ำโคลนขุดเจาะ ตามตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ราคาของสารเคมี

Drilling fluid chemical	Formulas	Cost/unit (Baht/Metric ton)
Bentonite	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	600
Barite	$BaSO_4$	3,895
Lime	$Ca(OH)_2$	3,895
Starch	$(C_6H_{10}O_5)_n$	12,900
Cement	Calcium hydroxide ($Ca(OH)_2$)	2,400
CMC	Sodium carboxymethyl cellulose	58,000
Soda Ash	Na_2CO_3	782.27

2.3 การนำมาใช้ประโยชน์ของดินเบนโทไนต์ในอุตสาหกรรมต่างๆ

บริษัท เทพเกษตร อุตสาหกรรม จำกัด (2013) ได้สรุปการนำมาใช้ประโยชน์ของโซเดียม
เบนโทไนต์ ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่

- การเจาะบ่อบาด การทำโคลนเจาะต่าง ๆ เบนโทไนต์คุณสมบัติเป็นตัวหล่อลื่น และกัน
การแพร่ผ่าน โดยนิยมใช้เป็นหัวเจาะโคลน และใช้อุดหรือยาแนวขอบเขื่อนทำบ ใช้ผสม
น้ำเพื่อหล่อเลี้ยงหัวเจาะ ในการเจาะบ่อบาด หรือเจาะบ่อน้ำมัน สร้างเขื่อน และกันซึม
ต่าง ๆ ช่วยในด้านการหล่อลื่น และกันน้ำไม่ให้ไหลผ่านในหลุมที่ขุดเจาะได้อย่างดี เหมาะ
สำหรับงานขุดเจาะทุกประเภท
- การใช้ในการขจัดสีในน้ำมัน อุตสาหกรรมฟอกสี นิยมใช้เป็นสารฟอกสี หรือเป็นสารดี
เทอร์เจนต์ในการดูดซับน้ำมันจากพืชและสัตว์ เพื่อทำความสะอาดในอุตสาหกรรมกลั่น
น้ำมัน เป็นต้น
- การขจัดคราบไขมันในบ่อบำบัดน้ำเสีย ใช้เป็นตัวอุดกันน้ำรั่วซึมในบ่อ และการบำบัดน้ำเสีย

- อุตสาหกรรมเซรามิก ใช้เป็นตัว Plasticizer เพื่อเสริมความแข็งแรงของชิ้นงานก่อนเผาช่วยเป็นตัวช่วยกระจายลอยตัว เพื่อไม่ให้สีเคลือบตกตะกอนได้ง่าย ช่วยปรับเรื่องการแห้งตัวของสีเคลือบ ซึ่งทำให้การเคลือบผลิตภัณฑ์เรียบขึ้น และไม่มีปัญหาหลังเผา ช่วยให้สีเคลือบยึดเกาะกับเนื้อดินได้ดียิ่งขึ้น
- อุตสาหกรรมหล่อโลหะ การทำแบบหล่อโลหะ การประสานแร่เหล็กให้เป็นก้อนก่อนถลุง การใช้เบนโทไนต์ ทำให้มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานในการเตรียมทรายหล่อแบบ ซึ่งช่วยให้ง่ายต่อการขึ้นรูป ให้ความแข็งแรงและมีความสามารถในการทนความร้อนได้ดียิ่งขึ้น
- อุตสาหกรรมกระดาษ ใช้ในการจับตัวเรซินในเนื้อไม้ ซึ่งเป็นปัญหาในกระบวนการผลิต อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงคุณภาพกระดาษให้ดียิ่งขึ้น
- ทรายอนามัย หรือ ทรายแมว เบนโทไนต์เป็นสารดูดซับกลิ่นของเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์เลี้ยง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- เบนโทไนต์ ใช้เป็นสารตัวเติมฟิลเลอร์ (Filler) เพื่อเพิ่มปริมาณเนื้อสาร หรือใช้ในการปรับความหนืดสำหรับอุตสาหกรรมสี และหมึกพิมพ์

กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ (2013) ได้แบ่งชนิดน้ำโคลนออกเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะของตัวทำละลายหลักในน้ำโคลน คือ 1) น้ำเป็นตัวทำละลายหลัก (Water Based Mud) (ตารางที่ 6) 2) น้ำมัน เป็นตัวทำละลายหลัก (Oil Based Mud) 3) แบบพิเศษ โดยใช้อากาศ ก๊าซธรรมชาติ หรือโฟม (Pneumatic) เป็นตัวนำเศษดิน-หินขึ้นมายังปากหลุม การเลือกใช้น้ำโคลนประเภทใดก็ขึ้นกับจุดประสงค์เป้าหมายในการเจาะ ชนิดของหลุม พื้นที่และตำแหน่งที่ทำการเจาะ ลักษณะธรณีวิทยา ในบริเวณที่ทำการเจาะ คุณสมบัติของชั้นหินที่จะใช้ผลิต การวางแผนการลงท่อกรู คุณภาพของน้ำ การกักกรอง และการพิจารณาถึงปัญหาที่จะกระทบสิ่งแวดล้อม สำหรับส่วนประกอบหลักๆ ของน้ำโคลนมี 4 อย่าง ดังต่อไปนี้

- ตัวทำละลาย มักเป็นน้ำหรือน้ำมันส่วนใหญ่มักเป็นน้ำเนื่องจากหาได้ง่ายในธรรมชาติแต่บางทีก็ใช้น้ำมันเมื่อต้องการเจาะผ่านชั้นเกลือ

- ผงโคลน เป็นตัวที่สามารถละลายในตัวทำละลายได้ดีและทำให้น้ำโคลนเกิดความหนืด (Viscosity) เพื่อใช้พยุงอนุภาคของแข็งให้แขวนลอยอยู่ได้ ผงโคลนที่ใช้กับน้ำจืดได้ดี คือ เบนโทไนด์
- ตัวเพิ่มน้ำหนัก เป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีและทำให้น้ำโคลนมีน้ำหนักตามที่ ต้องการโดยสามารถแขวนลอยอยู่ในของไหลได้ เช่น แบไรต์
- ตัวควบคุมคุณสมบัติ น้ำโคลน เป็นสารเคมีที่ใช้ผสมลงในน้ำโคลนเพื่อให้น้ำโคลนมี คุณสมบัติอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการใช้งาน ได้แก่ การตรวจสอบวัดคุณสมบัติของน้ำ โคลนในการขุดเจาะปิโตรเลียม ได้ดังนี้คือ

2.4 การตรวจสอบวัดคุณสมบัติของน้ำโคลน

ความหนาแน่นหรือน้ำหนักของน้ำโคลน (Density or Mud Weight) น้ำหนักของน้ำโคลน เป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการรักษาสภาพหลุมเจาะและควบคุมความดันก้นหลุม (Bottom Hole Pressure) แต่น้ำหนักของน้ำโคลนที่เพิ่มขึ้นจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความเร็วในการเจาะลดลง และทำให้เกิดความเสียดทานมากขึ้น

คุณสมบัติในการไหลของน้ำโคลน (Flow Property) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ความเร็ว และความหนืดของน้ำโคลน การไหลของน้ำโคลนในหลุมเจาะเป็นได้ทั้งแบบราบเรียบ (Laminar Flow) ซึ่งน้ำโคลนจะมีลักษณะการไหลเป็นชั้นคล้ายกับแผ่นกระดาษ และเมื่อความเร็วของน้ำ โคลนเพิ่มสูงขึ้นถึงระดับหนึ่งก็จะเปลี่ยนเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) โดยการไหลแบบ ปั่นป่วนนี้จะค่า Reynolds Number มากกว่า 3,000 ซึ่งมีลักษณะการไหลที่หมุนวนและรุนแรงขึ้น เมื่อเกิดในส่วนที่เป็น open hole จะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนของผนังหลุมทำให้หลุม ไม่เรียบ

คุณสมบัติในการกรองของน้ำโคลน (Filtration Property) การกรองของน้ำโคลนต้องดี เพื่อให้เกิดแผ่นโคลน (Mud Cake) เป็นแผ่นบางที่รอบผนังหลุมเจาะเป็นการป้องกันหลุมพัง และ แผ่นโคลนนี้ต้องมีความไหลซึมต่ำ (Low Permeability) และเมื่อเกิดแผ่นโคลนขึ้นก็แสดงว่า น้ำ

โคลนมีการสูญเสียของเหลว (Fluid Loss) บางส่วนให้กับชั้นหิน อัตราการสูญเสียของเหลวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของแผ่นโคลนที่เกิดขึ้น

ความหนืดของน้ำโคลน (Viscosity) ความหนืดต้องสูงพอที่จะแขวนลอยอนุภาคของแข็ง และสามารถพองเศษดินหินขึ้นสู่ปากหลุมได้ ความหนืดจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วในการเจาะ โดยที่ความหนืดสูงจะเจาะได้ช้ากว่าความหนืดต่ำ

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต้องไม่เป็นกรด-ด่างที่จะไปกัดกร่อนเครื่องมือในการเจาะ ปกติอยู่ในช่วง 9.5 ถึง 10.5 (Baker Hughes, 2006)

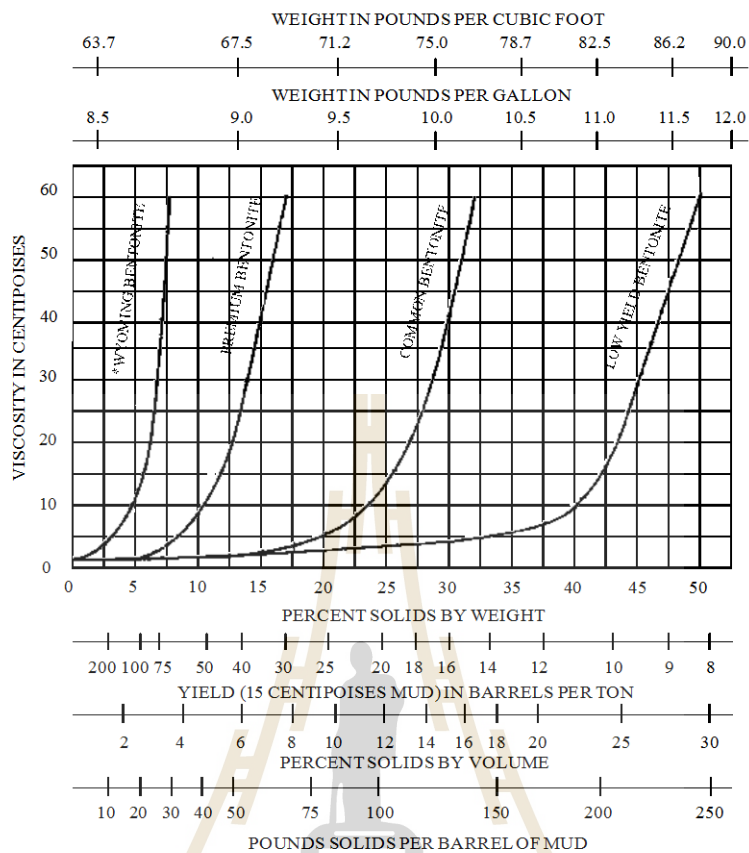
ค่า เจล.สเตร็งธ (Gel Strength) ต้องมีค่า เจล.สเตร็งธ ที่ดีเพื่อแขวนลอยอนุภาคของแข็งได้ในขณะที่หยุดการไหลเวียนของน้ำโคลน เพื่อเปลี่ยนหัวเจาะ

ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของน้ำโคลนที่ผสมดินเหนียวจากแหล่งต่างๆ แสดงไว้ในกราฟรูปที่ 2.2

ตารางที่ 2.6 ชนิดของน้ำโคลน โดยมีน้ำเป็นส่วนผสมหลัก (Water Based Muds)

Straight bentonite mud			
Average composition (/m ³)	Characteristics	Stability toward contaminants	Area of use
Bentonite: 40 to 60 kg CMC: 0 to 5 kg Caustic for pH: 8.5 to 9	Low initial density: 1.03 to 1.05	Slight	Spud mud Few contamination problems
Bentonite mud with tanning extracts			
Bentonite: 40 to 60 kg Tannin: 2 to 4 kg CMC: 1 to 5 kg Caustic: 0.5 to 1 kg	pH < 11 Filtrate: 2 to 4 cm ³	Average Ca ⁺⁺ < 300 mg/l Cl ⁻ < 20 g/l	Depth < 3000 m Low-contamination zones (gypsum, anhydrite, shales)
FCL/LC bentonite mud			
Bentonite: 50 to 60 kg	pH < 9	Good	Depth: 5000 to 6000 m

FCL: 20 to 40 kg Caustic: 2 to 4 kg CMC: 0.5 kg Possibly with LC: 10 to 20 kg	Holds up well to 200 °C	Cl ⁻ from 50 to 70 g/l	Wide area of use: concentrations adjusted according to contamination (gypsum, anhydrite, shales)
gypsum mud			
Average composition (/m³)	Characteristics	Stability toward contaminants	Area of use
Bentonite: 50 to 70 kg FCL: 12 to 15 kg Caustic: 3 to 4 kg CMC: 0.5 kg Possibly with LC: 10 to 20 kg	pH < 9 Holds up well to 200 °C	Good Cl ⁻ from 60 to 70 g/l	gypsum or anhydrite section Shaly sections Slightly salt-bearing sections
Salt – saturated mud with inorganic thinners			
Salt: 300 kg Clay: 50 kg (specific for salt-water mud) Starch: 30 to 40 kg Lime: 0 to 10 kg	d > 1.20 Holds up moderately to temperature, 130 to 140 °C	Good with gypsum and anhydrite section Fair with shales	Salt-bearing sections Zones with slightly or moderately dispersing shales



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของน้ำโคลนสำหรับดินเหนียวจากแหล่งต่างๆ

2.5 การปรับปรุงประสิทธิภาพของดินเบนโทไนต์ในการประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ

SIEP (2003) ได้สรุปคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำโคลนในการใช้งานต่างๆ (ตารางที่ 2.7) และสรุปหน้าที่และคุณสมบัติของน้ำโคลนสำหรับขุดเจาะน้ำมัน (ตารางที่ 2.8) ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติทางกายภาพของชนิดของน้ำโคลนต่างๆ

Drilling mud type	Advantages of using drilling mud	General properties
Prehydrated bentonite ผสมกับน้ำ	<ul style="list-style-type: none"> - เพิ่มความหนืด และลดปริมาณของแข็ง - ควบคุมการสูญเสียโคลน - Mud cake มีความบางและแข็งแกร่ง 	<ul style="list-style-type: none"> - เติมน้ำเบนโทไนต์ 75-100 kg/m³ - ทำการ hydrate ประมาณ 8-10 ชม. - ปรับค่า pH= 9 โดยเติมโซดาไฟ

Drilling mud type	Advantages of using drilling mud	General properties
Spud mud	<ul style="list-style-type: none"> - ทำความสะอาดหลุม - เพิ่มความหนืด - เพิ่มอัตราเจาะ 	<ul style="list-style-type: none"> - เติมน้ำเบนโทไนต์ 40-60 kg/m³ ในน้ำจืด - ปรับค่า pH = 9-10 โดยเติม โซดาไฟ - บางครั้งเติม CMC-HV polymer เพื่อเพิ่มความหนืด ± 20 - Fluid loss ±30 ml (API)
Bentonite/ Lignosulphonate	<ul style="list-style-type: none"> - เติมน้ำเบนโทไนต์ เพื่อเพิ่ม Yield point และ gel strength - เติมน้ำลิกนอสัลโฟเนต เพื่อลดการสูญเสียโคลนและลด Yield point และ gel strength 	<ul style="list-style-type: none"> - ความหนาแน่น < 1.2 kg/L - ความหนืด (Plastic viscosity, PV) ± 20 - Yield point (YP) = 8-12 - Gel strength = 2/4 - pH = 9.5-10.5
Gypsum/ Lignosulphonate	<ul style="list-style-type: none"> - เติมน้ำยิปซัม เพื่อเจาะในชั้นดินเหนียว ป้องกันการบวมของชั้นดินดาน หรือ การละลายของชั้นเกลือ - เติมน้ำลิกนอสัลโฟเนต เพื่อลดการสูญเสียโคลน และลด Yield point gel strength และเพิ่มความหนืด 	<ul style="list-style-type: none"> - ความหนาแน่น < 1.3 kg/L - PV ±20 - YP = 10-15 - Gel strength = 8/12 - pH = 9.5-10.5 - Ca²⁺ = 600-1200 ppm
Salt drilling mud	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้น้ำโคลนเจาะในชั้นเกลือ - เกลือมีคุณสมบัติเป็นพลาสติก 	<ul style="list-style-type: none"> - เติมน้ำแป้ง (Starch) ทดแทน โพลีเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic polymer)

ตารางที่ 2.8 หน้าที่และคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำโคลนที่ใช้สำหรับขุดเจาะน้ำมัน

Function	Relevant property	Effect of property on penetration rate	Chemicals for control of water based drilling fluid
ควบคุมความดันในชั้นหิน	Drilling fluid density	- เพิ่มความหนาแน่นของน้ำโคลน - ลดอัตราการเจาะ	- เติม Barite - ลดโดยการเติมน้ำ (แล้วตรวจสอบค่าความหนืด)
อุ้มเศษชั้นหิน (Cuttings)	Plastic viscosity	- เพิ่มความหนืดของน้ำโคลน - ลดอัตราการขุดเจาะ	- ลดโดยการเติมน้ำ (แล้วตรวจสอบความหนาแน่น) หรือทินเนอร์ (Thinner)
	Yield point	- เพิ่มความหนืดของน้ำโคลน - ลดอัตราการขุดเจาะ	- เพิ่ม โดยการเติม Bentonite หรือ XC-polymer - ลดการเจือจาง (dilution)
	Gel strength		- ลด โดยการเติมทินเนอร์ (Thinner) - เพิ่ม โดยการเติมน้ำ
ป้องกันและช่วยพยุงผนังหลุมเจาะโดย Mud cake ซึ่งช่วยลดการเปื้อนของชั้นหิน	Fluid loss	- ลดการสูญเสียน้ำโคลน - ลดอัตราการเจาะเล็กน้อย	- ลดโดยการเติม CMC หรือ แป้ง (Starch) - เพิ่ม โดยการเติมน้ำ
	Solid content	- เพิ่ม Solid content - ลดอัตราการขุดเจาะ	- พยายามลดค่าต่างๆถ้าเป็นไปได้ โดยการกำจัด ดินเหนียว ทรายแป้ง ทราย และเศษหินที่ไม่ต้องการออกไป

ยุทธนา มัทธูรี และคณะ (2012) ได้ทำการทดลองผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของเบนโทไนท์ในการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินบี 1 โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับภายใต้อุณหภูมิต่างๆ พบว่าเบนโทไนท์มีประสิทธิภาพในการดูดซับอะฟลาทอกซินบี 1 ที่อุณหภูมิสูงได้ดีกว่าเบนโทไนท์ที่ผ่านการเผาหรือเผาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการมีประสิทธิภาพในการดูดซับอยู่ที่ 600°C

Dewu et al. (2011) ได้ทำการทดลองเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางรีโอโลยี หรือคุณสมบัติของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการไหลของเบนโทไนด์จากตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไนจีเรีย โดยใช้ โซเดียมคาร์บอเนตและสารเพิ่มความหนืดสังเคราะห์ ที่มีชื่อทางการค้าว่า Drispac โดยผลการทดลองพบว่าเมื่อเติมโซเดียมคาร์บอเนต และ Drispac ประมาณ 0.2 ถึง 1 กรัมในตัวอย่างเบนโทไนด์ทำให้ตัวอย่างมีประสิทธิภาพดีขึ้นเทียบเท่ามาตรฐานของเบนโทไนด์ที่ใช้ในการขุดเจาะปิโตรเลียม

Apugo-Nwosu et al. (2011) ได้ศึกษาคุณสมบัติของเบนโทไนด์จากไนจีเรีย (ยูบาคาลา) เพื่อใช้ในการขุดเจาะเพื่อสำรวจน้ำมันเทียบกับไวโอมิงเบนโทไนด์ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการขุดเจาะปิโตรเลียม โดยทำการเปรียบเทียบถึงคุณสมบัติการกระจายตัวของตะกอนการแลกเปลี่ยนประจุและคุณสมบัติทางรีโอโลยี สรุปผลการศึกษาคูณสมบัติของเบนโทไนด์จากไนจีเรียมีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อผสม Carboxyl Methyl Cellulose (CMC) Poly Anionic Cellulose-Regular (PAC-R) and Sodium Carbonate (Na_2CO_3 ; Soda Ash) แต่คุณสมบัติที่ดีที่สุดและใกล้เคียงกับไวโอมิงเบนโทไนด์ คือ การผสมยูบาคาลาเบนโทไนด์ 24.5 กรัมต่อน้ำ 350 มิลลิลิตร กับ CMC 2 กรัม และ Na_2CO_3 1.5 กรัม

AI-Homadhi (2013) ได้ทำการทดสอบการปรับปรุงประสิทธิภาพของดินเบนโทไนด์ในประเทศซาอุดีอาระเบียทดแทนการนำเข้าดินเบนโทไนด์ จากต่างประเทศ เพื่อใช้ในการขุดเจาะปิโตรเลียม การปรับปรุงคุณสมบัติของดินเบนโทไนด์ สำหรับการขุดเจาะให้ได้มาตรฐานตาม API โดยดินเบนโทไนด์จะต้องทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและลดการสูญเสียโคลนแก่ชั้นหิน รวมถึงทำให้มีการนำพาเศษชั้นหินดีขึ้น ซึ่งการทดสอบได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติของดินเบนโทไนด์ โดยการเติมสารเติมแต่งราคาถูกลง เพื่อเพิ่มความหนืดและลดการสูญเสียโคลน เช่น ซีเอ็มซี โพลีเมอร์ โซดาแอส เป็นต้น พบว่าการเติมโซดาแอสที่ความเข้มข้น 5% และเติมโพลีเมอร์ ได้แก่ Drispac ที่ความเข้มข้นต่ำๆ เท่ากับ 0.5% ผสมกับดินเบนโทไนด์ ผลการทดสอบค่าความหนืดและการสูญเสียของน้ำโคลนขุดเจาะ เท่ากับ 8% โดยน้ำหนักของดินเบนโทไนด์ที่ผสมกับโซดาแอสและโพลีเมอร์ ซึ่งใกล้เคียงกับของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมด้วยดินเบนโทไนด์นำเข้า ซึ่งค่าความหนืดและการสูญเสียโคลน มีค่าเท่ากับ 7% โดยน้ำหนักคุณสมบัติของธาตุเสริมต่าง ๆ ในดินเบนโทไนด์ (Bentonite Clay)

SIEP (2003) ได้ทดสอบวิธีการเติมดินเบนโทไนต์ในน้ำโคลนขุดเจาะและระยะเวลาในการทิ้งน้ำโคลนหลังการผสม ในการผสมแร่เบนโทไนต์ประมาณ 75-100 kg/m³ หรือ 25-35 ppb ในน้ำจืด โดยมีการเติมโซดาแอช (Soda Ash) และโซดาไฟ (Caustic Soda) ซึ่งการเติมโซดาแอชหรือไบคาร์บอเนตในน้ำโคลน เพื่อช่วยขจัดแคลเซียมในน้ำ ปรับเพิ่มค่า pH และขจัดแคลเซียมซัลเฟต (CaSO₄) ในน้ำโคลน อีกทั้งจะทำให้ น้ำโคลนมีค่าความหนืดและค่า Yield point/Gel สูง แต่มีค่าปริมาณของแข็งต่ำลดลง การสูญเสียของไหลลดลง และมีแผ่นโคลนบางลงและแข็งแรงมากขึ้น ปกติ น้ำโคลนที่ใช้ขุดเจาะที่ดีควรทิ้งไว้ ประมาณ 6 ถึง 12 ชั่วโมงหลังจากผสม



บทที่ 3

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

วัตถุประสงค์

เนื้อหาในบทนี้อธิบายถึงขั้นตอน วิธีการ ข้อปฏิบัติ โดยมีขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง การจัดเตรียมตัวอย่างเบนโทไนต์แต่ละแหล่ง การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ก่อนการเตรียมเข้าสู่การทดลองและ การใช้เครื่องมือวิเคราะห์เคมี

3.1 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

ส่วนประกอบของน้ำโคลนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยแร่เบนโทไนต์ประเทศไทยในแหล่งจังหวัดลพบุรี สระบุรี และกาญจนบุรี และเบนโทไนต์จากประเทศสหรัฐอเมริกา อินโดนีเซีย อินเดีย และจีน โดยทำการนำเอาแร่เบนโทไนต์ที่ผ่านการร่อนตะแกรงให้มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมโครเมตร (เบอร์ 200) ในการนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ด้วยเครื่องมือหาธาตุประกอบโดยวิธีการเรืองแสง (X-ray fluorescence) หาแร่ประกอบโดยใช้เครื่องมือหาคู่ประกอบแบบวิธีการหักเหแสงของผลึก (X-ray diffraction) และหารูปร่างลักษณะพื้นฐานวัตถุในระดับจุลภาค (Scanning Electron Microscope)

น้ำโคลนที่ใช้ในการทดสอบ เป็นส่วนผสมเตรียมโดยผสมเบนโทไนต์ จำนวน 60 กรัม ลงในน้ำ 1000 มิลลิลิตร และเติมแบไรต์ (Barite) จำนวน 100 กรัม ลงไปเพื่อใช้ควบคุมน้ำหนักน้ำโคลน ค่อยๆ ผสมและทำการตีส่วนผสมดังกล่าวเป็นเวลา 15 นาที โดยใช้เครื่องผสม Hamilton Beach โดยทดสอบในช่วงอุณหภูมิ 30, 60 และ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นไปตามการเตรียมตัวอย่างน้ำโคลนเพื่อใช้ทดสอบภายในห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน API RP13B เพื่อใช้เป็นทดสอบความหนืดและคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของของไหล การทดลองทั้งหมดได้ทำการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการของไหลในการเจาะ ของสาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของน้ำโคลนที่ใช้ในการทดสอบ

ส่วนประกอบ	เบนโทไนต์						
	สหรัฐอเมริกา (Base)	อินโดนีเซีย	อินเดีย	จีน	ลพบุรี	สระบุรี	กาญจนบุรี
น้ำ (มิลลิลิตร)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
เบนโทไนต์ (กรัม)	60	60	60	60	60	60	60
แบไรต์ (กรัม)	100	100	100	100	100	100	100

3.1.1 การเตรียมตัวอย่างวิเคราะห์ทางเคมีของ เบนโทไนต์ และน้ำโคลน

ในการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างของเบนโทไนต์ และตัวอย่างน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จาก ลพบุรี สระบุรี และกาญจนบุรี สามารถจำแนกวิธีการทดสอบออกเป็น 2 วิธีทดสอบ ดังต่อไปนี้

ทำการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี ชนิดและส่วนประกอบของแร่ โดยใช้เครื่องมือเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกชัน (X-ray Diffraction, XRD) หาปริมาณธาตุหลักและธาตุรอง โดยใช้เครื่องมือเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF) และหารูปปร่างลักษณะพื้นฐานวัตถุในระดับจุลภาค โดยเครื่องมืออิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ในการทดสอบจะทำการทดสอบทั้ง เบนโทไนต์ และน้ำโคลนที่ผสมด้วยเบนโทไนต์จากแหล่งต่างๆ ซึ่งการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่างเหล่านี้ จะทำการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมปิโตรเลียม และห้องปฏิบัติการเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.1.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเบนโทไนต์ และน้ำโคลน

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำโคลน ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific density) ความหนาแน่น (Density) ความหนืด (Viscosity) ความต้านทาน (Resistivity) ปริมาณทราย (Sand Content) ปริมาณของแข็ง (Solid content) การแพร่ผ่านของชั้นหิน (Filtration) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตามมาตรฐานของของ API RP 13B, 1976 โดยทำการทดสอบ ตัวอย่างน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จากประเทศไทย และเบนโทไนต์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ โดยทำการทดสอบคุณสมบัติในตัวอย่างน้ำโคลน ในช่วงอุณหภูมิ 30 60 และ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำโคลน ทำการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมปิโตรเลียม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2 เครื่องมือและการวิเคราะห์

3.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF)

ตัวอย่างจำนวน 21 ตัวอย่าง ทั้งก่อนและหลังทำการผสมน้ำโคลนชุดเจาะ นำมาหา ส่วนประกอบทางเคมี โดยตัวอย่างปริมาณ 0.5 ถึง 1 กรัมของแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาบดให้ พอดีและผิวหน้าเรียบกับที่ใส่สารตัวอย่าง (holder) โดยกระบอกบาง ก่อนจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Holiba (รุ่น XGT 5200) X-ray Fluorescence Spectrometer (รูปที่ 3.1) โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์ 200 วินาทีต่อตัวอย่าง ภายใต้การใช้งานหลอดเอกซเรย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร ที่มี กระแส 1 มิลลิแอมแปร์ และกำลัง 30 กิโลวัตต์ โดยผลลัพธ์ของการวิเคราะห์จะถูกแสดงออกมา เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของแสง (Intensity) กับพลังงานที่คาย ออกมาในหน่วยของกิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) หลังจากนั้นจะถูกนำมาวิเคราะห์โดยโปรแกรมใน เครื่องเพื่อหาเป็นปริมาณสารประกอบในหน่วยร้อยละต่อไป



รูปที่ 3.1 เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วย X-ray Fluorescence (ED) Horiba

3.2.2 เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกโตรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)

ตัวอย่างจำนวน 21 ตัวอย่าง ทั้งก่อนและหลังทำการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหาโครงสร้างผลึกในผงตัวอย่าง โดยตัวอย่างปริมาณ 1 ถึง 1.5 กรัมของแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาบีบอัดให้พอดีและผิวหน้าเรียบกับที่ใส่สารตัวอย่าง (Holder) โดยกระจกบาง ก่อนจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bruker (รุ่น D2 Phaser) X-ray Diffractometer (รูปที่ 3.2) 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) หลังจากนั้นจะถูกนำมาวิเคราะห์หาชนิดของผลึกโดยโปรแกรมสำเร็จในเครื่องและทำการหาปริมาณโดยใช้โปรแกรม Topas โดยผลที่ออกมาจะแสดงในหน่วยร้อยละของปริมาณผลึกที่วัดได้



รูปที่ 3.2 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยวิธีการหักเหแสง Bruker (รุ่น D2 Phaser)

3.2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

ตัวอย่างจำนวน 21 ตัวอย่าง ทั้งก่อนและหลังทำการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหา ลักษณะพื้นผิว ขนาด รูปร่าง และการกระจายตัว โดยตัวอย่างใช้ปริมาณเพียงเล็กน้อยไม่ถึง 1 กรัม แต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาติดลงบนแท่งโลหะและเคลือบทองเป็นการทำให้ตัวอย่างนำไฟฟ้า จากนั้นจะนำเอาตัวอย่างเข้าเครื่อง ก่อนทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง JEOL (รุ่น JSM-6010LV) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ต้องปรับให้เป็นระบบสุญญากาศ (High Vacuum Mode) เพื่อไล่ความชื้น จึงทำให้ได้รายละเอียดที่ดี กำลังขยายสูง และภาพที่คมชัด โดยอาศัยหลักการการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็กหรือที่เรียกว่าเลนส์แม่เหล็ก ทำให้ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้ามากระทบกับชิ้นงาน เกิดอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนต่อชิ้นงาน เนื่องจากลำอิเล็กตรอนที่วิ่งมากระทบชิ้นงานมีพลังงานสูง ทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชิ้นงาน ใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 20 นาทีต่อตัวอย่าง ผลที่ได้จะออกมาเป็นภาพ ตามกำลังขยายที่ตั้งไว้



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

3.2.4 เครื่องวิเคราะห์ความหนืด (Viscometer)

ตัวอย่างจำนวน 21 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหาความหนืด (Viscosity) จุดคราก (Yield Point) และ (Gel Strength) ของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเบนโทไนต์ โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาใส่ไว้ในกระบอกและเลื่อนกระบอกหมุนลงไปในน้ำโคลนถึงเส้นที่กำหนดไว้ สำหรับการหาความหนืดทำได้โดยโยกแกนบังคับไปที่ความเร็ว 300 และ 600 รอบต่อ นาที ส่วนการหา Gel Strength ทำได้โดยการปรับความเร็วเป็นที่ 3, 6, 100, 200, 300 และ 600 รอบต่อ นาที ใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 25 นาทีต่อตัวอย่าง โดยค่าความหนืดที่ได้จะมีค่าเป็น เซนติพอยส์ (Centipoises) เครื่องมือวิเคราะห์ความหนืด แสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องวิเคราะห์ความหนืด จุดคราก และ Gel Strength fann (รุ่น 35SA 115-Volt)

3.2.5 เครื่องวิเคราะห์การซึมผ่าน (Filter Press)

ตัวอย่างจำนวน 21 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาทำการซึมผ่านของน้ำโคลนขุดเจาะผ่านตัวกรอง (Filtration) ของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเบนโทไนต์ โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาใส่ไว้ในกระบอกบรรจุน้ำโคลน ประกอบด้วย ท่อเหล็กทรงกระบอก ฝาปิด ด้านบน ตะแกรงลวด กระจายกรอง ประเก็นยาง และฝาครอบด้านล่าง โดยกระจายกรองใช้เป็นตัวจับผงน้ำโคลน ให้สร้างเป็น Mud cake และปล่อยให้ส่วนที่เป็นน้ำ Mud filtrate ผ่านตะแกรงลวดลงไปยังหลอดแก้ววัดปริมาตรด้านล่าง ดังแก๊สไนโตรเจนเป็นตัวส่งความดันให้กระบอกบรรจุน้ำโคลน ใช้ความดัน 100 ± 5 ปอนด์ ต่อ ตร.นิ้ว ใช้เวลานาน 30 นาทีต่อตัวอย่าง โดยจะทำการบันทึกปริมาณของ Mud Filtrate เมื่อถึงเวลา 1, 4, 9, 16, 25 และ 30 นาที ส่วนแผ่นผนังโคลน ได้ทำการบรรยายลักษณะ ได้แก่ สี ผิวเนื้อ ความอ่อนตัว ความกว้าง และความหนา เครื่องวิเคราะห์การซึมผ่าน (Filter Press) แสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องวิเคราะห์การซึมผ่าน fann (รุ่น 300)

3.2.6 เครื่องวิเคราะห์ความหนาแน่น (Mud Balance)

ตัวอย่างจำนวน 21 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหาความหนาแน่น (Density) ของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเบนโทไนต์ โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาใส่ไว้ในถ้วยใส่จนเต็ม และปิดฝา เช็ดน้ำโคลนที่ล้นออกมาจากรูขนาดเล็กที่ฝาและรอบๆ ด้วยให้หมด วางคาน Mud Balance ลงบนที่รับคาน และถ่วงดุลคานให้อยู่ในแนวระดับราบโดยเลื่อนตัวถ่วงตามคานสเกล อ่านความหนาแน่นตรงขอบของดรัม โดยความหนาแน่นที่ได้จะมีค่าเป็น กรัมต่อลบ.ซม. (g/cm^3) เครื่องมือวิเคราะห์ความหนาแน่นแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องวิเคราะห์ความหนาแน่น

3.2.7 เครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter)

ตัวอย่างจำนวน 21 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหาความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเบนโทไนต์ โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาใส่ไว้ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้ววางหัววัดด้วยกระแสน้ำสะอาดแล้วเช็ดเบาๆ ให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู แล้วจุ่มหัววัดลงไปในน้ำโคลนที่จะวัด จากนั้นคนน้ำโคลนรอบๆ หัววัด โดยการหมุนบีกเกอร์ ใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 10 นาทีต่อตัวอย่าง เครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง แสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง OAKTON (รุ่น pH 700)

3.2.8 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง (Solid content)

ตัวอย่างจำนวน 21 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหาปริมาณของแข็ง (Solid Content) ของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเบนโทไนต์ โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาใส่ไว้ในกระบอกก้น 50 มิลลิลิตร เช็ดน้ำโคลนที่เกินออกให้หมดและหมุนกระบอกใส่น้ำโคลนเข้ากับกระบอกส่วนบน จากนั้นใส่กระบอกก้นเข้าไปในกล่องฉนวน และปิดฝากล่องฉนวน ให้เข้าที่ วางหลอดวัดปริมาตรไว้ใต้ที่ปล่อยน้ำของกล่องควมแน่น และเปิดเครื่องทำความร้อน ให้ความร้อนต่อน้ำโคลนจนกระทั่งน้ำหยดกลับตัวออกมาหมดหรือจนกระทั่งไฟบอกเหตุที่ตัวควบคุมความร้อนดับ ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 20 นาทีต่อตัวอย่าง โดยปริมาณของแข็งที่ได้จะมีค่าเป็นร้อยละเครื่องวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง แสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง fann (MODEL 50 ml)

3.2.9 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณทราย (Sand content)

ตัวอย่างจำนวน 21 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหาปริมาณทราย ของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเบนโทไนต์ โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูกเทลงในหลอด (Sand Content Tube) จนถึงระดับ “Mud to Here” เติมน้ำเพิ่มเข้าไปจนถึงระดับ “Water to Here” ปิดปากหลอดแก้วด้วยจุกแล้วเขย่าขึ้นลงไปมา แล้วเทส่วนผสมนี้ลงบนตะแกรงล้างทุกอย่างในหลอดด้วย

น้ำสะอาด จากนั้นสวมกรวยเข้ากับ หลอดวัดปริมาณของแข็ง ค่อยๆ กลับข้างตะแกรงลงบนกรวย ล้างทรายที่ตกค้างอยู่บนตะแกรงกลับเข้าไปในหลอดวัดปริมาณของแข็งให้หมด แล้วอ่านปริมาณ ทรายที่ตกตะกอนก้นหลอดที่มีสเกล แล้วอ่านออกมาเป็นปริมาณร้อยละของทรายที่มีอยู่ในน้ำโคลน โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 15 นาทีต่อตัวอย่าง ซึ่งเครื่องวิเคราะห์ปริมาณทราย แสดงใน รูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณทราย fann

3.2.10 เครื่องวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity Meter)

ตัวอย่างจำนวน 21 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนชุดเจาะ นำมาหาความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) ของน้ำโคลนชุดเจาะผสมเบนโทไนต์ โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาใส่ไว้ในหลอดวัด โดยไม่ให้มีฟองอากาศ ต่อหลอดวัดเข้ากับขั้ววัด จากนั้นปรับช่วงของการแสดงค่าให้เหมาะสม โดยก่อนการวัดความต้านทานไฟฟ้าต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือโดยการวัดความต้านทานของน้ำเกลือที่ทราบค่าแน่นอน มาเปรียบเทียบกับความต้านทานไฟฟ้าของน้ำโคลนชุดเจาะ ใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 15 นาทีต่อตัวอย่าง โดยค่าความหนืดที่ได้จะมีค่าเป็น โอห์ม-เมตร (Ohm-Meters) โดยเครื่องวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้า fann (รุ่น 88C) แสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เครื่องวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้า fann (รุ่น 88C)

บทที่ 4

การวิเคราะห์และผลการทดลอง

วัตถุประสงค์

เนื้อหาในบทนี้อธิบายถึงการวิเคราะห์องค์ประกอบของเบนโทไนต์แต่ละแหล่ง ในน้ำโคลนขุดเจาะ ซึ่งประกอบไปด้วย การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) สารประกอบโดยใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกโตริเตอร์ (XRD) และการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของพื้นผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของเบนโทไนต์แต่ละแหล่ง ในน้ำโคลนขุดเจาะ ทั้งก่อนและหลังการผสมน้ำโคลน และบทนี้อธิบายผลของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านวิทยากระแสน้ำโคลนขุดเจาะ (Rheological property)

4.1 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF)

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ก่อนการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุออกไซด์จากแต่ละตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 จากผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของ แบริต์ เบนโทไนต์ ในแต่ละแหล่ง (ตารางที่ 4.1) มีรายละเอียดต่อไปนี้ คือ

แบริต์ ส่วนใหญ่ประกอบด้วย BaO, SO₃ และ SiO₂ คิดเป็นร้อยละ 53.80, 27.10 และ 17.90 ตามลำดับ และมีปริมาณของ Fe₂O₃ ประมาณร้อยละ 1.20

เบนโทไนต์ของประเทศสหรัฐอเมริกา ส่วนใหญ่ประกอบด้วย SiO_2 , Al_2O_3 , MgO และ SO_3 คิดเป็นร้อยละ 69.83, 21.97, 3.93 และ 1.14 ตามลำดับ และมีปริมาณของ K_2O , CaO , Fe_2O_3 , SrO , Rh_2O_3 , MnO_2 และ TiO_2 ประมาณร้อยละ 3.13

เบนโทไนต์ของประเทศอินโดนีเซีย ส่วนใหญ่ประกอบด้วย SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO และ MgO คิดเป็นร้อยละ 59.97, 17.98, 7.74, 6.23 และ 5.38 ตามลำดับ และมีปริมาณของ K_2O , SrO , Rh_2O_3 , MnO_2 , TiO_2 และ ZnO ประมาณร้อยละ 2.70

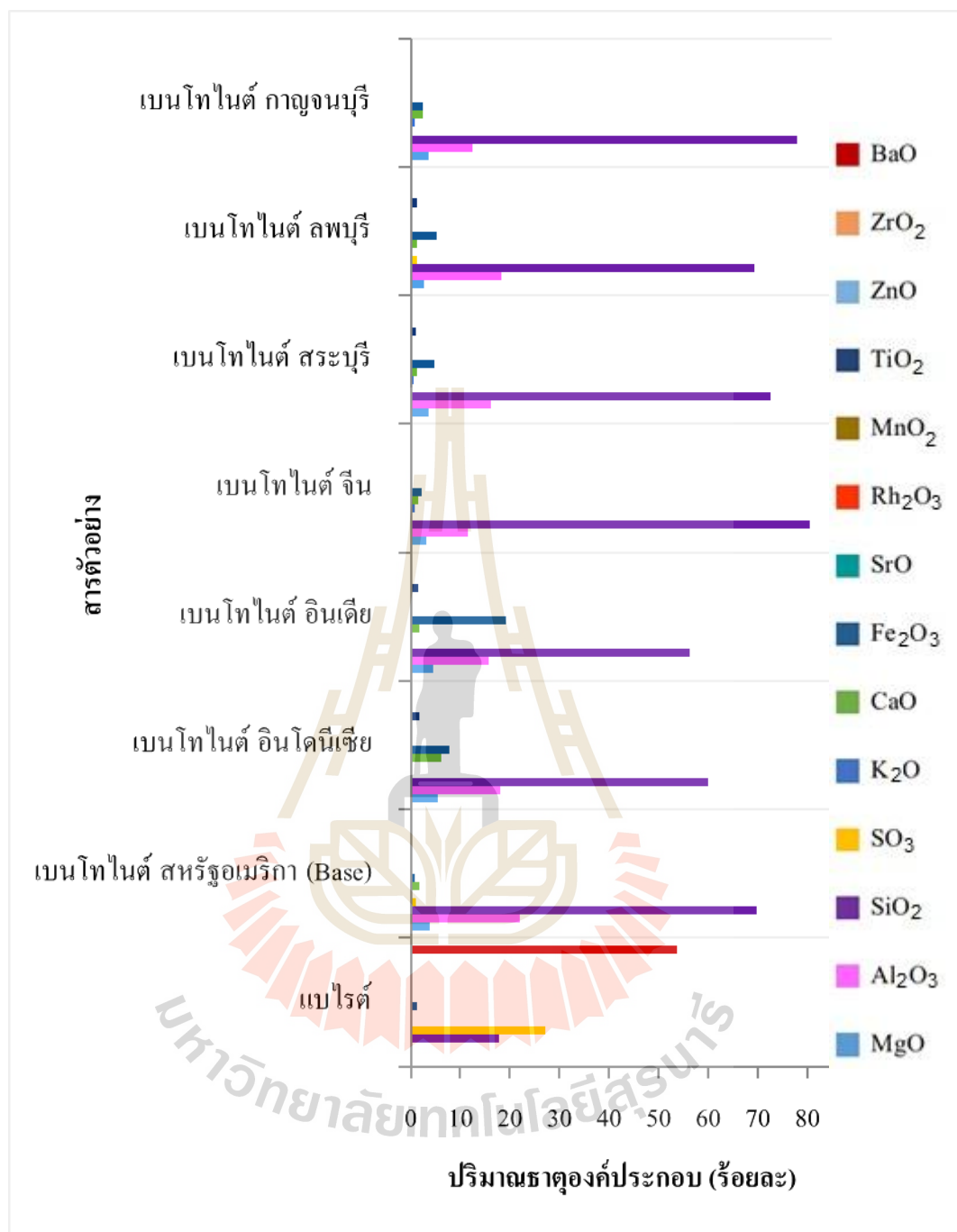
เบนโทไนต์ของประเทศอินเดีย ส่วนใหญ่ประกอบด้วย SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MgO , CaO และ TiO_2 คิดเป็นร้อยละ 56.35, 19.16, 15.82, 4.54, 1.85 และ 1.46 ตามลำดับ และมีปริมาณของ SO_3 , K_2O , Rh_2O_3 , MnO_2 , ZnO และ ZrO_2 ประมาณร้อยละ 0.82

เบนโทไนต์ของประเทศจีน ส่วนใหญ่ประกอบด้วย SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , Fe_2O_3 และ CaO คิดเป็นร้อยละ 80.45, 11.51, 3.16, 2.11 และ 1.58 ตามลำดับ และมีปริมาณของ SO_3 , K_2O , SrO , Rh_2O_3 , MnO_2 , TiO_2 และ ZrO_2 ประมาณร้อยละ 2.70

เบนโทไนต์ของจังหวัดสระบุรี ส่วนใหญ่ประกอบด้วย SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 และ MgO คิดเป็นร้อยละ 72.62, 16.18, 4.67 และ 3.54 ตามลำดับ และมีปริมาณของ SO_3 , K_2O , CaO , SrO , Rh_2O_3 , MnO_2 , TiO_2 , ZnO และ ZrO_2 ประมาณร้อยละ 0.91

เบนโทไนต์ของจังหวัดลพบุรี ส่วนใหญ่ประกอบด้วย SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 และ MgO คิดเป็นร้อยละ 69.29, 18.29, 5.32 และ 2.65 ตามลำดับ และมีปริมาณของ SO_3 , K_2O , CaO , SrO , Rh_2O_3 , MnO_2 , TiO_2 , ZnO และ ZrO_2 ประมาณร้อยละ 4.45

เบนโทไนต์ของจังหวัดกาญจนบุรี ส่วนใหญ่ประกอบด้วย SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO และ Fe_2O_3 คิดเป็นร้อยละ 77.90, 12.42, 3.69, 2.50 และ 2.38 ตามลำดับ และมีปริมาณของ K_2O , SrO , Rh_2O_3 และ MnO_2 ประมาณร้อยละ 1.1



รูปที่ 4.1 ปริมาณร้อยละของธาตุองค์ประกอบเฉลี่ยในตัวอย่างก่อนการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ

จากผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบหลักของตัวอย่างแต่ละตัว (รูปที่ 4.1) ซึ่งมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันมาก โดยพบว่า เบนโทไนด์แต่ละแหล่ง มีปริมาณของ SiO_2 สูงสุด ซึ่งเบนโทไนด์จีน มี SiO_2 ปริมาณร้อยละ 80.45 รองมาเป็นเบนโทไนด์กาญจนบุรี มีปริมาณร้อยละ 77.9 เบนโทไนด์สระบุรี มีปริมาณร้อยละ 72.626 เบนโทไนด์สหรัฐอเมริกา มีปริมาณร้อยละ 69.83 เบนโทไนด์ลพบุรีมีปริมาณร้อยละ 69.29 เบนโทไนด์อินโดนีเซีย มีปริมาณร้อยละ 59.969 และเบนโทไนด์อินเดีย มีปริมาณร้อยละ 56.352

และในธาตุประกอบทางเคมี โดยพบว่า MgO สูงสุดร้อยละ 5.38 (เบนโทไนด์อินโดนีเซีย) Al_2O_3 สูงสุด ร้อยละ 21.967 (เบนโทไนด์สหรัฐอเมริกา) SiO_2 สูงสุด ร้อยละ 80.45 (เบนโทไนด์จีน) SO_3 สูงสุด ร้อยละ 1.26 (เบนโทไนด์ลพบุรี) K_2O สูงสุด ร้อยละ 0.901 (เบนโทไนด์กาญจนบุรี) CaO สูงสุด ร้อยละ 6.23 (เบนโทไนด์อินโดนีเซีย) Fe_2O_3 สูงสุด ร้อยละ 19.159 (เบนโทไนด์อินเดีย) SrO สูงสุด ร้อยละ 0.078 (เบนโทไนด์อินโดนีเซีย) Rb_2O_3 สูงสุด ร้อยละ 0.074 (เบนโทไนด์กาญจนบุรี) MnO_2 สูงสุด ร้อยละ 0.229 (เบนโทไนด์อินเดีย) TiO_2 สูงสุด ร้อยละ 1.7897 (เบนโทไนด์อินโดนีเซีย) ZnO สูงสุด ร้อยละ 0.054 (เบนโทไนด์อินโดนีเซีย) ZrO_2 สูงสุด ร้อยละ 0.033 (เบนโทไนด์ลพบุรี)

ในส่วนเบนโทไนด์อินโดนีเซียและกาญจนบุรี ไม่พบ SO_3 และ SrO ไม่พบในเบนโทไนด์อินเดีย TiO_2 ไม่พบในเบนโทไนด์กาญจนบุรี ZnO ไม่พบในเบนโทไนด์สหรัฐอเมริกา จีน และกาญจนบุรี ZrO_2 ไม่พบในเบนโทไนด์สหรัฐอเมริกา อินโดนีเซีย และ กาญจนบุรี และในส่วนของแบไรต์ มีปริมาณของ BaO สูงสุดคือร้อยละ 53.8

4.1.2 ผลการวิเคราะห์หลังการผสมเป็นน้ำโคลนชุดเจาะ

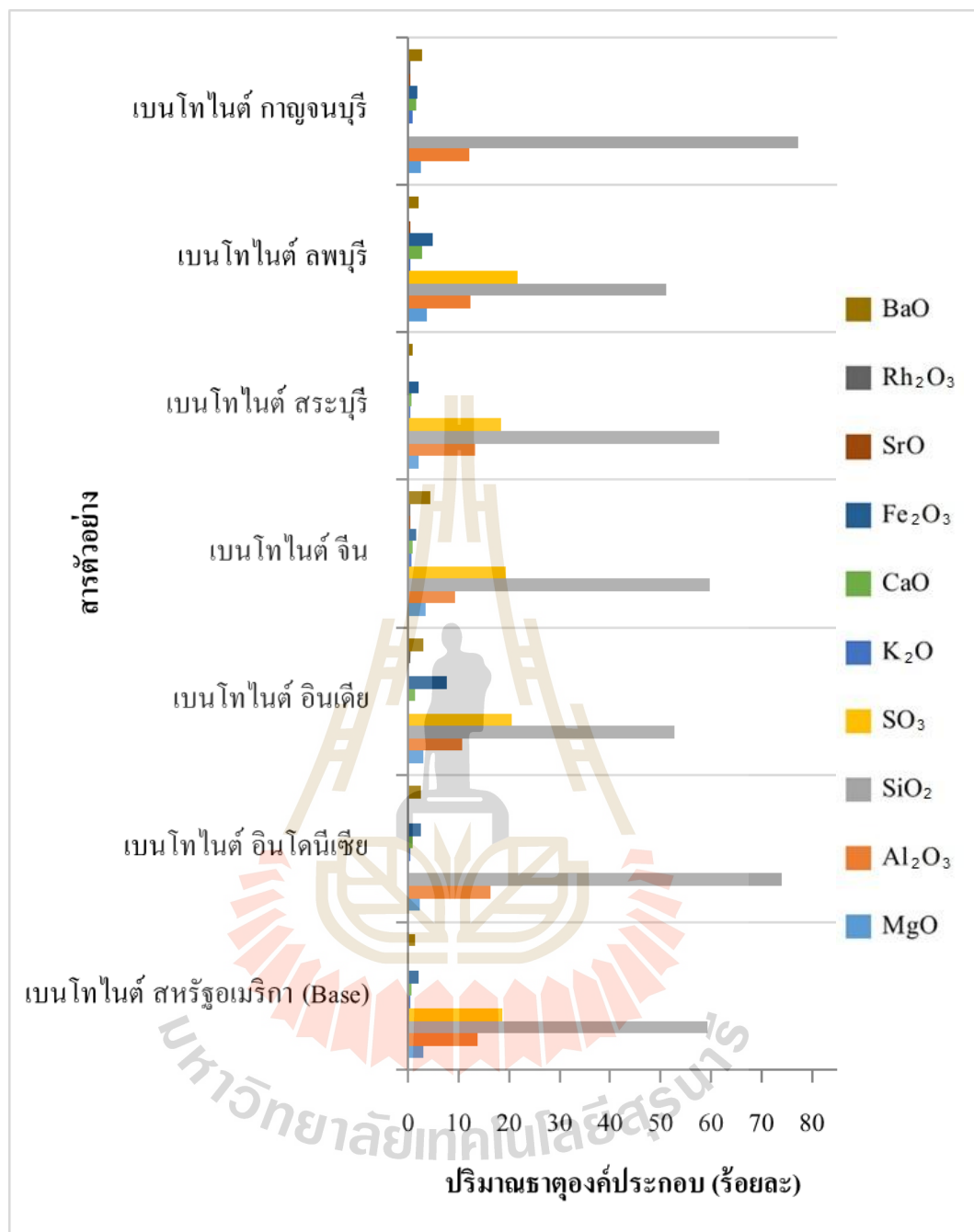
ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบในตัวอย่างหลังการผสมเป็นน้ำโคลนชุดเจาะ แสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 ซึ่งตัวอย่างที่นำมาหาปริมาณธาตุองค์ประกอบ เป็นตัวอย่างที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้เป็นน้ำโคลนชุดเจาะ ซึ่งนำมาใช้ศึกษาทั้งหมด 21 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.2 ปริมาณร้อยละของธาตุองค์ประกอบที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ในตัวอย่างหลังการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ

ตัวอย่าง ที่	อุณหภูมิ (°C)	แหล่ง เบนโทไนต์	ปริมาณธาตุองค์ประกอบ (ร้อยละ)										
			MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	SrO	Rh ₂ O ₃	BaO	รวม
1	30	สหรัฐ	3.031	13.743	59.92	19.011	0.412	0.66	2.099	0.173	0.146	0.805	100
2	60	อเมริกา	2.985	13.96	60.934	17.53	0.658	0.644	1.829	0.311	0.147	1.002	100
3	90	(Base)	2.908	13.75	57.34	19.772	0.337	0.782	1.962	0.319	0.268	2.562	100
4	30	อินโดนีเซีย	2.535	15.106	74.953	-	0.522	1.197	2.433	0.344	0.279	2.631	100
5	60		2.422	17.628	72.464	-	0.534	0.992	2.888	0.295	0.297	2.48	100
6	90		2.046	16.307	74.481	-	0.432	0.865	2.602	0.299	0.247	2.721	100
7	30	อินเดีย	2.624	10.613	54.038	19.87	0.233	1.245	7.146	-	0.35	3.881	100
8	60		3.34	11.09	51.417	20.21	0.107	1.595	8.815	-	0.388	3.038	100
9	90		3.285	10.495	52.595	21.84	0.215	1.563	7.313	-	0.295	2.399	100
10	30	จีน	3.914	9.641	60.349	18.73	0.529	0.888	1.513	0.358	0.335	3.743	100
11	60		3.415	9.376	59.182	19.403	0.56	0.86	1.489	0.39	0.37	4.955	100
12	90		3.021	8.963	59.686	19.646	0.603	0.951	1.523	0.406	0.373	4.828	100

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	อุณหภูมิ (°C)	แหล่ง เบนโทไนต์	ปริมาณธาตุองค์ประกอบ (ร้อยละ)										
			MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	SrO	Rh ₂ O ₃	BaO	รวม
13	30	สระบุรี	2.231	12.587	62.511	18.439	0.374	0.669	1.95	0.201	0.173	0.865	100
14	60		2.243	13.235	60.802	18.987	0.497	0.77	2.08	0.223	0.199	0.964	100
15	90		2.013	13.805	61.932	18.112	0.304	0.487	1.946	0.254	0.208	0.939	100
16	30	ลพบุรี	3.915	11.694	50.527	23.073	0.561	2.752	4.796	0.343	0.267	2.072	100
17	60		3.831	12.596	51.399	21.21	0.432	2.74	4.952	0.357	0.37	2.113	100
18	90		3.549	12.84	51.623	20.758	0.444	3.064	5.031	0.37	0.292	2.029	100
19	30	กาญจนบุรี	2.421	12.548	76.703	-	0.867	1.829	1.653	0.528	0.453	2.998	100
20	60		2.801	11.653	77.64	-	0.768	1.422	1.904	0.418	0.356	3.038	100
21	90		2.616	11.891	77.84	-	0.804	1.804	1.986	0.349	0.296	2.414	100



รูปที่ 4.2 ปริมาณร้อยละของธาตุองค์ประกอบเฉลี่ยในตัวอย่างไม่ผ่านการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ

จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำโคลนหลังการผสมด้วยเบนโทไนต์จากแต่ละแหล่ง ส่วนใหญ่ประกอบด้วยธาตุองค์ประกอบหลักที่เหมือนกัน โดยพบว่า SiO₂ สูงสุดร้อยละ 77.84 (เบนโทไนต์กาญจนบุรี) SO₃ สูงสุดร้อยละ 23.07 (เบนโทไนต์ลพบุรี) Al₂O₃ สูงสุดร้อยละ 17.63 (เบนโทไนต์อินโดนีเซีย) Fe₂O₃ สูงสุดร้อยละ 8.82 (เบนโทไนต์อินเดีย) BaO สูงสุดร้อยละ 4.96

และ MgO สูงสุดร้อยละ 3.91 (เบนโทไนต์จีน) CaO สูงสุดร้อยละ 3.06 (เบนโทไนต์ลพบุรี) K₂O สูงสุดร้อยละ 0.87 (เบนโทไนต์กาญจนบุรี) SrO สูงสุดร้อยละ 0.53 (เบนโทไนต์กาญจนบุรี) และ Rh₂O₃ สูงสุดร้อยละ 0.45 (เบนโทไนต์กาญจนบุรี)

4.2 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟกโตรมิเตอร์ (XRD)

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ก่อนการผสมน้ำโคลนชุดเจาะ

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณแร่จากตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

แบไรต์ (Barite) ส่วนใหญ่ประกอบด้วย แร่แบไรต์ร้อยละ 77.30 แร่ควอตซ์ร้อยละ 21.3 และแร่แอนไฮไดรต์ร้อยละ 1.4

เบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา ประกอบด้วย แร่ไมโครคลายน์ร้อยละ 29.98 แร่เคโอลิไนต์ร้อยละ 18.65 แร่ทัลก์ร้อยละ 18.13 แร่ซิติการ์ร้อยละ 14.96 แร่อะนอร์ไทต์ร้อยละ 5.93 แร่แคลไซต์ร้อยละ 3.67 แร่ควอตซ์ร้อยละ 3.16 แร่โครไมท์ร้อยละ 2.94 และแร่ยิปซัมร้อยละ 2.58

เบนโทไนต์อินโดนีเซีย ประกอบด้วย แร่ไมโครคลายน์ร้อยละ 31.9 แร่ทัลก์ร้อยละ 21.18 แร่ซิติการ์ร้อยละ 13.64 แร่เคโอลิไนต์ร้อยละ 12.01 แร่อะนอร์ไทต์ร้อยละ 6.88 แร่แคลไซต์ร้อยละ 6.55 แร่ยิปซัมร้อยละ 3.11 แร่โครไมท์ร้อยละ 2.48 แร่ควอตซ์ร้อยละ 1.89 และแร่ฮีมาไทต์ร้อยละ 0.36

เบนโทไนต์อินเดีย ประกอบด้วย แร่ทัลก์ร้อยละ 38.89 แร่เคโอลิไนต์ร้อยละ 26.43 แร่ซิติการ์ร้อยละ 11.53 แร่ไมโครคลายน์ร้อยละ 9.08 แร่แคลไซต์ร้อยละ 7.27 แร่อะนอร์ไทต์ร้อยละ 2.32 แร่โครไมท์ร้อยละ 2.2 แร่ฮีมาไทต์ร้อยละ 1.34 แร่ควอตซ์ร้อยละ 0.54 และแร่ยิปซัมร้อยละ 0.4

เบนโทไนต์จีน ประกอบด้วย แร่ซิติการ์ร้อยละ 48.9 แร่ไมโครคลายน์ร้อยละ 22.31 แร่ทัลก์ร้อยละ 12.9 แร่เคโอลิไนต์ร้อยละ 6.85 แร่อะนอร์ไทต์ร้อยละ 5.08 แร่แคลไซต์ร้อยละ 1.84 แร่โครไมท์ร้อยละ 1.49 แร่ควอตซ์ร้อยละ 0.4 แร่ฮีมาไทต์ร้อยละ 0.22 และแร่ยิปซัมร้อยละ 0.01

เบนโทไนด์ของสระบุรี ประกอบด้วย แร่ซิลิการ้อยละ 63.2 แร่ไมโครคลายนร้อยละ 19.77 แร่เคโอลิไนต์ร้อยละ 7.32 แร่ทัลก์ร้อยละ 4.08 แร่โครไมท์ร้อยละ 2.01 แร่แคลไซต์ร้อยละ 1.47 แร่ควอตซ์ร้อยละ 1.12 แร่ยิปซัมร้อยละ 0.65 แร่อะนอร์ไทต์ร้อยละ 0.29 และแร่ฮีมาไทต์ร้อยละ 0.09

เบนโทไนด์ของลพบุรี ประกอบด้วย แร่ทัลก์ร้อยละ 28.51 แร่เคโอลิไนต์ร้อยละ 18.8 แร่แคลไซต์ร้อยละ 18.63 แร่ไมโครคลายนร้อยละ 16.89 แร่ซิลิการ้อยละ 11.95 แร่โครไมท์ร้อยละ 2.06 แร่อะนอร์ไทต์ร้อยละ 1.65 แร่ยิปซัมร้อยละ 0.96 แร่ฮีมาไทต์ร้อยละ 0.44 และแร่ควอตซ์ร้อยละ 0.11

เบนโทไนด์ของกาญจนบุรี ประกอบด้วย แร่ไมโครคลายนร้อยละ 40.21 แร่ทัลก์ร้อยละ 20.84 แร่แคลไซต์ร้อยละ 8.19 แร่เคโอลิไนต์ร้อยละ 8.18 แร่ควอตซ์ร้อยละ 8.01 แร่อะนอร์ไทต์ร้อยละ 5.77 แร่ซิลิการ้อยละ 4.19 แร่ยิปซัมร้อยละ 3.13 แร่โครไมท์ร้อยละ 1.4 และแร่ฮีมาไทต์ร้อยละ 0.08

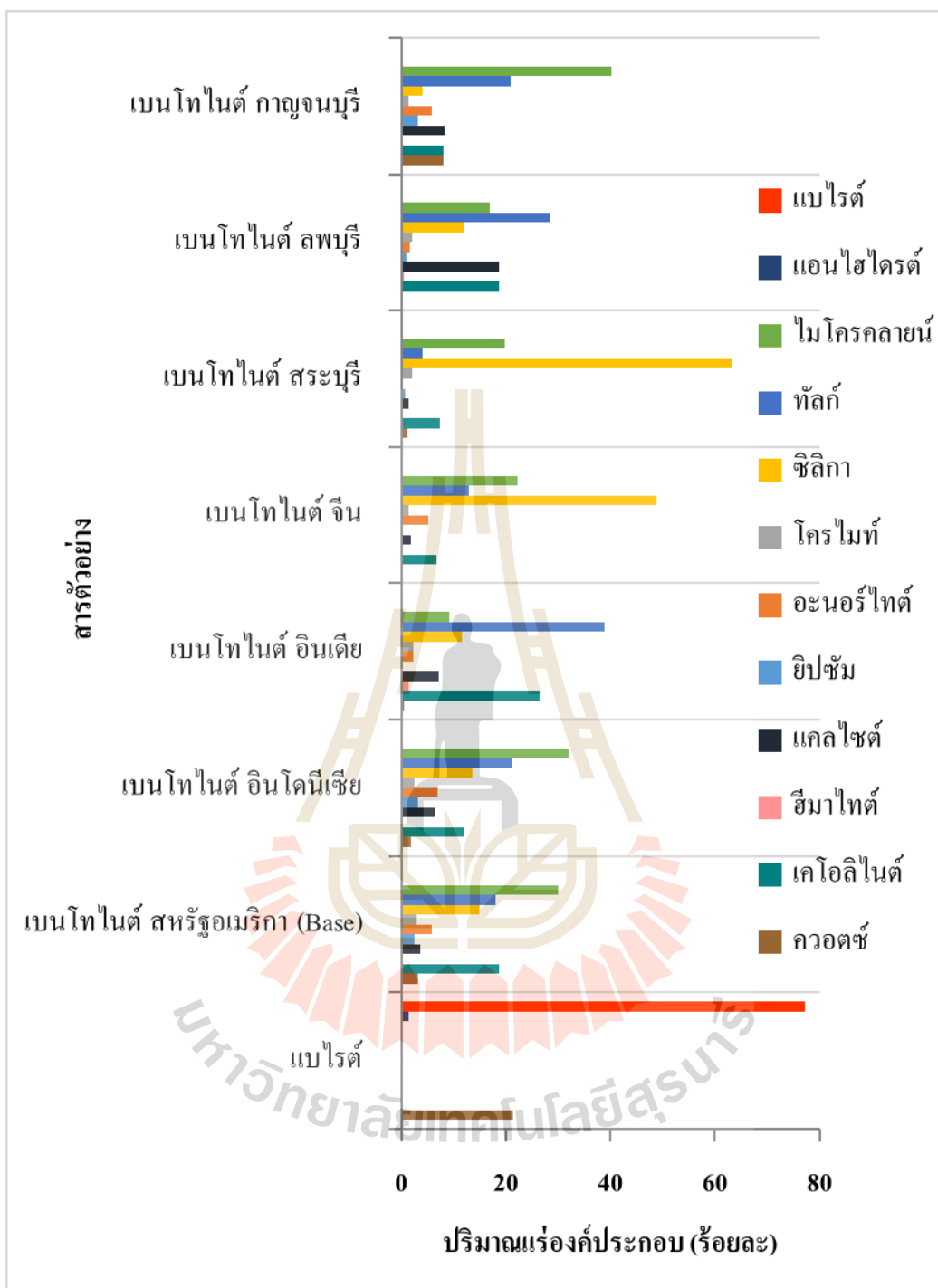
ตารางที่ 4.3 ปริมาณร้อยละแร่องค์ประกอบในตัวอย่างก่อนการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ

แร่ องค์ประกอบ (ร้อยละ)	แบไรต์	เบนโทไนด์						
		สหรัฐอเมริกา (Base)	อินโดนีเซีย	อินเดีย	จีน	สระบุรี	ลพบุรี	กาญจนบุรี
ควอตซ์	21.3	3.16	1.89	0.54	0.4	1.12	0.11	8.01
เคโอลิไนต์	-	18.65	12.01	26.43	6.85	7.32	18.8	8.18
ฮีมาไทต์	-	-	0.36	1.34	0.22	0.09	0.44	0.08
แคลไซต์	-	3.67	6.55	7.27	1.84	1.47	18.63	8.19
ยิปซัม	-	2.58	3.11	0.4	0.01	0.65	0.96	3.13
อะนอร์ไทต์	-	5.93	6.88	2.32	5.08	0.29	1.65	5.77

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

แร่ องค์ประกอบ (ร้อยละ)	แบไรต์	เบนโทไนต์						
		สหรัฐอเมริกา (Base)	อินโดนีเซีย	อินเดีย	จีน	สระบุรี	ลพบุรี	กาญจนบุรี
โครไมท์	-	2.94	2.48	2.2	1.49	2.01	2.06	1.4
ซิลิกา	-	14.96	13.64	11.53	48.9	63.2	11.95	4.19
ทัลก์	-	18.13	21.18	38.89	12.9	4.08	28.51	20.84
ไมโคร คลายน์	-	29.98	31.9	9.08	22.31	19.77	16.89	40.21
แอนไฮไดรต์	1.4	-	-	-	-	-	-	-
แบไรต์	77.3	-	-	-	-	-	-	-
รวม	100	100	100	100	100	100	100	100





รูปที่ 4.3 ปริมาณแร่องค์ประกอบในตัวอย่างก่อนการผสมน้ำโคลนชุดเจาะ

จากการวิเคราะห์แรงค์ประกอบหลักของแต่ละตัวอย่าง มีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน โดยพบว่าแบไรต์ มีปริมาณของแร่แบไรต์สูงสุดคือร้อยละ 77.3 ส่วนแร่เบนโทไนต์ พบว่า แร่ควอตซ์สูงสุด ร้อยละ 8.01 (เบนโทไนต์กาญจนบุรี) แร่เคโอลิไนต์ สูงสุด ร้อยละ 26.43 (เบนโทไนต์อินเดีย) แร่ฮีมาไทต์สูงสุด ร้อยละ 1.34 (เบนโทไนต์อินเดีย) แร่แคลไซต์สูงสุด ร้อยละ 18.63 (เบนโทไนต์ลพบุรี) แร่ยิปซัมสูงสุด ร้อยละ 3.13 (เบนโทไนต์กาญจนบุรี) แร่อะนอร์ไทต์สูงสุด ร้อยละ 6.88 (เบนโทไนต์อินโดนีเซีย) แร่โครไมท์สูงสุด ร้อยละ 2.94 (เบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา) แร่ซิลิกาสูงสุด ร้อยละ 63.2 (เบนโทไนต์สระบุรี) แร่ทัลก์สูงสุด ร้อยละ 38.89 (เบนโทไนต์อินเดีย) แร่ไมโครคลายน์สูงสุด ร้อยละ 40.21 (เบนโทไนต์กาญจนบุรี) ในส่วน แร่ฮีมาไทต์ ไม่พบในเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา

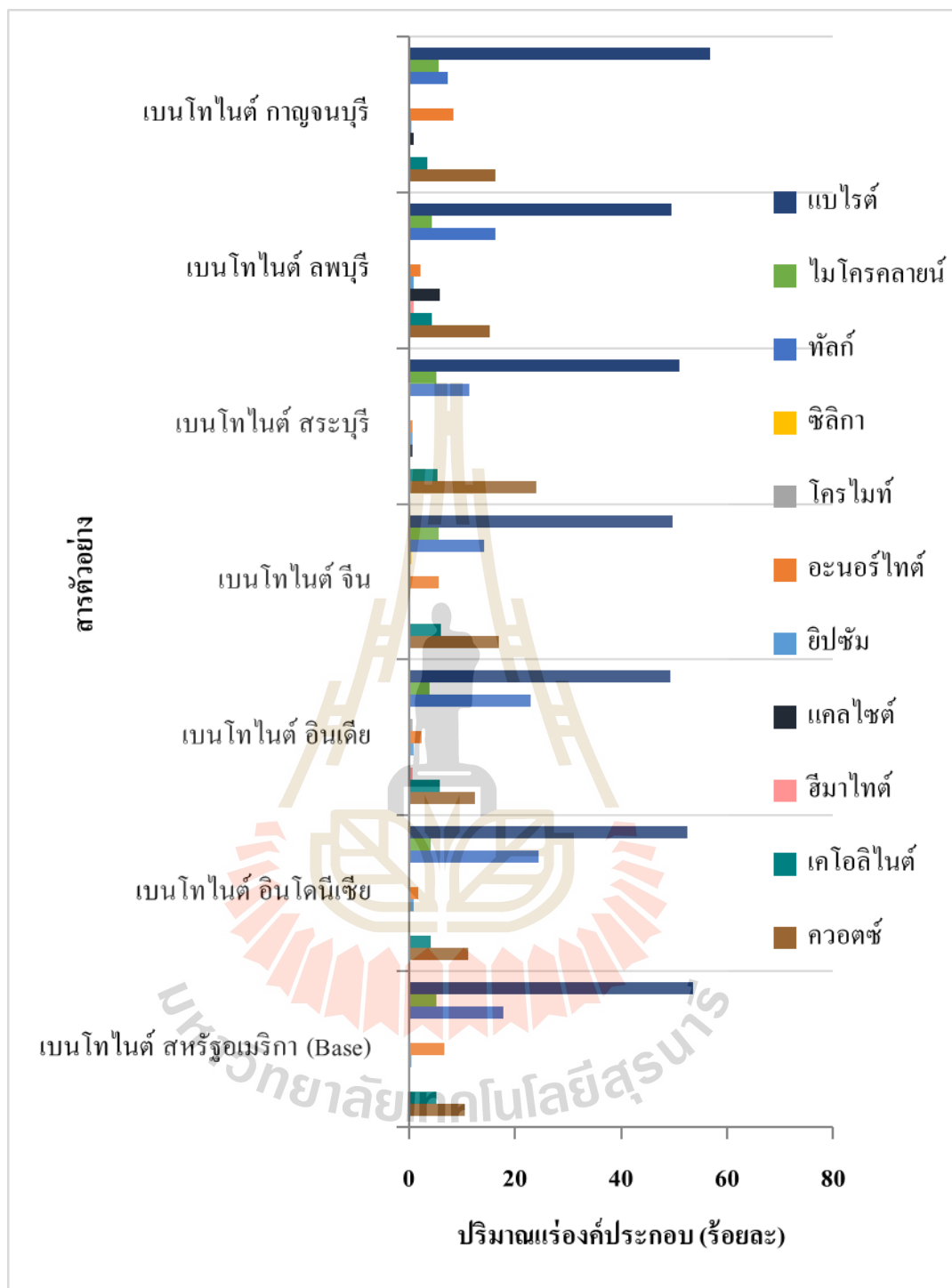


ตารางที่ 4.4 ปริมาณร้อยละแร่องค์ประกอบในตัวอย่างหลังการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ

ตัวอย่างที่	อุณหภูมิ (°C)	แหล่งเบนโทไนต์	ควอตซ์	แคลไซต์	ฮีมาไทต์	แคลไซต์	ยิปซัม	อะนอร์ไทต์	โครไมต์	ซิลิกา	ทัลก์	ไมโครคลายน์	แบไรต์	รวม
1	30	สหรัฐอเมริกา (Base)	10.47	5.86	-	0.27	0.35	7.63	0.12	0.01	16	5.91	53.38	100
2	60		10.11	5.03	-	0.12	0.49	6.23	0.26	0.16	17.56	5.16	54.88	100
3	90		11.052	4.64	-	0.2	0.453	6.396	0.34	0.13	19.93	4.59	52.269	100
4	30	อินโดนีเซีย	10.97	4.11	0.32	0.04	0.83	1.71	0.42	0.21	27.36	4.63	49.4	100
5	60		11.29	3.99	0.211	0.092	0.909	1.967	0.34	0.199	23.72	3.38	53.902	100
6	90		11.15	4.049	0.28	-	0.931	1.96	0.416	0.116	22.673	4.141	54.284	100
7	30	อินเดีย	12.73	5.29	0.65	0.15	0.9	2.57	0.72	0.03	24.67	4.31	47.98	100
8	60		12.61	6.09	0.87	0.39	1.06	2.16	0.7	0.29	21.89	3.89	50.05	100
9	90		12.107	5.99	0.81	0.47	1.124	2.36	0.698	0.25	22.489	3.832	49.87	100
10	30	จีน	17.368	6.632	0.23	0.423	0.35	5.103	0.364	0.58	13.39	5.8	49.76	100
11	60		16.71	6.022	0.12	0.17	0.5	5.435	0.34	0.43	15.84	5.15	49.283	100

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	อุณหภูมิ (°C)	แหล่งเบนโทไนต์	ควอตซ์	เคโอลิไนต์	ฮีมาไทต์	แคลไซต์	ยิปซัม	อะนอร์ไทต์	โครไมต์	ซิลิกา	ทัลก์	ไมโทคลายน์	แบไรต์	รวม
12	90		17.068	5.833	0.17	0.54	0.32	6.09	0.28	0.325	13.33	5.733	50.311	100
13	30	สระบุรี	23.61	5.46	0.25	0.81	0.46	0.83	0.15	0.32	10.93	5.53	51.65	100
14	60		25.29	5.279	0.154	0.64	0.71	0.72	0.14	0.22	11.09	4.93	50.827	100
15	90		23.11	5.48	0.302	0.74	0.73	0.893	0.209	0.227	12.52	5.03	50.759	100
16	30	ลพบุรี	14.51	4.25	1.19	5.21	0.81	2.72	0.25	0.01	17.27	5.05	48.73	100
17	60		15.55	3.87	0.99	6.67	1.08	1.91	0.118	0.09	15.461	4.11	50.151	100
18	90		15.769	5.072	0.93	5.45	0.92	2.057	0.307	0.14	16.29	3.65	49.415	100
19	30	กาญจนบุรี	15.09	3.53	0.04	0.78	0.46	8.59	0.2	0.12	6.52	6.07	58.6	100
20	60		16.63	3.82	0.18	0.815	0.7	9.164	0.11	0.28	7.147	5.507	55.647	100
21	90		17.067	3.36	0.3	0.89	0.66	7.23	0.13	0.32	8.453	5.25	56.34	100



รูปที่ 4.4 ปริมาณร้อยละแร่ประกอบเฉลี่ยในตัวอย่างหลังการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ

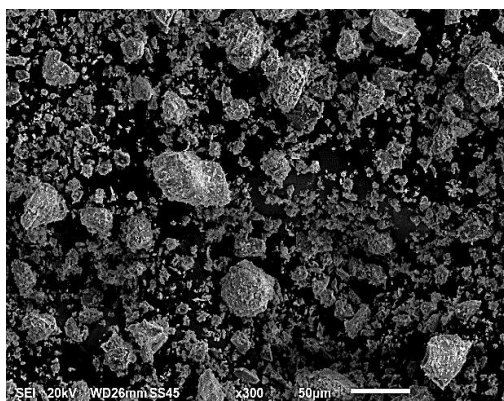
จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำโคลนหลังการผสมด้วยเบนโทไนต์จากแต่ละแหล่ง ส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่องค์ประกอบหลักที่เหมือนกัน โดยพบว่ามีปริมาณของแร่แบไรต์สูงสุด คือ ร้อยละ 58.6 แร่ทัลก์ สูงสุดร้อยละ 27.36 (เบนโทไนต์อินโดนีเซีย) แร่ควอตซ์ สูงสุดร้อยละ 17.368 (เบนโทไนต์จีน) แร่อะนอร์ไทต์ สูงสุดร้อยละ 9.164 (เบนโทไนต์กาญจนบุรี) แร่แคลไซต์ สูงสุดร้อยละ 6.67 (เบนโทไนต์ลพบุรี) แร่ไมโครคลายน์ สูงสุดร้อยละ 6.07 (เบนโทไนต์กาญจนบุรี) แร่เคโอลิไนต์ สูงสุดร้อยละ 6.632 (เบนโทไนต์จีน) แร่ฮีมาไทต์ สูงสุดร้อยละ 1.19 (เบนโทไนต์ลพบุรี) แร่ยิปซัม สูงสุดร้อยละ 1.124 (เบนโทไนต์อินเดีย) แร่โครไมท์ สูงสุดร้อยละ 0.72 (เบนโทไนต์อินเดีย) และ แร่ซิลิกา สูงสุดร้อยละ 0.58 (เบนโทไนต์จีน) ในส่วน แร่ฮีมาไทต์ ไม่พบในเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา และอินโดนีเซีย

จากการศึกษาปริมาณธาตุประกอบที่พบแสดงความสัมพันธ์กับแร่องค์ประกอบใน น้ำโคลนชุดเจาะ ดังต่อไปนี้ ปริมาณสารประกอบ BaO อยู่ในรูปของแร่แบไรต์ ส่วนปริมาณ สารประกอบ SiO₂ อยู่ในรูปของแร่ควอตซ์ แร่เคโอลิไนต์ แร่อะนอร์ไทต์ แร่ซิลิกา แร่ทัลก์ และแร่ ไมโครคลายน์ ปริมาณสารประกอบ SO₃ อยู่ในรูปของแร่แบไรต์ และแร่ยิปซัม ปริมาณ สารประกอบ Fe₂O₃ อยู่ในรูปของแร่ฮีมาไทต์ และแร่โครไมท์ และปริมาณสารประกอบแคลเซียม (CaO) อยู่ในรูปแร่แคลไซต์ โดยพบว่าอุณหภูมิระหว่าง 30 ถึง 90°C ไม่ส่งต่อการเปลี่ยนแปลงของ ธาตุ แร่ประกอบ และโครงสร้างผลึกของแร่ ซึ่งสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุและแร่ ประกอบนั้น

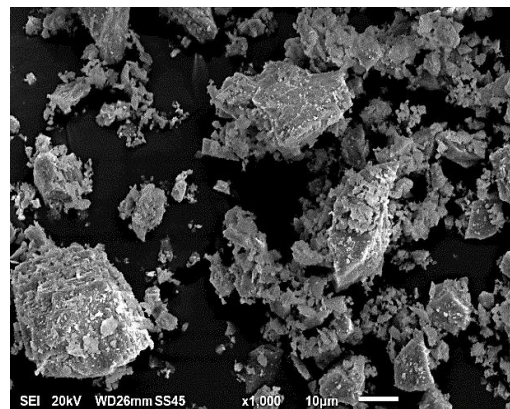
4.3 ผลการวิเคราะห์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ก่อนการผสมเป็นน้ำโคลนชุดเจาะ

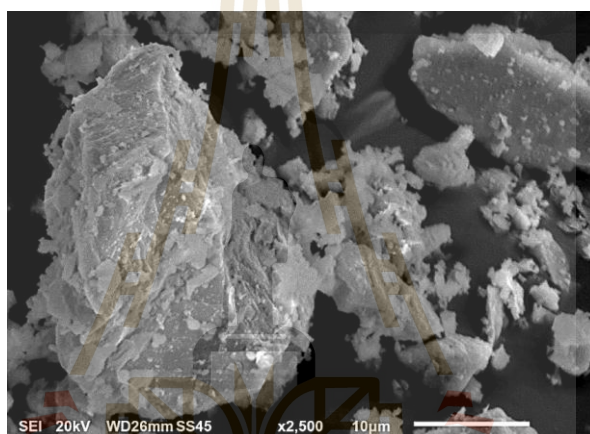
ตัวอย่างก่อนการผสมเป็นน้ำโคลนชุดเจาะ แสดงโดยรูปที่ 4.5 ถึง 4.11



(ก)

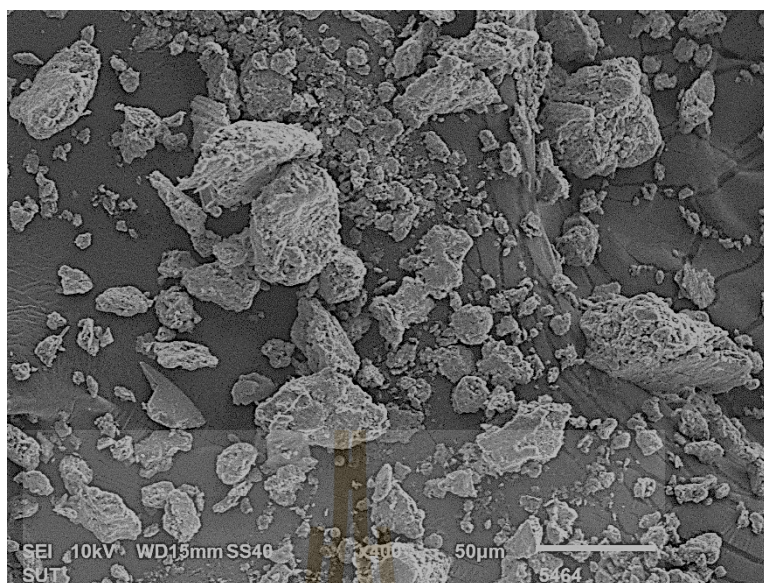


(ข)

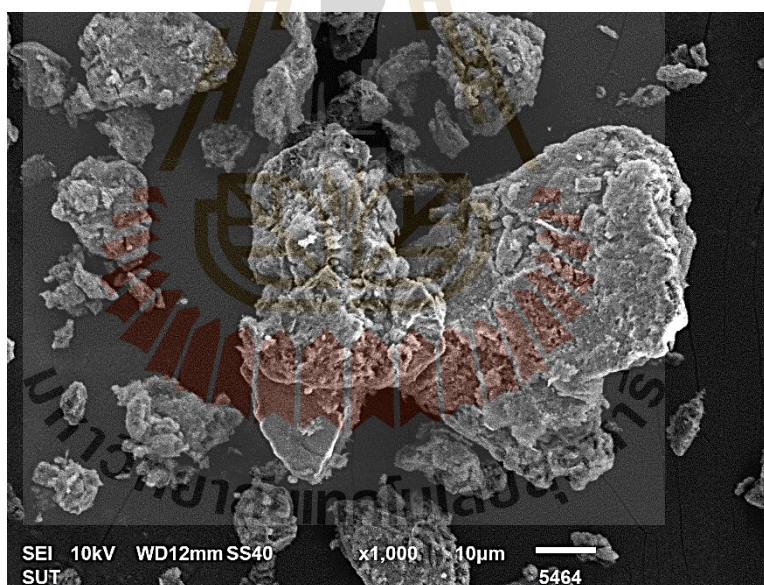


(ค)

รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของแบไรต์ก่อนการผสม (ก)-(ข) แสดงถึงขนาดของแบไรต์และการกระจายตัว และ (ค) แสดงลักษณะพื้นผิวของแบไรต์ที่เป็นเหลี่ยมและเศษชิ้นที่เรียวแหลม

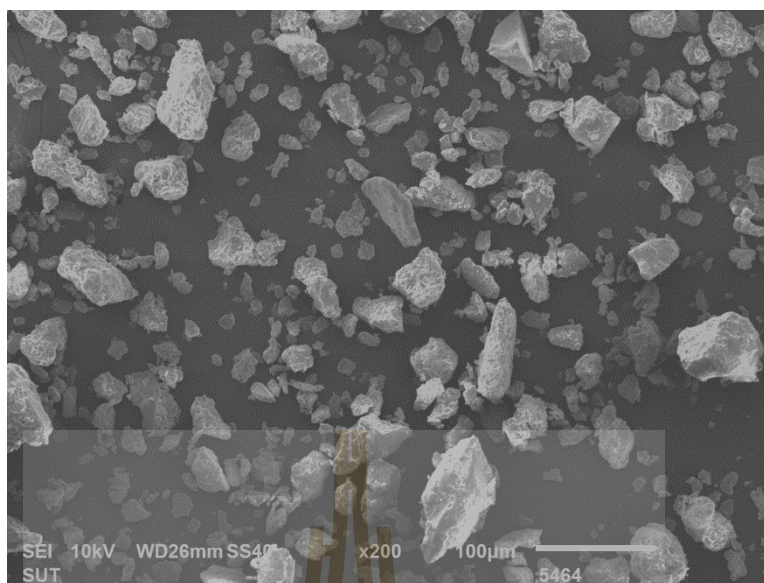


(ก)

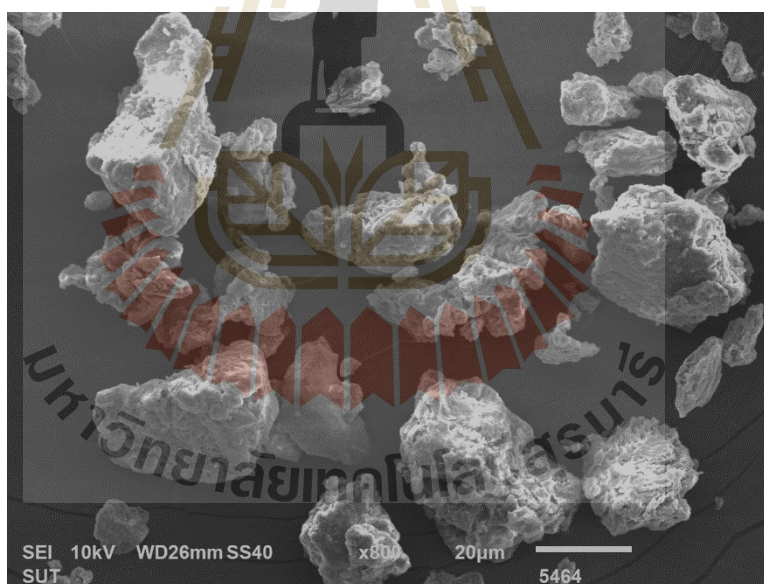


(ข)

รูปที่ 4.6 ลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของเบนโทไนต์ของประเทศสหรัฐอเมริกา ก่อนการผสมในน้ำโคลนชุดเจาะ (ก) แสดงถึงขนาดของเบนโทไนต์และการกระจายตัว และ (ข) แสดงลักษณะพื้นผิวของเบนโทไนต์ที่เป็นเหลี่ยมมน

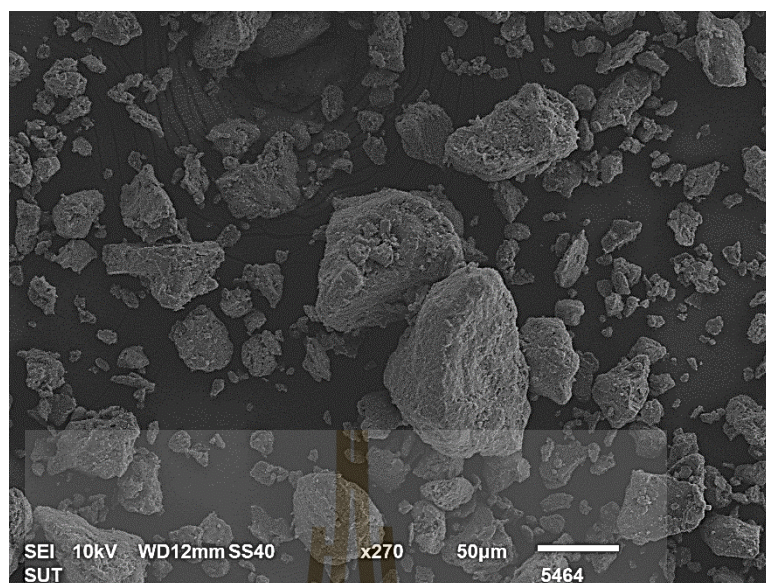


(ก)

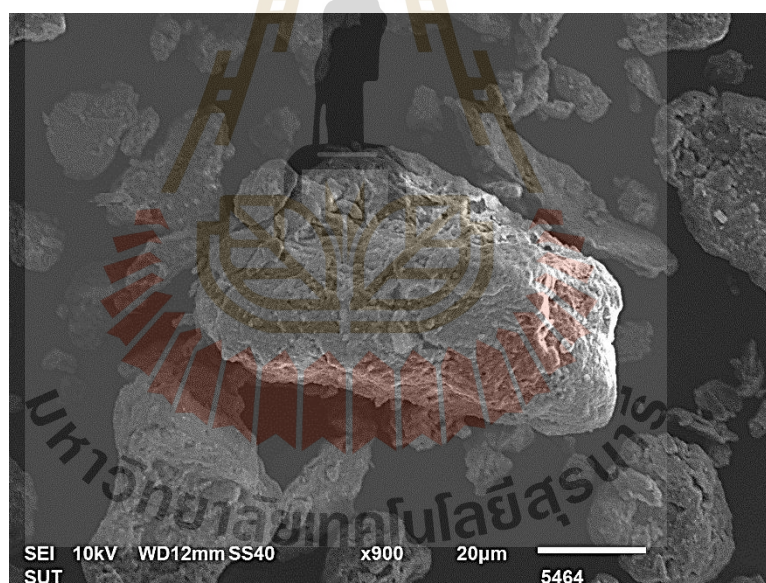


(ข)

รูปที่ 4.7 ลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของเบนโทไนด์อิน โดนิเซีย ก่อนการผสมในน้ำ โคลนบุดเจาะ (ก) แสดงถึงขนาดของเบนโทไนด์และการกระจายตัว และ (ข) แสดง ลักษณะพื้นผิวของเบนโทไนด์ที่เป็นเหลี่ยมมน

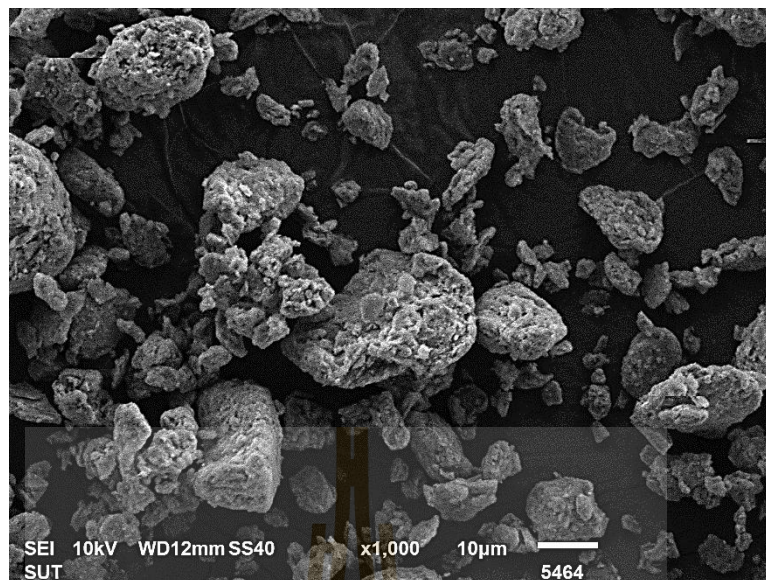


(ก)

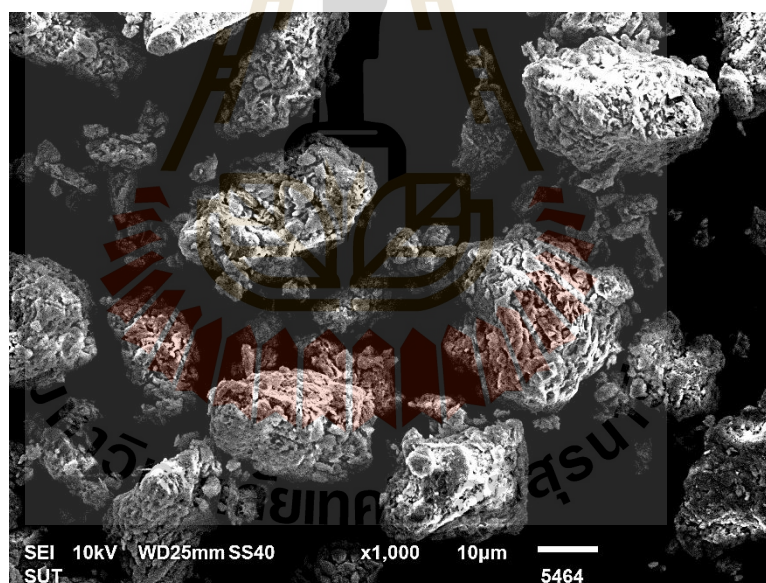


(ข)

รูปที่ 4.8 ลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของเบนโทไนต์อินเดีย ก่อนการผสมในน้ำโคลน
 จุดเจาะ (ก) แสดงถึงขนาดของเบนโทไนต์และการกระจายตัว (ข) แสดงลักษณะพื้นผิวของ
 เบนโทไนต์ที่เป็นเหลี่ยมมน

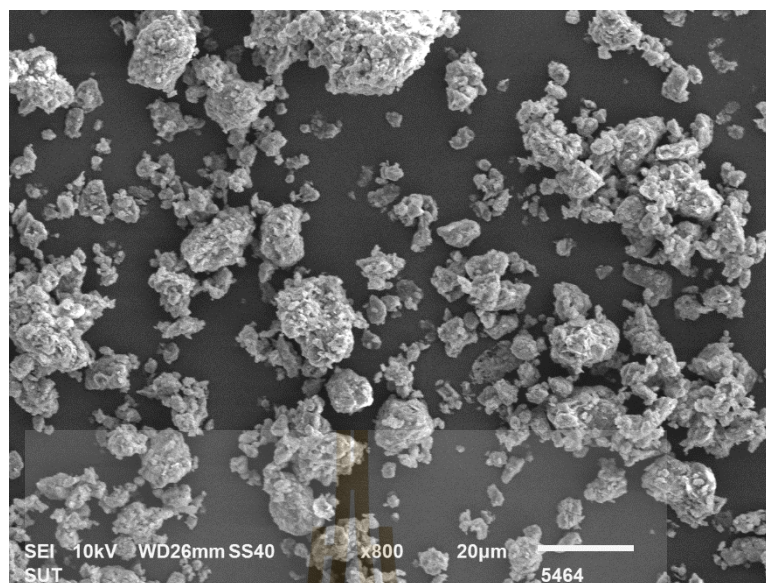


(ก)

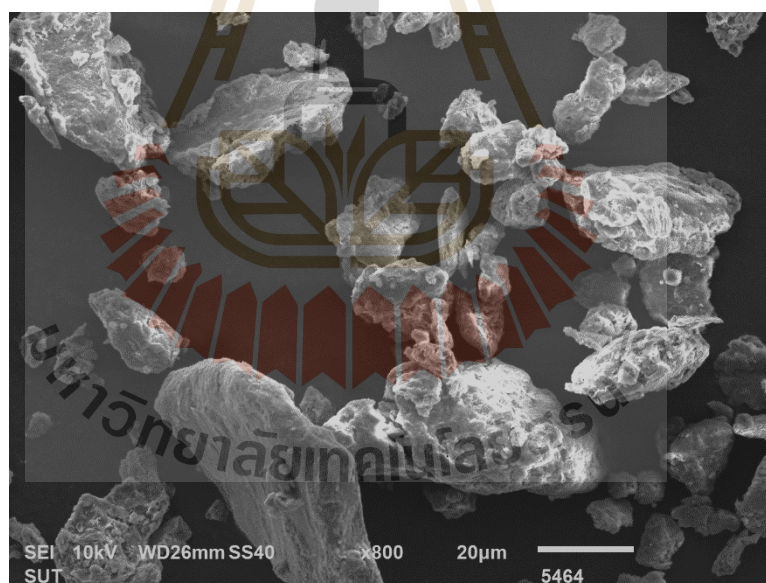


(ข)

รูปที่ 4.9 ลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของเบนโทไนต์จีน ก่อนการผสมในน้ำโคลนชุด
 เจาะ(ก) แสดงถึงขนาดของเบนโทไนต์และการกระจายตัว (ข) แสดงลักษณะพื้นผิวของ
 เบนโทไนต์ที่เป็นเหลี่ยมมน



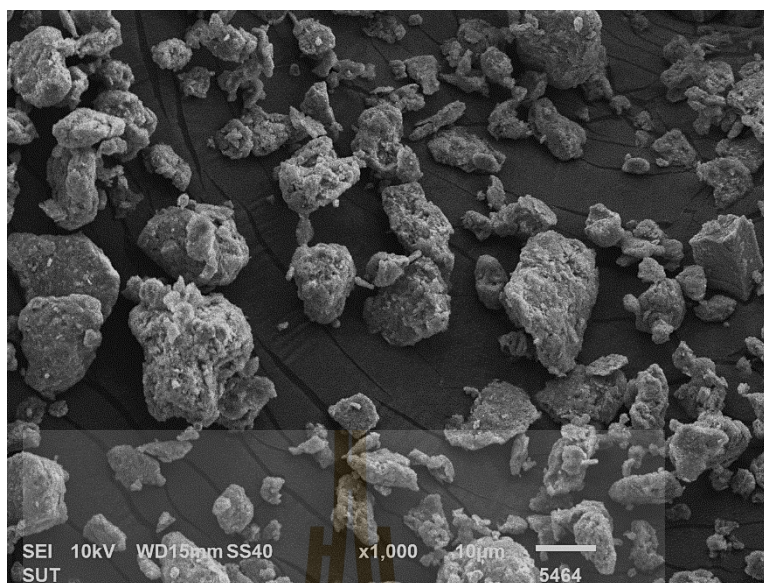
(ก)



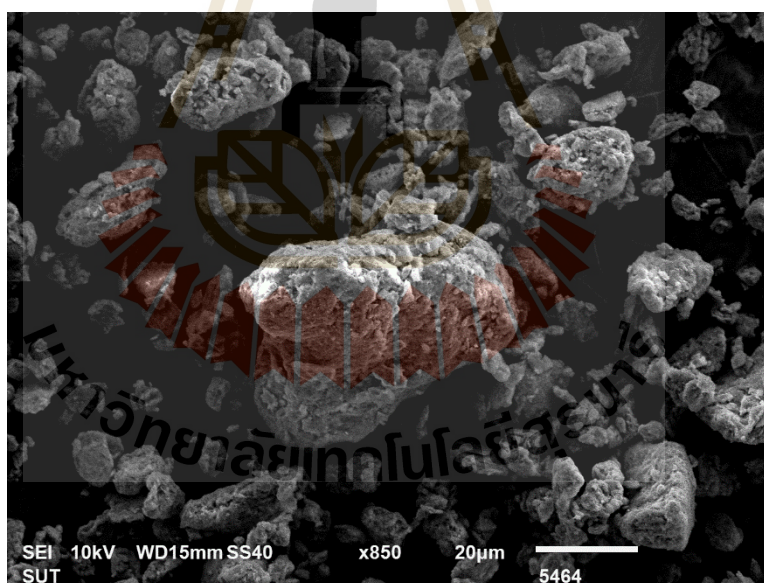
(ข)

รูปที่ 4.10 ลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของเบนโทไนต์สระบุรี ก่อนการผสมในน้ำ

โคลนขุดเจาะ (ก) แสดงถึงขนาดของเบนโทไนต์และการกระจายตัว (ข) แสดงลักษณะพื้นผิวของเบนโทไนต์ที่เป็นเหลี่ยมมน



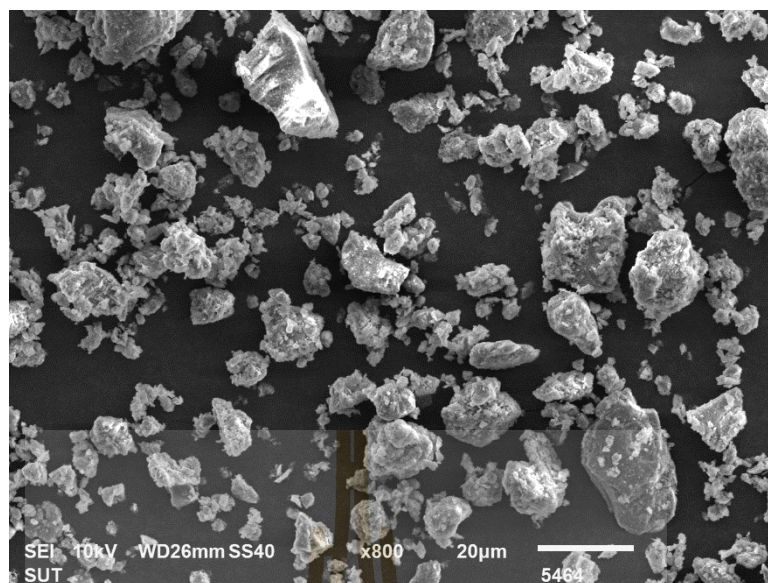
(ก)



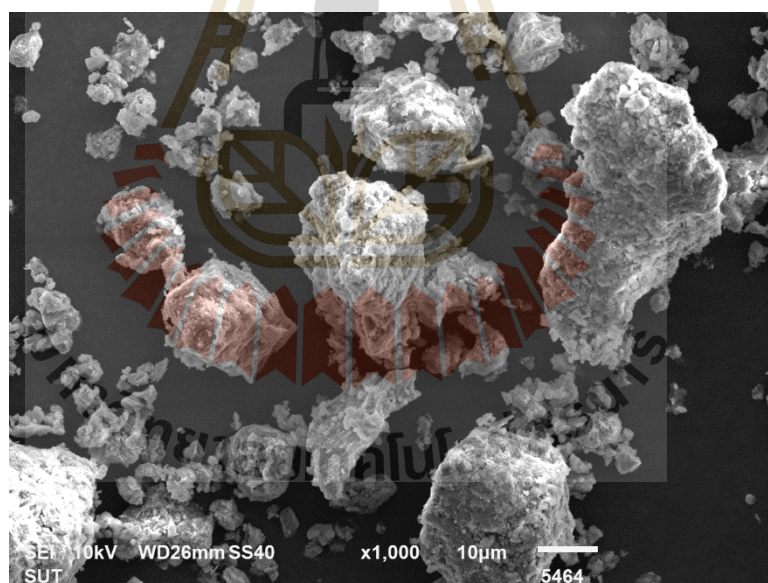
(ข)

รูปที่ 4.11 ลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของเบนโทไนต์ลพบุรี ก่อนการผสมในน้ำ

โคลนขุดเจาะ (ก) แสดงถึงขนาดของเบนโทไนต์และการกระจายตัว (ข) แสดงลักษณะพื้นผิวของเบนโทไนต์ที่เป็นเหลี่ยมมน



(ก)



(ข)

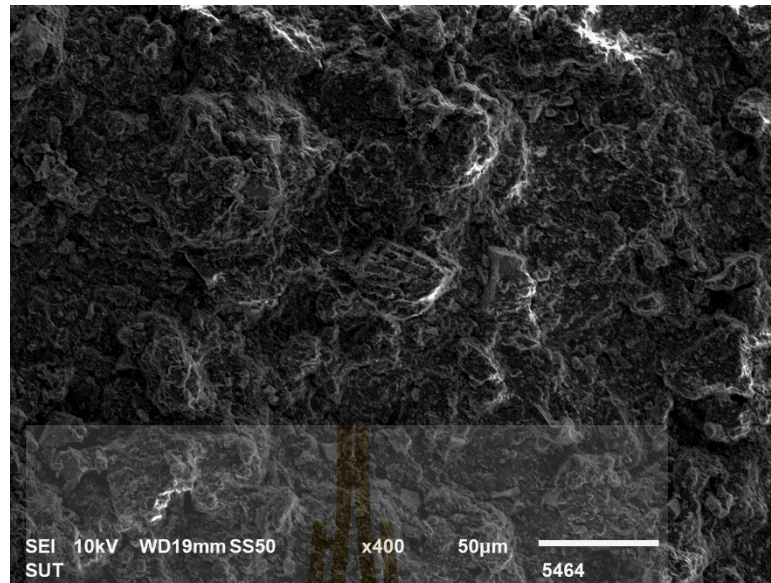
รูปที่ 4.12 ลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของเบนโทไนต์กาญจนบุรี ก่อนการผสมในน้ำ
โคลนขุดเจาะ (ก) แสดงถึงขนาดของเบนโทไนต์และการกระจายตัว (ข) แสดงลักษณะ
พื้นผิวของเบนโทไนต์ที่เป็นเหลี่ยมมน

จากผลการวิเคราะห์ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของ แบไรต์ เบนโทไนต์ แต่ละแหล่ง ที่กำลังขยายตั้งแต่ 100 ถึง 10,000 เท่า พบว่าลักษณะพื้นผิวแบไรต์มีลักษณะพื้นผิวเป็น เหลี่ยมแหลม และมีเศษชิ้นรีียวแหลมเกาะอยู่รอบเม็ดหยาบ ขนาดอยู่ระหว่าง 10-50 ไมโครเมตร เบนโทไนต์แต่ละแหล่งมีลักษณะเหมือนกัน พื้นผิวเป็นเหลี่ยมมน และมีรูพรุนกระจายทั่วเม็ดแต่ จำนวนไม่มาก

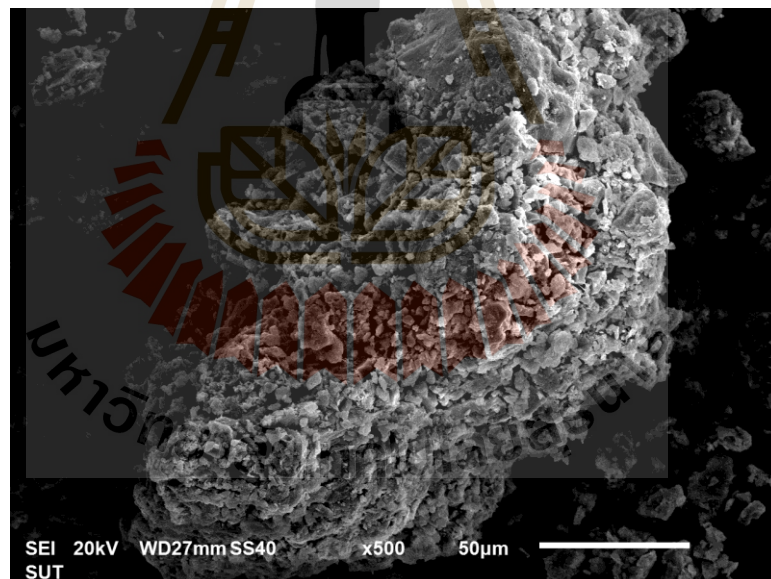
4.3.2 ผลการวิเคราะห์หลังการผสมเป็นน้ำโคลนชุดเจาะ

ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของแผ่น โคลนของน้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมด้วยเบนโทไนต์จากแหล่งต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ แสดงโดยรูปที่ 4.13 ถึง 4.19

ผลจากการวิเคราะห์ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของตัวอย่างหลังการผสมเป็นน้ำโคลนที่กำลังขยายตั้งแต่ 100 ถึง 10,000 เท่า โดยใช้แผ่น โคลน (Mud cake) ในการศึกษา พบว่าลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างมีความขรุขระ มีการจับตัวกันแน่นของส่วนประกอบ และยังคงสภาพของตัวเม็ดสารอยู่ เบนโทไนต์ของประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ใช้เป็นสูตรพื้นฐาน พบว่ามีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ มีการจับตัวกันและเชื่อมประสานระหว่างส่วนประกอบต่างๆ สำหรับตัวอย่างอื่นๆ ก็มีลักษณะคล้ายตัวอย่างของเบนโทไนต์ของประเทศสหรัฐอเมริกา

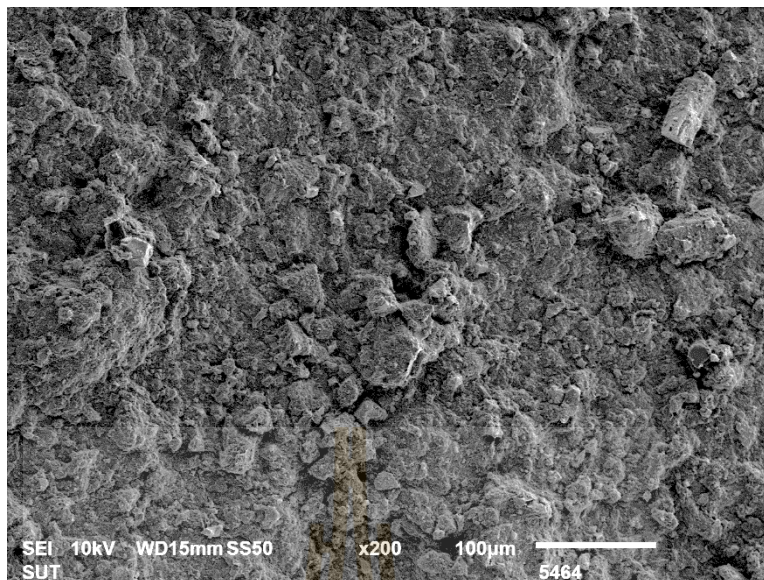


(ก)

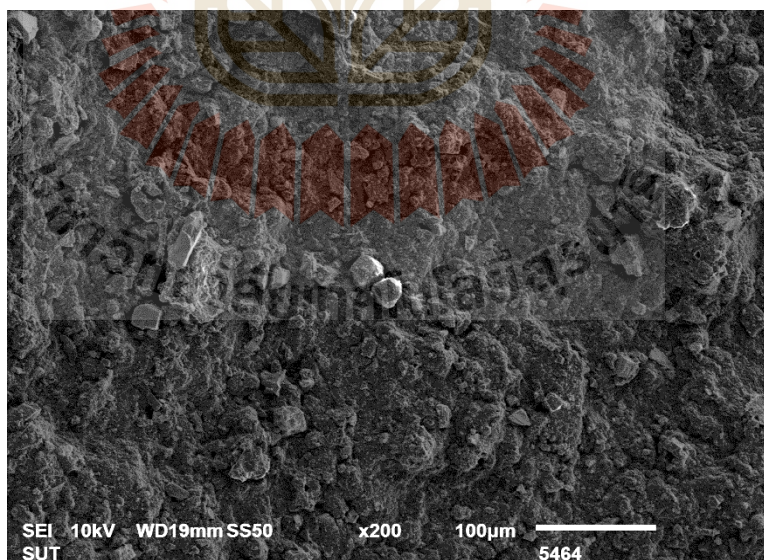


(ข)

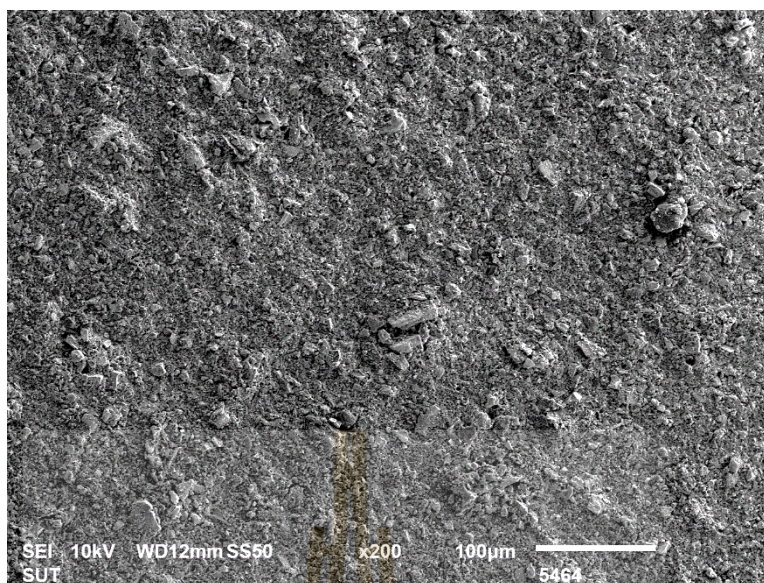
รูปที่ 4.13 ลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และ (ก) แสดงขนาดของตัวอย่างที่ 1 (Base) หลังการผสม
(ข) แสดงลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ



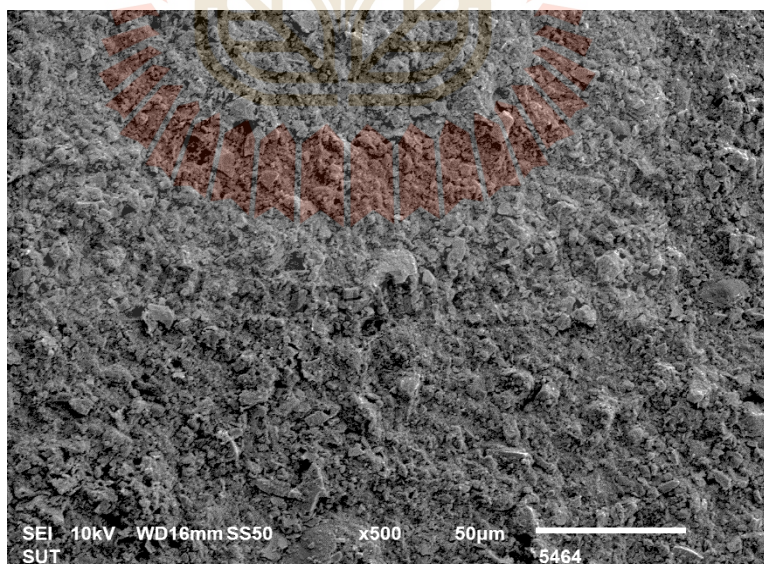
รูปที่ 4.14 ลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 4 (ตัวอย่างจากประเทศอินโดนีเซีย) หลังการผสม แสดงลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ เช่นเดียวกับกับตัวอย่างที่ 1



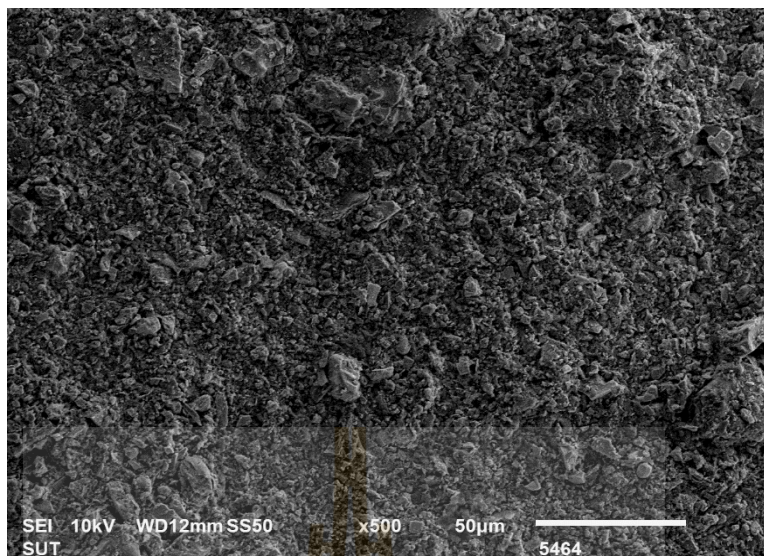
รูปที่ 4.15 ลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 7 (ตัวอย่างจากประเทศอินเดีย) หลังการผสม แสดงลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ เช่นเดียวกับกับตัวอย่างที่ 1



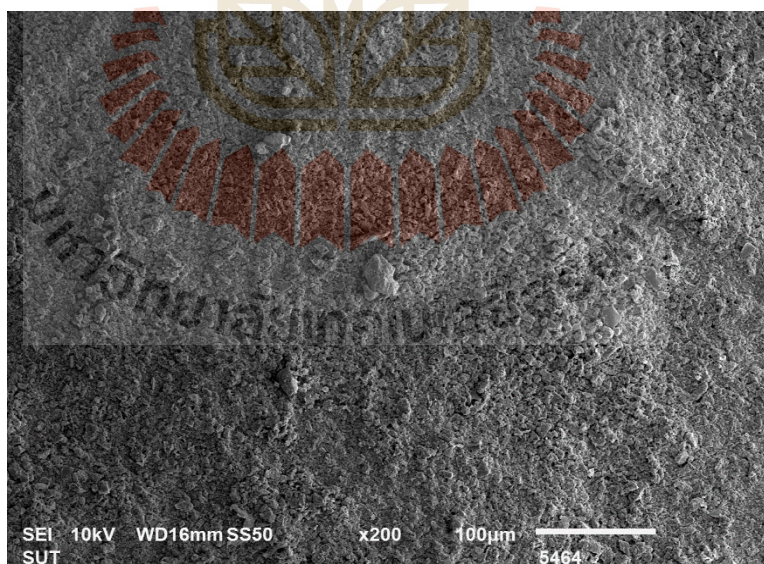
รูปที่ 4.16 ลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 10 (ตัวอย่างจากประเทศจีน) หลังการผสม แสดงลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ เช่นเดียวกับตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.17 ลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 13 (ตัวอย่างจากจังหวัดสระบุรี) หลังการผสม แสดงลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ เช่นเดียวกับตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.18 ลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 16 (ตัวอย่างจากจังหวัดลพบุรี) หลังการผสม แสดงลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ เช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.19 แสดงลักษณะพื้นผิว การกระจายตัว และขนาดของตัวอย่างที่ 19 (ตัวอย่างจากจังหวัดกาญจนบุรี) หลังการผสม แสดงลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ จากการจับตัวกันของส่วนประกอบ เช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1

4.4 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องมือปฏิบัติการการขุดเจาะ (Drilling laboratory apparatus)

4.4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านวิทยากระแสน้ำโคลนขุดเจาะ (Rheological property)

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

$$\tau = 1.0678 \phi_i \quad (4.1)$$

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

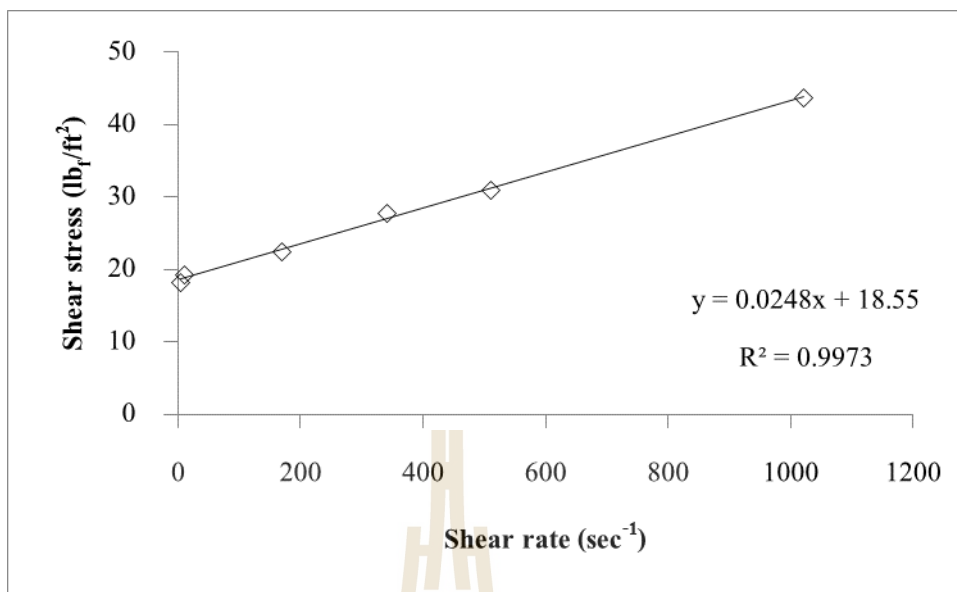
เมื่อ	τ	คือ ความเค้นเฉือน (lb_f/ft^2)
	γ	คือ อัตราการเฉือน (sec^{-1})
	ϕ_i	คือ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดความหนืด (Viscometer dial reading)
	N	คือ บังคับช่วงการยึดของทอร์คของสปริง
	rpm	คือ ความเร็วการหมุน

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าแรงเฉือน (Shear stress) และอัตราแรงเฉือน (Shear rate) ของน้ำโคลนเบนโทไนต์ โดยค่าเฉลี่ยจากการอ่านเครื่องวัดความหนืดจะถูกนำมาคำนวณค่าแรงเฉือนและอัตราแรงเฉือนโดยสมการ 4.1 และ 4.2 และทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าแรงเฉือนและอัตราแรงเฉือนแล้วสร้างเส้นแนวโน้มเพื่อตรวจสอบว่าเส้นแนวโน้มที่ได้มีลักษณะสอดคล้องกับแบบจำลองพาวเวอร์ลอว์หรือบิงแฮมพลาสติก โดยใช้เส้นแนวโน้มแบบสมการเส้นตรง (Linear) และแบบยกกำลัง (Power) โดยตามทฤษฎีนั้นของไหลแบบบิงแฮมพลาสติกจะแสดงพฤติกรรมการไหลสอดคล้องกับเส้นแนวโน้มแบบเส้นตรง ในขณะที่ของไหลแบบพาวเวอร์ลอว์นั้นจะแสดงพฤติกรรมการไหลสอดคล้องกับเส้นแนวโน้มแบบยกกำลัง ยกตัวอย่าง จากรูปที่ 4.20 และ 4.21

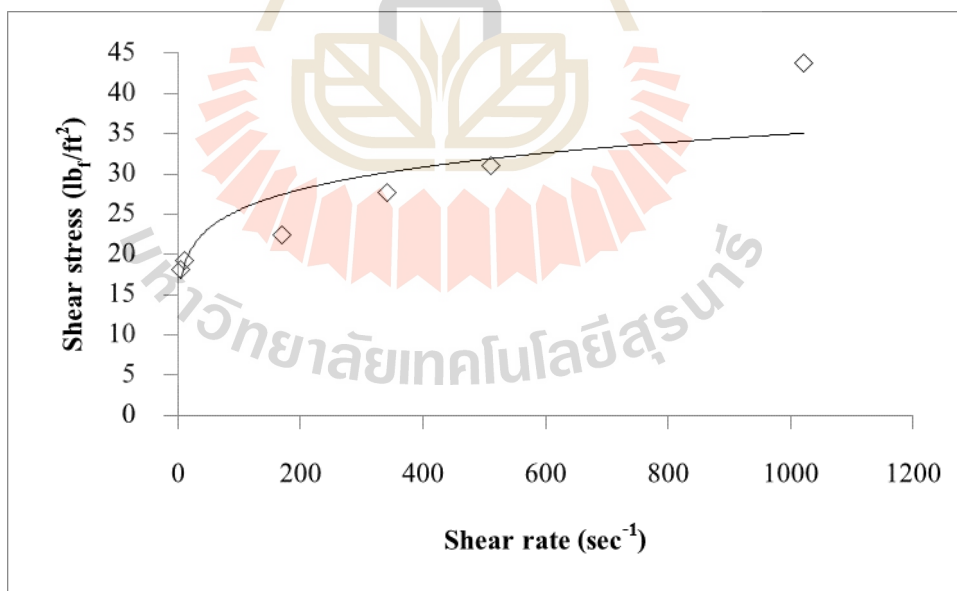
แสดงกราฟพฤติกรรมการไหลของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกราฟทั้งสองพบว่าน้ำโคลนมีแนวโน้มของลักษณะการไหลเป็นแบบบิงแสมพลาสติกมากกว่าที่จะเป็นของไหลแบบพาวเวอร์ลอว์เนื่องจากเส้นแนวโน้มเส้นตรงมีความสอดคล้องกับค่าแรงเฉือนและอัตราแรงเฉือนที่ได้จากผลการทดลองมากกว่า

ตารางที่ 4.5 ผลของความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือนของน้ำโคลนชุดเจาะ

รอบต่อนาที (rpm)	เฉลี่ยค่าที่อ่านได้	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	41.50	1021.8	43.780
300	29.75	510.9	30.966
200	26.00	340.6	27.763
100	21.25	170.3	22.424
6	20.00	10.2	21.356
3	17.75	5.1	18.153



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงพฤติกรรมการไหลของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกาพร้อม
เส้นแนวโน้มแบบเส้นตรง



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงพฤติกรรมการไหลของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกาพร้อม
เส้นแนวโน้มแบบยกกำลัง

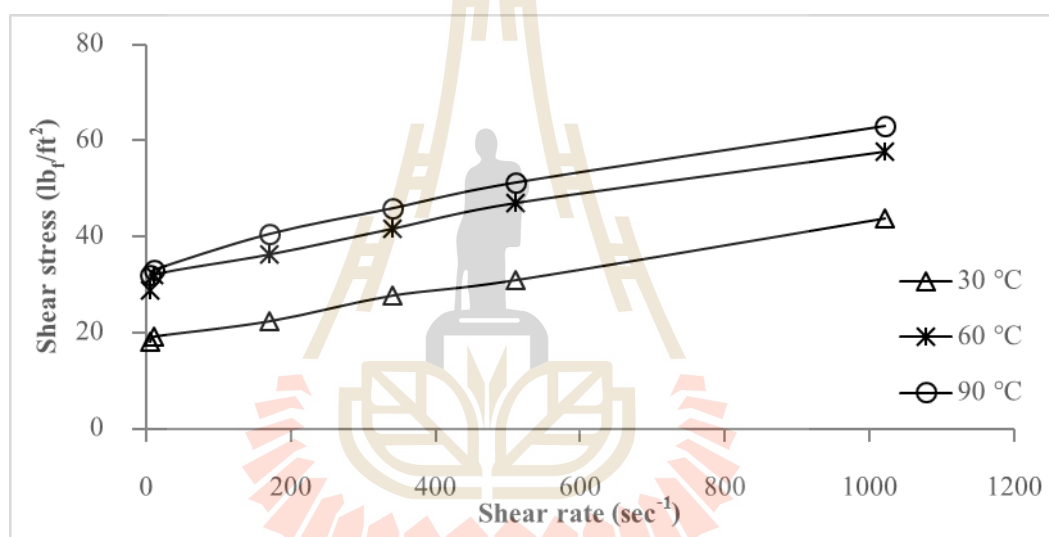
ในการทดสอบพบว่าน้ำโคลนขุดเจาะเป็นของไหลแบบนอน-นิวโตเนียน (Non-newtonian fluids) ซึ่งมีลักษณะการไหลแบบพลาสติก (Plastic fluid flow) คือการไหลที่เมื่อออกแรงเค้นจนถึงความเค้นคราก (Yield stress) แล้วของไหลนั้นจะมีพฤติกรรมเหมือนของไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian fluids) และการไหลแบบบิงแฮมพลาสติก (Bingham plastic flow) คือมีการออกแรงเริ่มต้นค่าหนึ่ง เพื่อทำให้ของไหลไหลได้ เรียกแรงกระทำนี้ว่า แรงเฉือนวิกฤต (Critical shear stress) เมื่อเริ่มมีการไหลแล้วจะมีพฤติกรรมเหมือนของไหลแบบซูโดพลาสติก (Pseudoplastic fluids) ดังนั้นแบบจำลองด้านวิทยากระแสที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างน้ำโคลนคือ แบบจำลองบิงแฮมพลาสติก ในการศึกษาแบ่งตัวอย่างน้ำโคลนออกเป็นหลายกลุ่มที่แตกต่างกัน อุณหภูมิที่ใช้ศึกษาคือ 30 60 และ 90°C โดยผลที่ได้จากการทดสอบแสดงด้วยกราฟของค่าความเหนียวแน่น (Consistency) รูปที่ 4.22 ถึง 4.28

โดยน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จากต่างประเทศ แสดงค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา (Base) ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C (รูปที่ 4.22) พบว่ามีค่าความเหนียวแน่นเพิ่มขึ้น และแสดงพฤติกรรมของไหลแบบซูโดพลาสติก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์อินโดนีเซีย (รูปที่ 4.23) พบว่ามีค่าความเหนียวแน่นเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์อินเดีย (รูปที่ 4.24) พบว่ามีค่าความเหนียวแน่นเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จีน (รูปที่ 4.25) พบว่ามีค่าความเหนียวแน่นเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

น้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์ในประเทศ จากรูปที่ 4.26 ถึง 4.28 แสดงค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สระบุรี ลพบุรี และกาญจนบุรี ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C ตามลำดับ พบว่ามีค่าความเหนียวแน่นเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

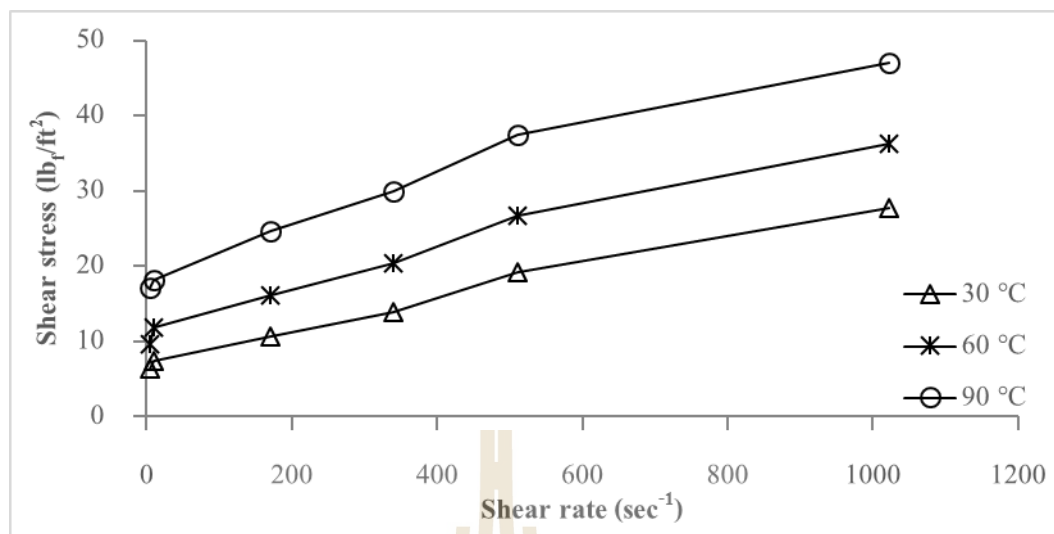
ผลของพารามิเตอร์ด้านวิทยากระแสของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์แต่ละแหล่ง แสดงในตารางที่ 4.6 ประกอบด้วยค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ความหนืดพลาสติก (Plastic viscosity) จุดคราก (Yield point) ดัชนีพฤติกรรมการไหล (n) ดัชนีความเหนียวแน่นของไหล (k) ความแข็งแรงเจลเริ่มต้น (Initial gel strength) และความแข็งแรงเจลที่ 10 นาที (10 minute gel strength) ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C ข้อมูลจากการทดสอบด้านวิทยากระแส

ทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก ก ในส่วนพารามิเตอร์พฤติกรรมการไหลของแบบจำลองเพาเวอร์ลอว์ ได้แก่ ค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (Flow behavior index, n) และดัชนีความเหนียวแน่นของไหล (Fluid consistency index, k) คำนวณได้จากสมการที่ 4.1 และ 4.2 ค่าดัชนี (Index, n) แสดงถึงการไหลแบบซูโดพลาสติก (Pseudoplastic flow) โดยมีค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (Flow behavior index, n) น้อยกว่า 1 โดยพฤติกรรมการไหลของน้ำโคลนดั้งเดิมปกติจะปรากฏอยู่ระหว่างแบบจำลองบิงแฮมพลาสติกกับเพาเวอร์ลอว์ จึงเรียกน้ำโคลนนี้ว่าเป็น “ของไหลแบบซูโดพลาสติก”

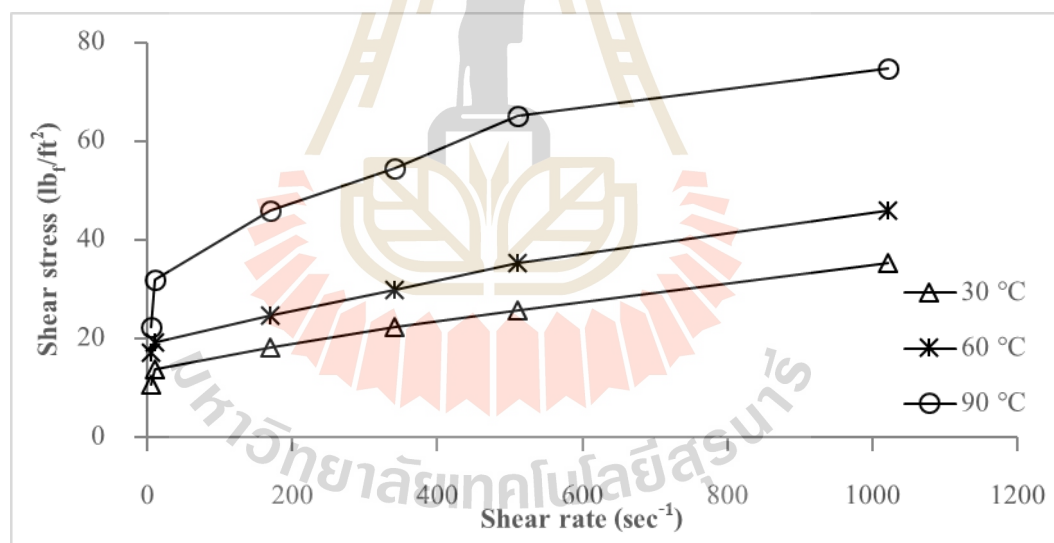


รูปที่ 4.22 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา ที่อุณหภูมิ

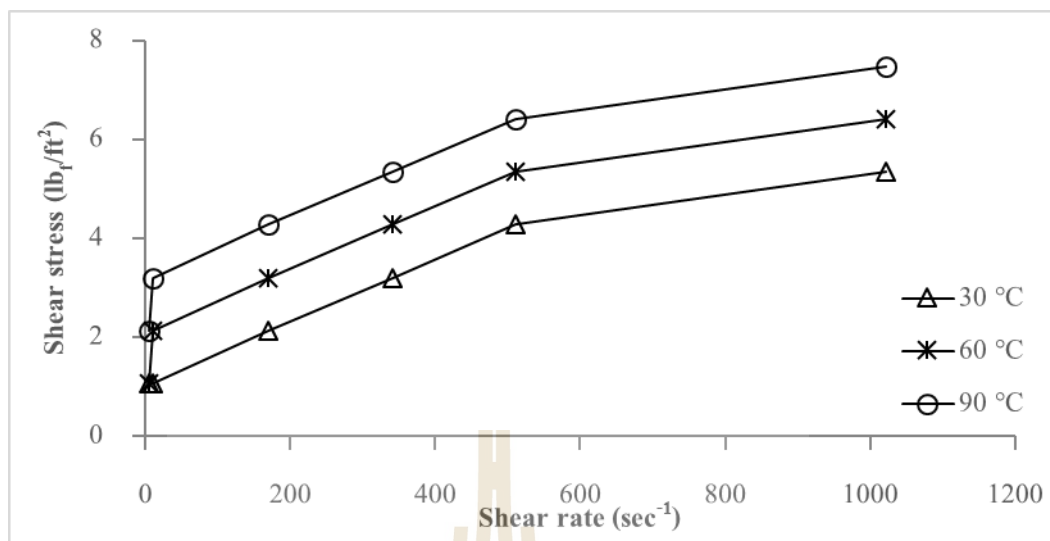
30 60 และ 90°C



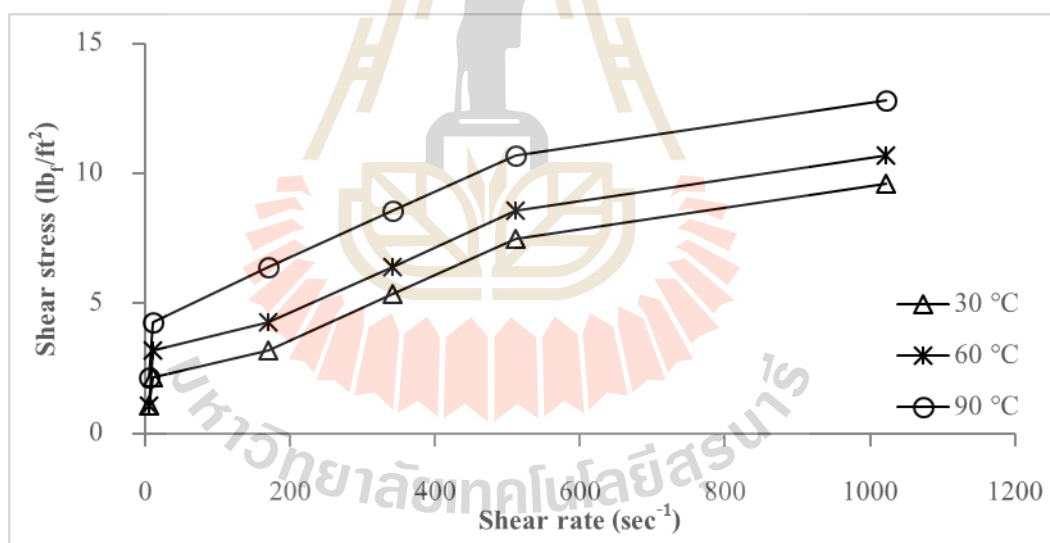
รูปที่ 4.23 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์อินโดนีเซีย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C



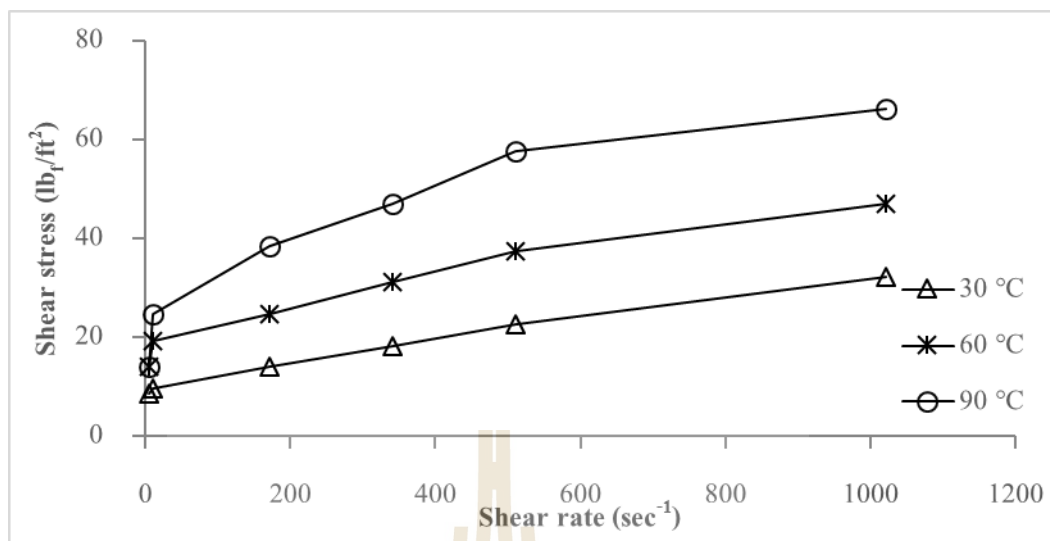
รูปที่ 4.24 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์อินเดีย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C



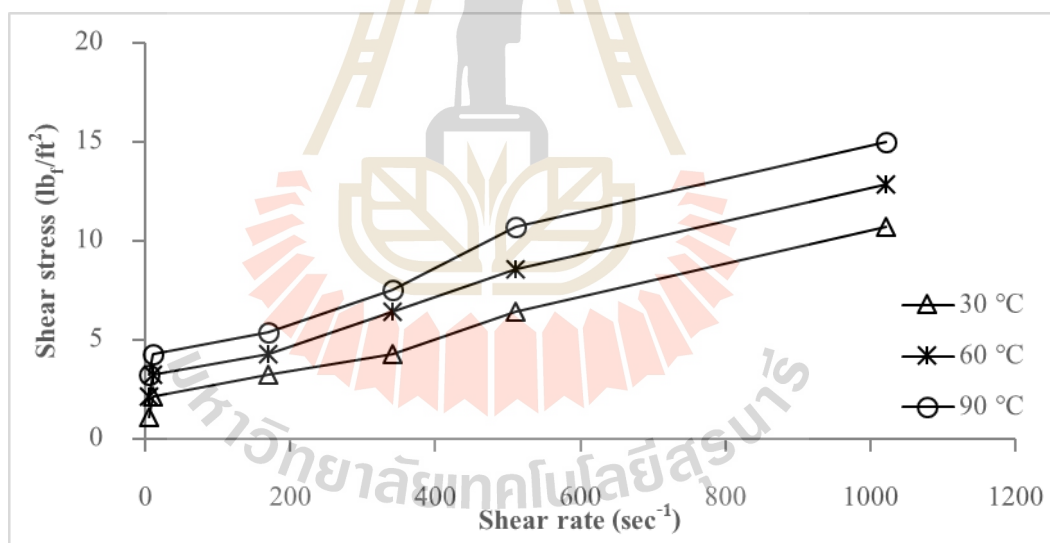
รูปที่ 4.25 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จีน ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C



รูปที่ 4.26 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สระบุรี ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C



รูปที่ 4.27 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์ลพบุรี ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C



รูปที่ 4.28 ค่าความเหนียวแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์กาญจนบุรี ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

ตารางที่ 4.6 พารามิเตอร์ด้านวิทยากระแสน้ำโคลนขุดเจาะผสมเบนโทไนต์แต่ละแหล่ง

อุณหภูมิ (°C)	ตัวอย่างที่	สูตร	ความ หนืด 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	เบนโทไนต์ สหรัฐอเมริกา (Base)	20.6	11.8	17.8	0.4996	1.6784	17	19
	4	เบนโทไนต์ อินโดนีเซีย	13.4	9.5	7.8	0.5305	0.8732	6	8
	7	เบนโทไนต์ อินเดีย	16.6	9.3	14.8	0.4594	1.7464	9	11
	10	เบนโทไนต์ จีน	2.5	1.0	3.0	0.3219	0.6377	1	2
	13	เบนโทไนต์ สระบุรี	4.8	2.5	4.5	0.3626	0.8851	1	2
	16	เบนโทไนต์ ลพบุรี	15.3	9.5	11.5	0.5146	1.1157	8	10
	19	เบนโทไนต์ กาญจนบุรี	5.4	4.8	1.3	0.7370	0.0897	1	2
60	2	เบนโทไนต์ สหรัฐอเมริกา (Base)	27.4	11.3	32.3	0.2955	8.1578	26	28
	5	เบนโทไนต์ อินโดนีเซีย	17.1	9.3	15.8	0.4436	1.9910	9	10

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวอย่างที่	สูตร	ความ หนืด 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	8	เบนโทไนต์ อินเดีย	21.5	9.0	25.0	0.3819	3.7374	16	18
	11	เบนโทไนต์ จีน	3.3	0.8	5.0	0.2630	1.1153	2	3
	14	เบนโทไนต์ สระบุรี	5.4	2.0	6.8	0.3219	1.2754	2	3
	17	เบนโทไนต์ ลพบุรี	22.0	8.3	27.5	0.3301	5.3241	13	14
	20	เบนโทไนต์ กาญจนบุรี	6.4	4.0	4.8	0.5850	0.2845	2	3
90	3	เบนโทไนต์ สหรัฐอเมริกา (Base)	29.6	11.0	37.3	0.2977	8.7872	29	32
	6	เบนโทไนต์ อินโดนีเซีย	22.3	9.0	26.5	0.3301	5.3241	16	18
	9	เบนโทไนต์ อินเดีย	35.3	8.8	53.0	0.1985	19.6566	22	23

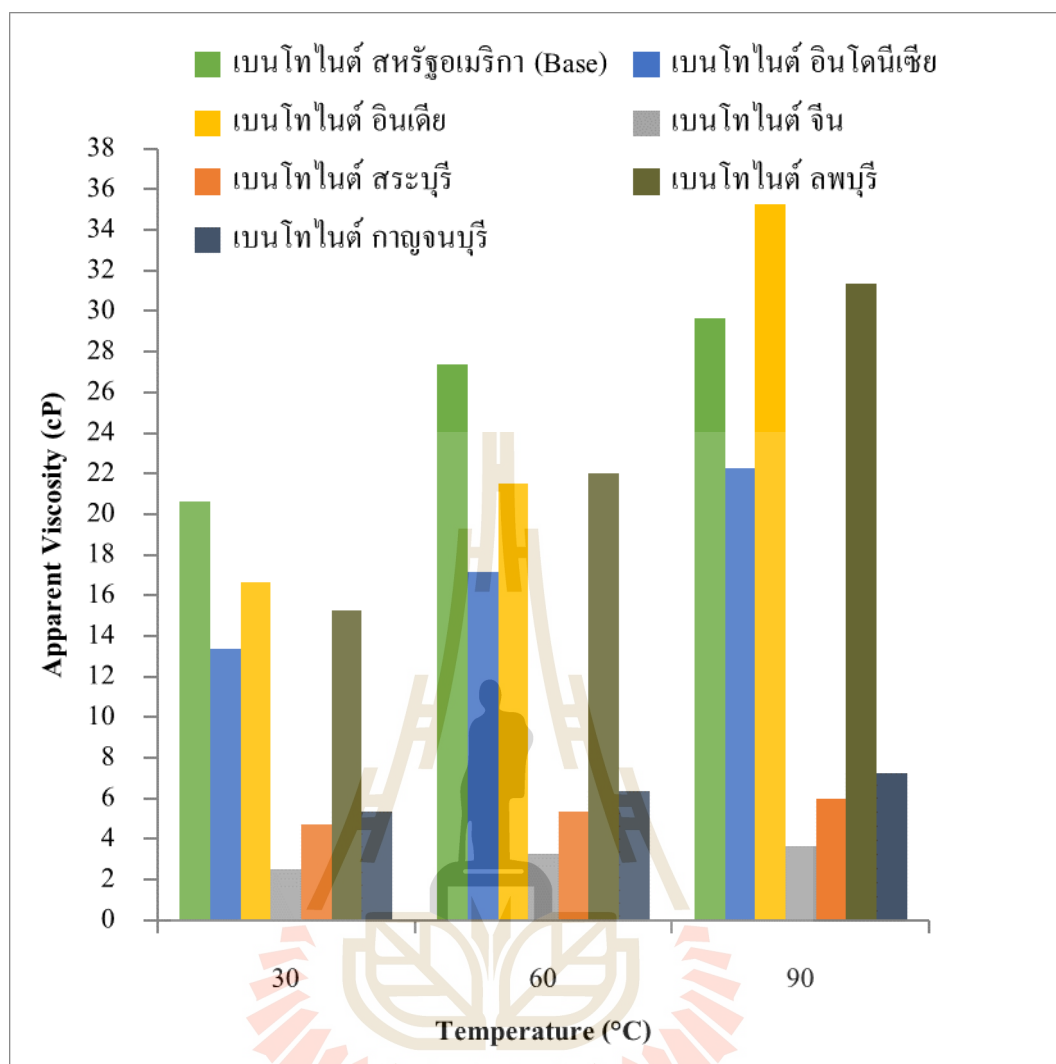
ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวอย่างที่	สูตร	ความ หนืด 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	12	เบนโทไนต์ จีน	3.6	0.5	6.3	0.2224	1.6876	2	3
	15	เบนโทไนต์ สระบุรี	6.0	2.0	8.0	0.2630	2.2307	4	5
	18	เบนโทไนต์ ลพบุรี	31.4	8.0	46.8	0.1993	17.3253	14	15
	21	เบนโทไนต์ กาญจนบุรี	7.3	3.8	7.0	0.4854	0.6274	3	4

4.4.2 พฤติกรรมทางด้านวิทยาการกระจายของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์

ตารางที่ 4.6 แสดงคุณสมบัติวิทยาการกระจายของน้ำโคลนของน้ำโคลนเบนโทไนด์ โดยค่าที่ทำการวัดจากการทดลองทั้งสามครั้งแสดงอยู่ใน ภาคผนวก ก. ตัวแปรของแบบจำลองพาวเวอร์ลอว์ในเทอมของดัชนีพฤติกรรมการไหล (Flow behavior index, n) และดัชนีระดับความเข้มข้นของของไหล (Fluid consistency index, k) ซึ่งถูกคำนวณ โดยสมการ 4.1 และ 4.2 ค่าดัชนีพฤติกรรมการไหลแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำโคลนแสดงพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก (Pseudoplastic) เมื่อ n น้อยกว่า 1 ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ซึ่งพฤติกรรมการไหลของน้ำโคลนเจาะที่ใช้กันทั่วไปจะแสดงพฤติกรรมการไหลอยู่ระหว่างแบบจำลองบิงแฮมพลาสติกและพาวเวอร์ลอว์ซึ่งเรียกว่าของไหลแบบซูโดพลาสติก (Pseudoplastic) เช่นกัน

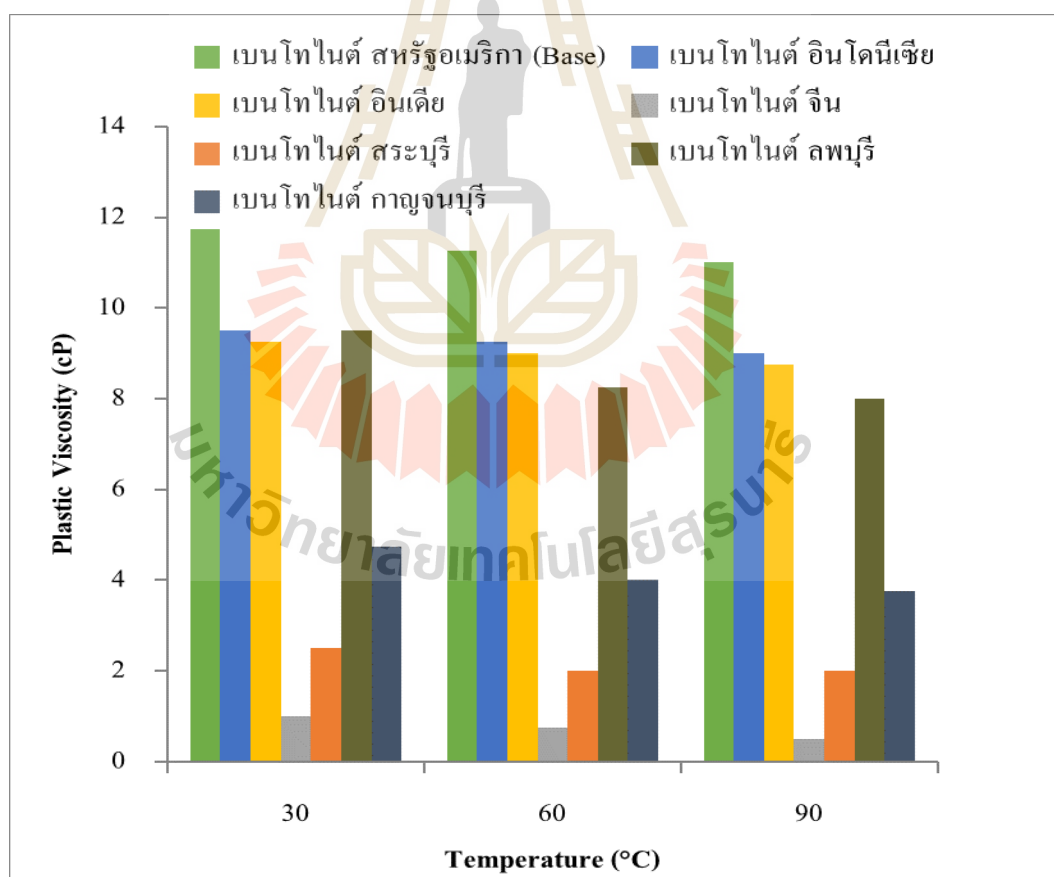
รูปที่ 4.29 ถึง 4.32 แสดงกราฟการพล็อตของตัวแปรทางด้านวิทยาการกระจายของตัวอย่างน้ำโคลนที่ได้จากการคำนวณที่อุณหภูมิต่าง ๆ ส่วนตารางที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) จากกราฟพบว่าที่ทุกอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลนค่าความหนืดปรากฏมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าความหนืดปรากฏได้แสดงอยู่ในตารางที่ 4.6 จากกราฟจะเห็นได้ว่าที่ทุกอุณหภูมิค่าความหนืดปรากฏนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลนเพิ่มขึ้น อันเป็นผลจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้พลังงานภายในระบบของตัวอย่างน้ำโคลนเพิ่มขึ้นจึงเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างภายในระหว่างอนุภาค (Inter-particle attractive force) ทำให้เนื้อโคลนเคลื่อนที่มาอยู่ใกล้กันและเกิดการจับตัว (Agglomerate) ของอนุภาคโคลนขึ้น (Luckham and Rossi, 1999)



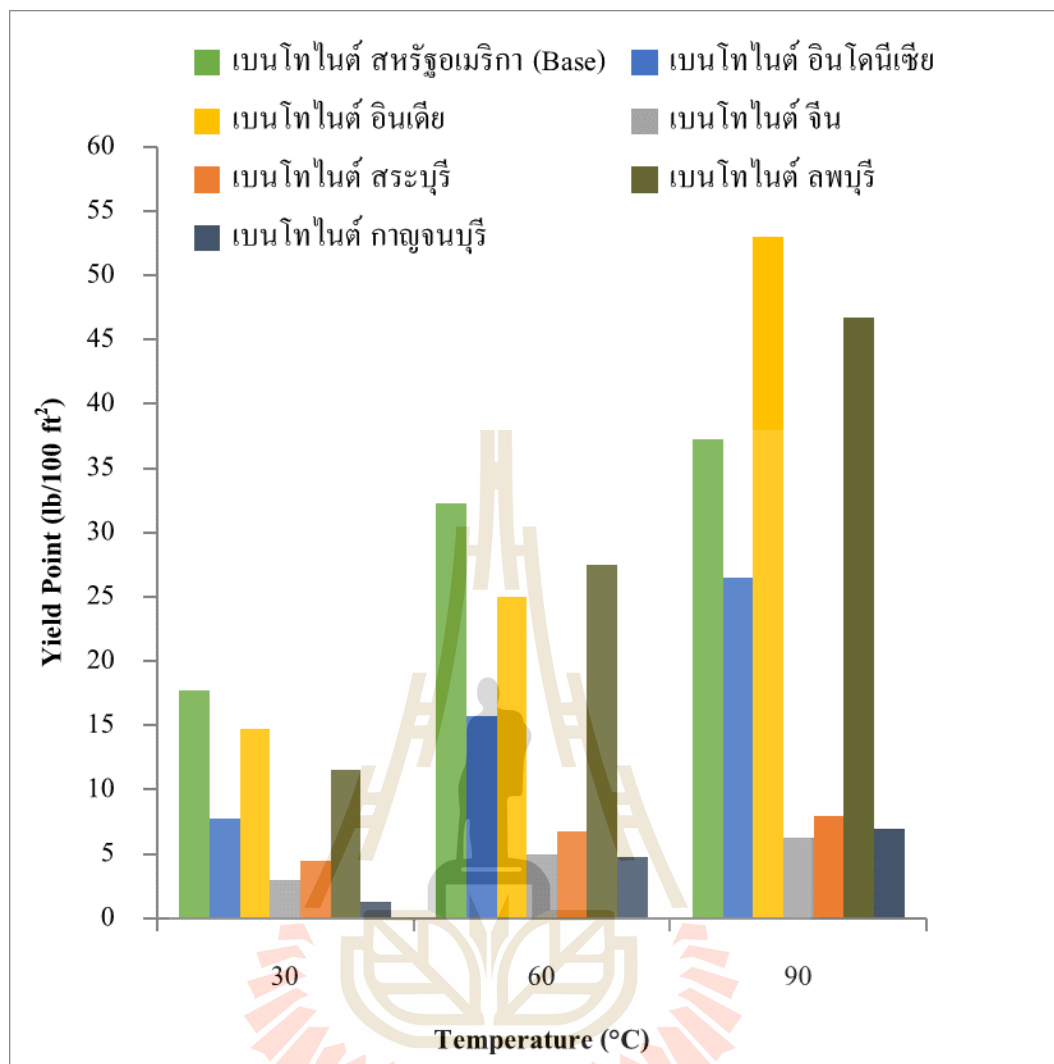
รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) กับอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลน

การตรวจสอบแบบจำลองบิงแฮมพลาสติกในการวิจัยนี้ทำโดยการพล็อตค่าความหนืดพลาสติก (Plastic viscosity) กับอุณหภูมิ ดังรูปที่ 4.30 จากผลการทดลองพบว่าที่ทุกอุณหภูมิ ค่าความหนืดพลาสติกของตัวอย่างน้ำโคลนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลนเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดพลาสติกมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลนเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ถึง 90 องศาเซลเซียส ซึ่งอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อน้ำโคลนอธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลนเพิ่มขึ้นค่าการเหนียวไฟฟ้าของระบบก็จะ

เพิ่มขึ้น โดยจะเหนี่ยวนำให้อุณหภูมิของอนุภาคละลายอยู่ที่ผิวของอนุภาคมากขึ้นซึ่งเป็นเหตุผลให้เกิดการลดลงของค่าความหนืดพลาสติกและในขณะเดียวกันค่าจุดครากก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากการเหนี่ยวนำทางความร้อนทำให้เกิดการบวมตัวของน้ำโคลน (Luckham and Rossi, 1999) ในส่วนของการตรวจสอบค่าจุดครากของตัวอย่างน้ำโคลนในการวิจัยนี้ทำโดยการพล็อตจุดครากกับอุณหภูมิ ดังรูปที่ 4.31 จากกราฟที่ได้พบว่าที่ทุกอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลนค่าจุดครากมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณของแข็งในตัวอย่างน้ำโคลนมีปริมาณมากขึ้นทำให้มีการจับตัวกันของอนุภาคเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าความเค้นที่จุดคราก (Yield stress) และค่าความเค้นที่จุดครากของตัวอย่างน้ำโคลนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลนเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินั้นเป็นการเพิ่มพลังงานอันตรกิริยา (Interaction energy) ของระบบแขวนลอยของโคลนเบนโทไนต์



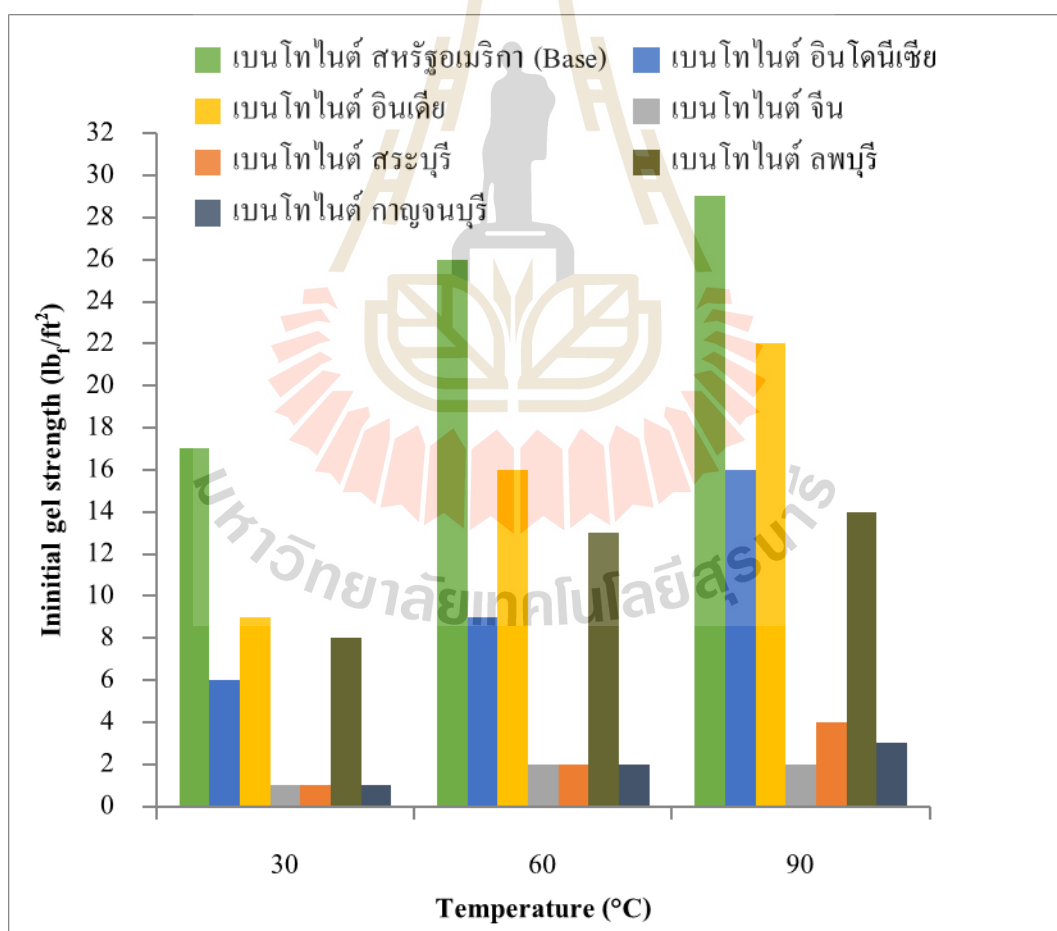
รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดพลาสติก (Plastic viscosity) กับอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลน



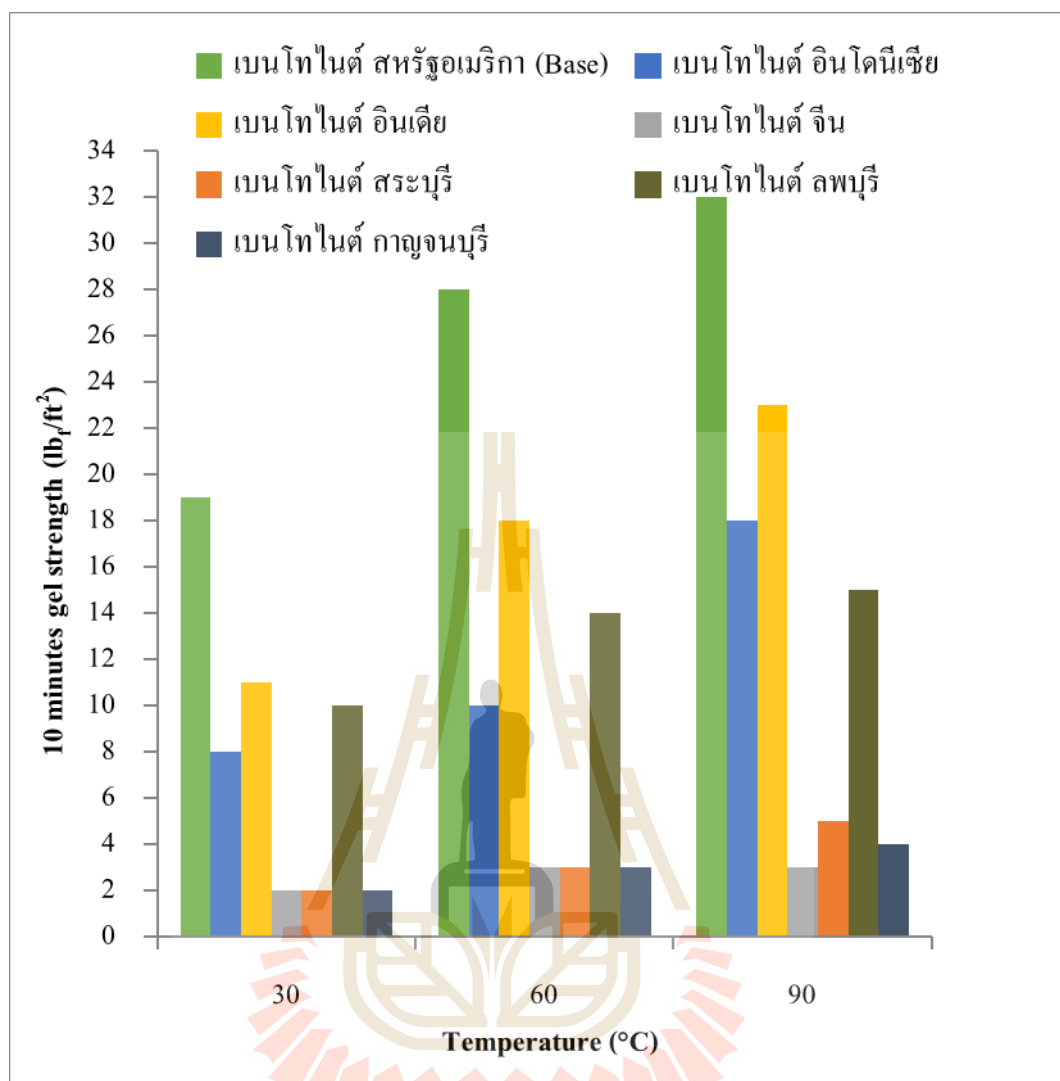
รูปที่ 4.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดคราก (Yield point) กับอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลน

ในการทดสอบค่าความแข็งแรงของเจลเริ่มต้น (Initial gel strength) และค่าความแข็งแรงของเจลที่เวลา 10 นาที (10 minutes gel strength) โดยได้แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของเจลของตัวอย่างน้ำโคลน โดยทำการพล็อตเทียบความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 4.32 และ 4.33 จากการทดลองพบว่าค่าความแข็งแรงของเจล (Gel strength) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลนสูงขึ้น พิจารณาตัวอย่างน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์แหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 และ 60 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.6) ค่าความแข็งแรงของเจลที่เวลา 10 นาที มีค่าสูงกว่าค่าความแข็งแรงของเจลเริ่มต้น ทั้งนี้เป็นเพราะเวลาที่ตัวอย่างน้ำโคลนไม่ถูกรบกวนมากกว่าทำให้โคลนเกิดการ

สร้างโครงสร้างของเจลที่แข็งแรงกว่า แต่เมื่อพิจารณาตัวอย่างน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์แหล่งต่างๆที่อุณหภูมิ 60 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าค่า ความแข็งแรงของเจลที่เวลา 10 นาที มีค่าน้อยกว่าค่าความแข็งแรงของเจลเริ่มต้น เนื่องจากการเกิดการลดลงของอุณหภูมิที่มากในระหว่างช่วงเวลา 10 นาที ของการตั้งน้ำโคลนทิ้งไว้ในกาทดสอบ ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลที่เวลา 10 นาที มีค่าน้อยลงกว่าที่ควรจะเป็น ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงของ โครงสร้างเจลมีค่าขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิ อันจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของน้ำโคลนในการทำความสะอาดหลุมและ แวนดรอยเสหินินเจาะที่มีน้ำหนักในระหว่างการหยุดการเจาะ หรือการหมุนเวียนน้ำโคลนไม่มี ประสิทธิภาพด้วย



รูปที่ 4.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของเจลเริ่มต้น (Initial gel strength) กับ อุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลนชุดเจาะ



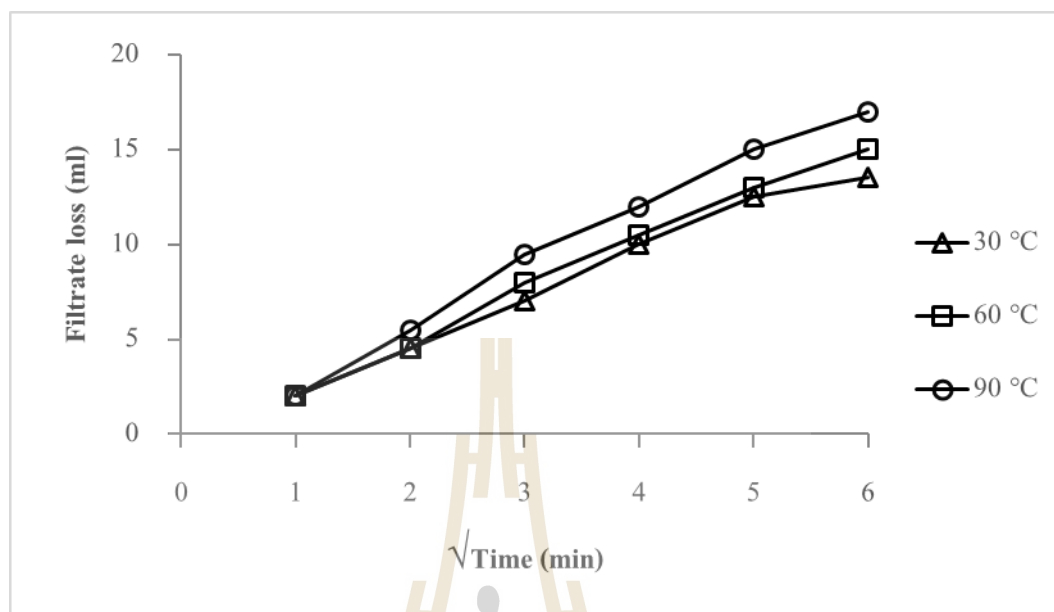
รูปที่ 4.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของเจลที่เวลา 10 นาที (10 minutes gel strength) กับอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลนขุดเจาะ

4.4.3 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของน้ำโคลนขุดเจาะ (Filtration)

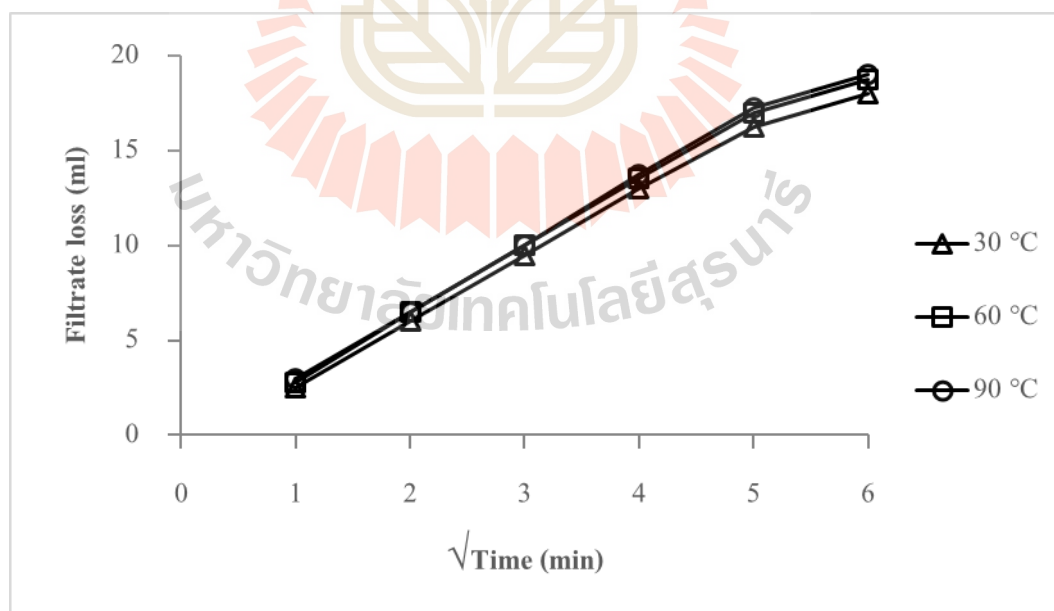
การซึมผ่านของน้ำโคลน คือการวัดปริมาณการสูญเสียน้ำของน้ำโคลน (Mud filtrate) เข้าสู่ชั้นหิน (Formation) โดยผ่านแผ่นโคลน (Mud cake) ที่ทำหน้าที่ปิดกั้นระหว่างผนังหลุมกับชั้นหิน ซึ่งควบคุมการสูญเสียของไหล ผลการซึมผ่านของน้ำโคลน แสดงไว้ในรูปที่ 4.34 ถึง 4.41 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาปริมาณการสูญเสียน้ำของน้ำโคลน ภายใน 30 นาที ตามมาตรฐาน API มีหน่วยวัดเป็นมิลลิลิตร และความหนาของแผ่นโคลน ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.36 ส่วนข้อมูลการทดสอบทั้งหมดแสดงใน ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบ พบว่าน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จากต่างประเทศ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา อินโดนีเซีย อินเดีย และจีน ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C โดยทุกแหล่งมีแนวโน้มปริมาณการสูญเสียน้ำของน้ำโคลนเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิส่งผลต่อการซึมผ่าน โดยของไหลมีความหนืดลดลงและเกิดการจับตัวกันตกตะกอน ซึ่งส่งผลให้เกิดความหนาของแผ่นโคลนเพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา มีปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อยู่ระหว่าง 13.5 ถึง 17 มิลลิลิตร สูงขึ้น (รูปที่ 4.34) น้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์อินโดนีเซีย มีค่าอยู่ระหว่าง 18 ถึง 19 มิลลิลิตร (รูปที่ 4.35) น้ำโคลนผสมเบนโทไนต์อินเดีย มีค่าอยู่ระหว่าง 18.5 ถึง 21.5 มิลลิลิตร (รูปที่ 4.36) และน้ำโคลนผสมเบนโทไนต์จีน มีค่าอยู่ระหว่าง 224 ถึง 275 มิลลิลิตร (รูปที่ 4.37)

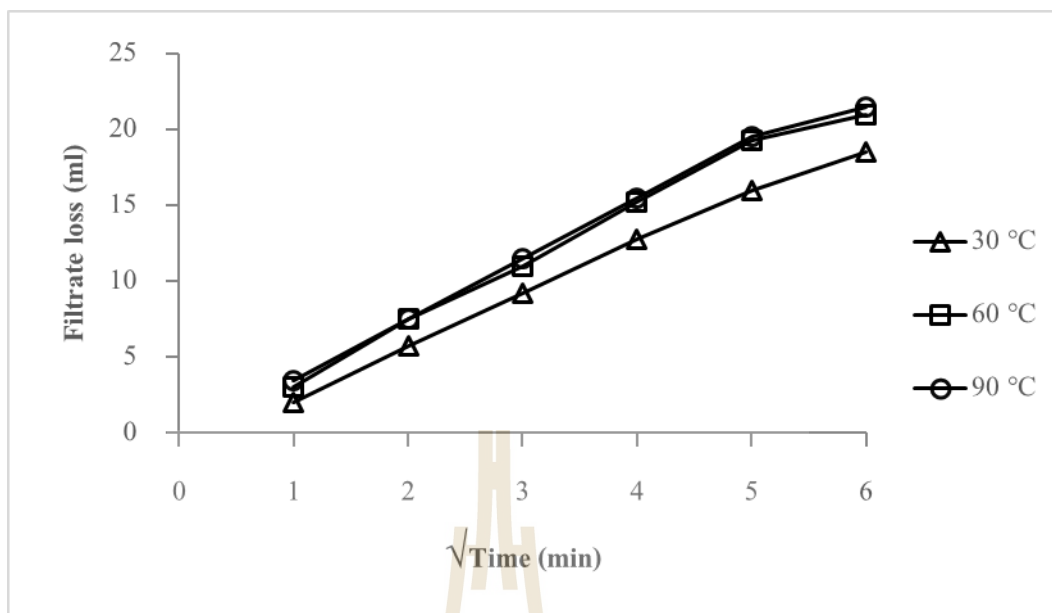
ผลการทดสอบ น้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์ในประเทศ ได้แก่ สระบุรี ลพบุรี และกาญจนบุรี ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C โดยทุกแหล่งมีแนวโน้มปริมาณการสูญเสียน้ำของน้ำโคลนเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิ คล้ายกับน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จากต่างประเทศ เนื่องจากอุณหภูมิส่งผลต่อการซึมผ่าน โดยของไหลมีความหนืดลดลงและเกิดการจับตัวกันตกตะกอน ซึ่งส่งผลให้เกิดความหนาของแผ่นโคลนเพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำโคลนผสมเบนโทไนต์สระบุรี มีค่าอยู่ระหว่าง 180 ถึง 195 มิลลิลิตร (รูปที่ 4.38) น้ำโคลนผสมเบนโทไนต์มีค่าอยู่ระหว่าง 20.5 ถึง 21.5 มิลลิลิตร (รูปที่ 4.39) และน้ำโคลนผสมเบนโทไนต์กาญจนบุรี มีค่าอยู่ระหว่าง 34 ถึง 64 มิลลิลิตร (รูปที่ 4.40)



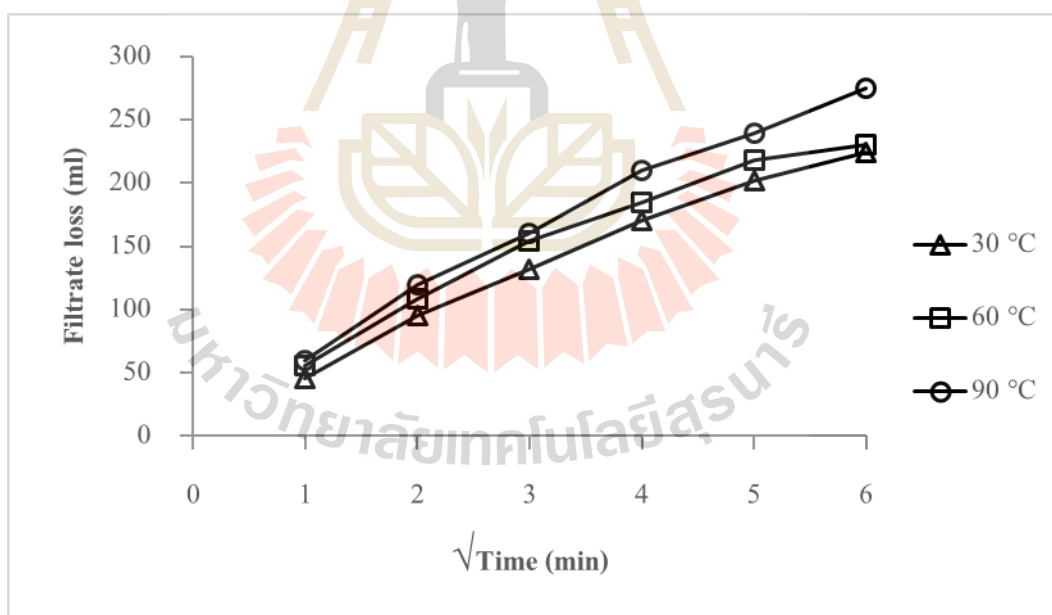
รูปที่ 4.34 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C



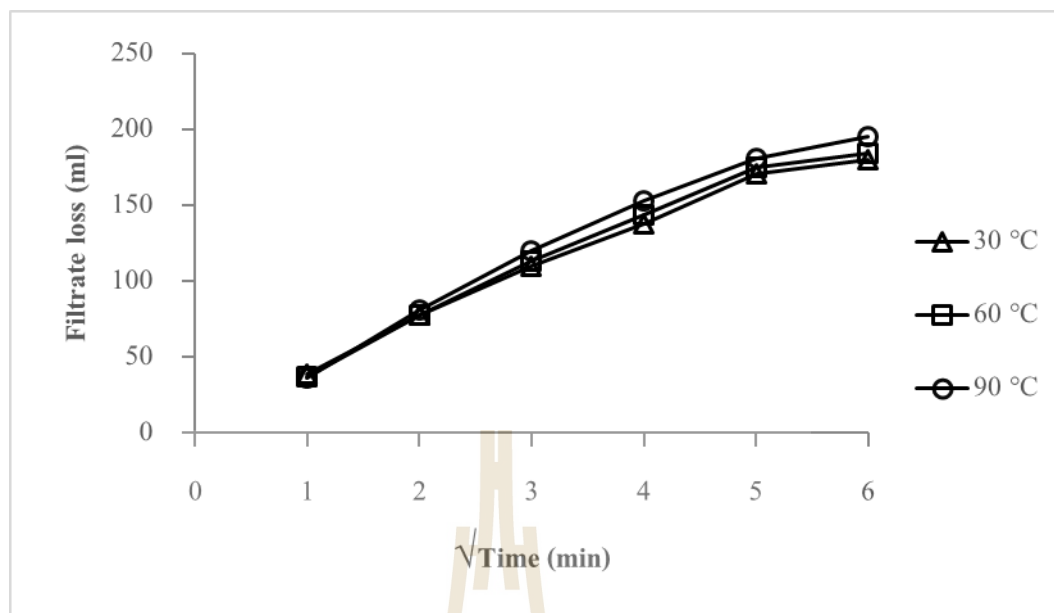
รูปที่ 4.35 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์อินโดนีเซีย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C



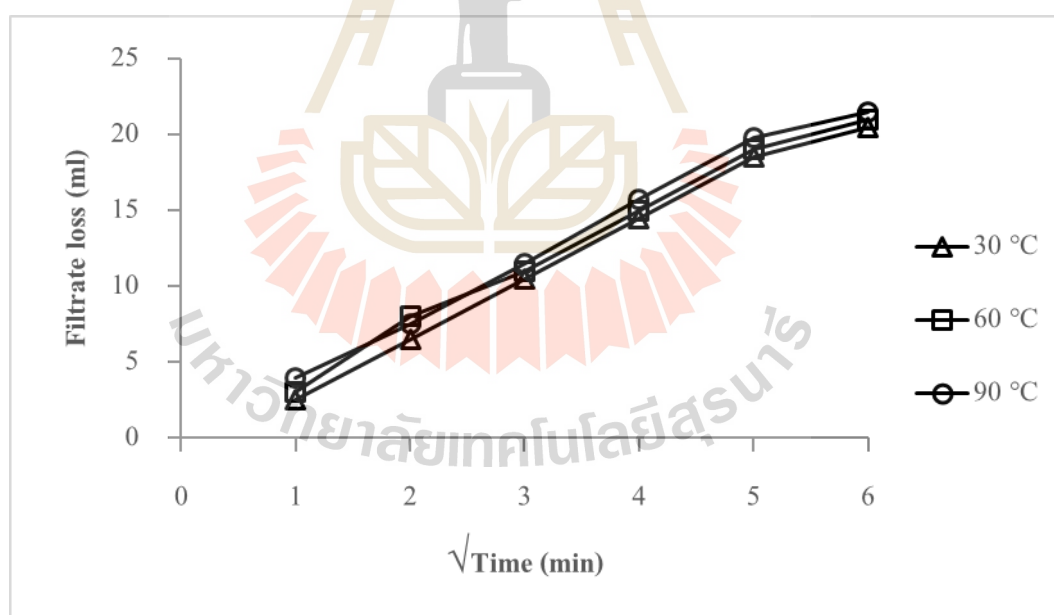
รูปที่ 4.36 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์ อินเดีย ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C



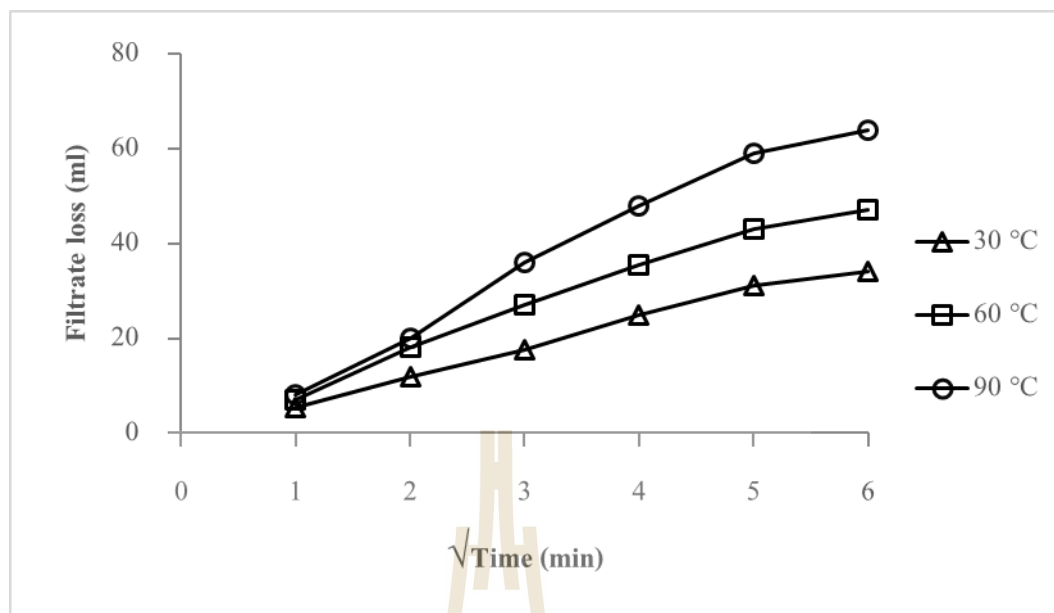
รูปที่ 4.37 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จีน ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C



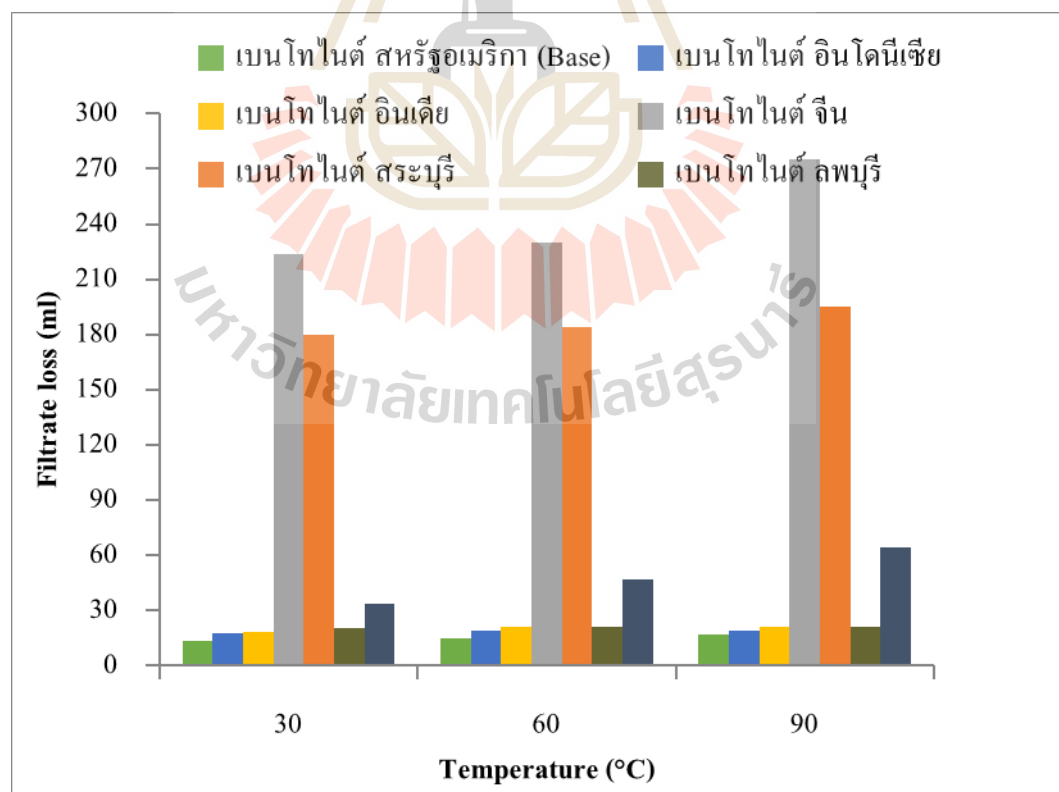
รูปที่ 4.38 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์สระบุรี ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C



รูปที่ 4.39 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์ลพบุรี ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C



รูปที่ 4.40 ปริมาณการซึมผ่านของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์กาญจนบุรี ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

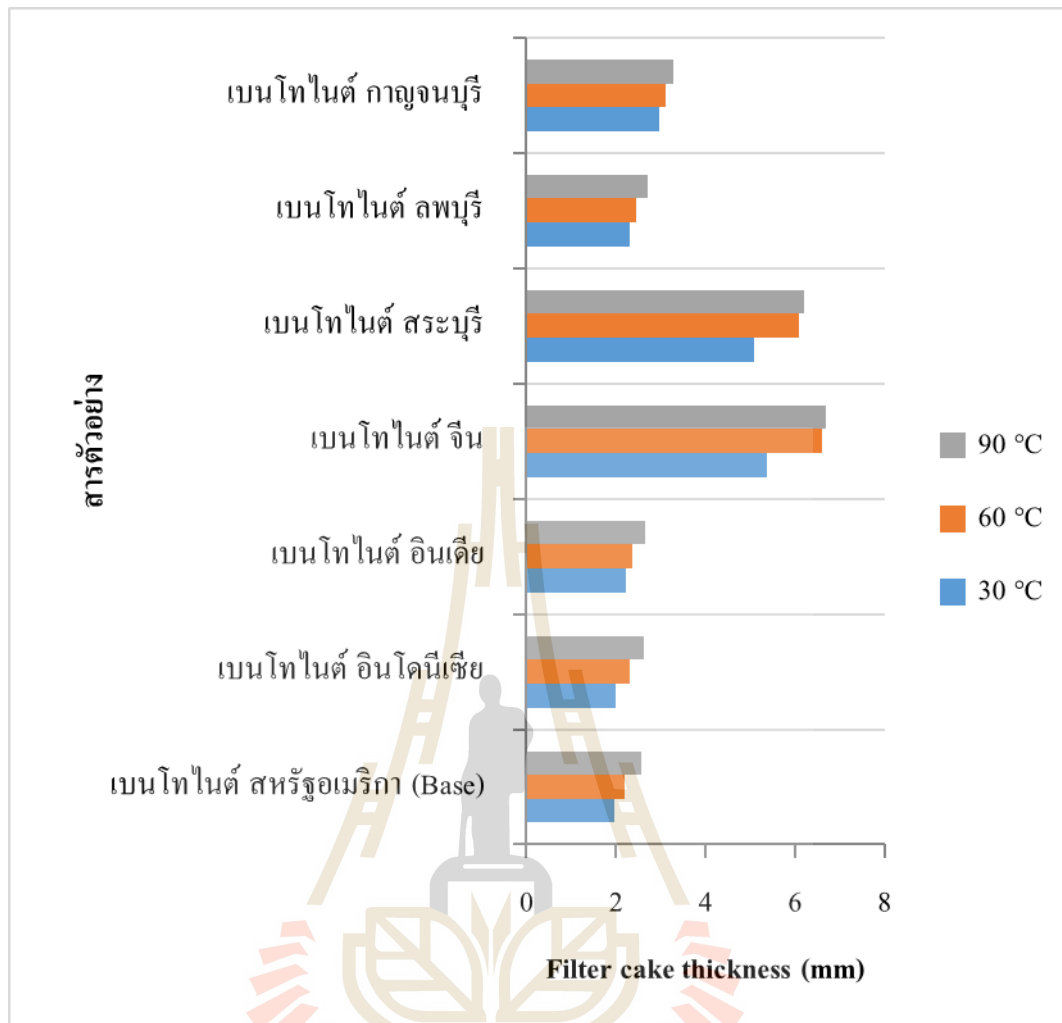


รูปที่ 4.41 ปริมาณการสูญเสียในน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จากแหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของน้ำโคลนชุดเจาะทั้ง 21 สูตรผสมน้ำโคลน พบว่าค่าปริมาณการสูญเสียน้ำในน้ำโคลนตามมาตรฐาน API ของน้ำโคลนพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 90 องศาเซลเซียส ค่าปริมาณการสูญเสียน้ำในน้ำโคลนจากทุกแหล่งเหมือนกันคือมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ซึ่งพบว่าเบนโทไนด์สหรัฐอเมริกาปริมาณการสูญเสียน้ำในน้ำโคลนน้อยที่สุด รองมาเป็นเบนโทไนด์อินโดนีเซีย ในส่วนเบนโทไนด์อินเดีย และลพบุรี มีค่าใกล้เคียงกัน เบนโทไนด์กาญจนบุรี เบนโทไนด์สระบุรี และเบนโทไนด์จีนมีปริมาณการสูญเสียน้ำในน้ำโคลนมากที่สุดตามลำดับ

ความหนาแน่นโคลน (Mud cake) มีสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณการสูญเสียน้ำของน้ำโคลน ซึ่งอุณหภูมิส่งผลต่อการซึมผ่าน โดยของไหลมีความหนืดลดลงและเกิดการจับตัวกันตกตะกอน ซึ่งส่งผลให้เกิดความหนาแน่นของโคลนเพิ่มขึ้น โดยโคลนที่บางจะช่วยเพื่อลดการติดของก้านเจาะและลดแรงเสียดทานระหว่างก้านเจาะกับผนังหลุม

จากรูปที่ 4.42 พบว่าความหนาแน่นโคลนในรูปของกราฟแท่ง โดยน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์จากแหล่งต่างๆ มีความหนาแน่นโคลนเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นโคลน (Mud cake) เมื่อเทียบพบว่าน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์สหรัฐอเมริกา มีความหนาแน่นโคลนน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.96 ถึง 2.56 มิลลิเมตร รองมาเป็นเบนโทไนด์อินโดนีเซีย มีค่าอยู่ระหว่าง 2 ถึง 2.62 มิลลิเมตร เบนโทไนด์อินเดีย มีค่าอยู่ระหว่าง 2.22 ถึง 2.66 มิลลิเมตร เบนโทไนด์ลพบุรี มีค่าอยู่ระหว่าง 2.3 ถึง 2.72 มิลลิเมตร เบนโทไนด์กาญจนบุรี มีค่าอยู่ระหว่าง 2.96 ถึง 3.28 มิลลิเมตร เบนโทไนด์สระบุรี มีค่าอยู่ระหว่าง 5.1 ถึง 6.21 มิลลิเมตร และเบนโทไนด์จีนมีความหนาแน่นโคลนมากที่สุด มีค่าอยู่ระหว่าง 5.36 ถึง 6.7 มิลลิเมตร ตามลำดับ

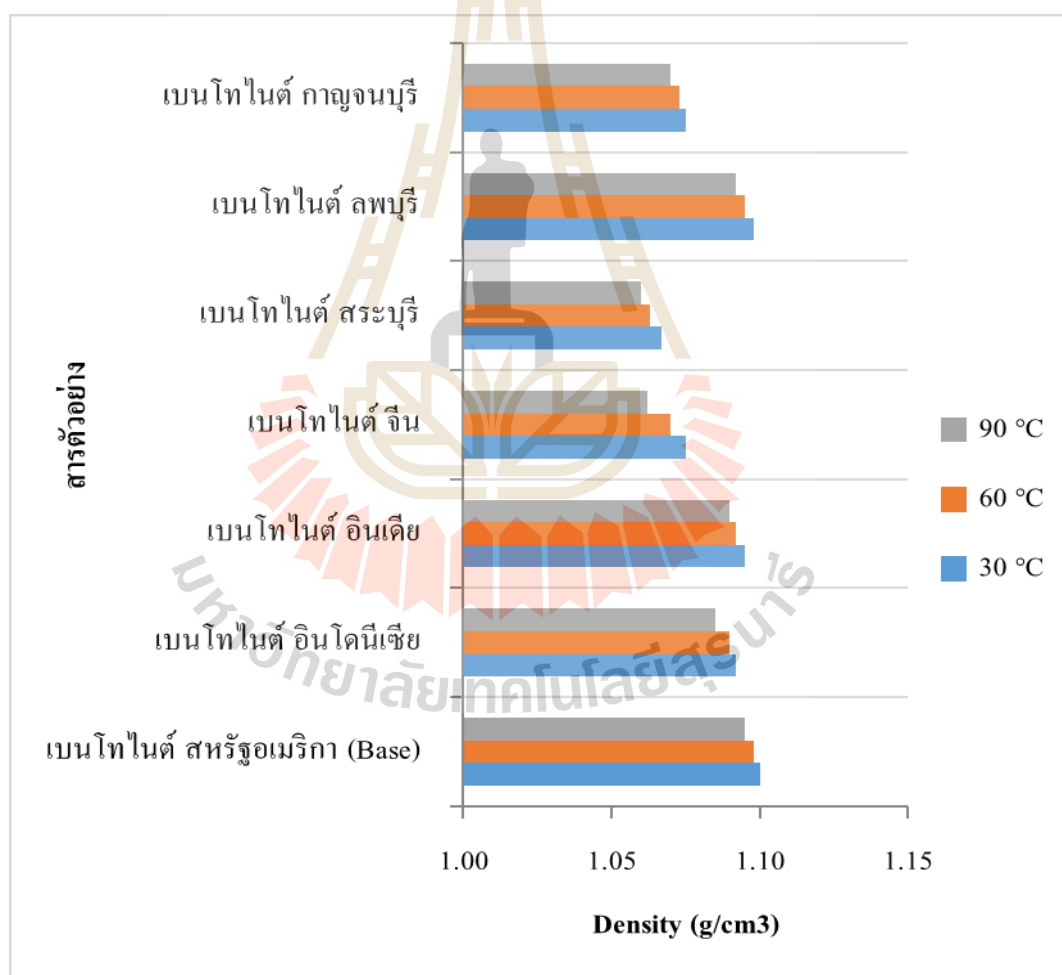


รูปที่ 4.42 ความหนาแผ่นโคลน (Mud cake) ของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จากแหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C

4.4.4 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของน้ำโคลนขุดเจาะ (Density)

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

จากรูปที่ 4.43 พบว่าน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์จากแหล่งต่างๆ มีค่าความหนาแน่นลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของน้ำโคลน เมื่อเทียบพบว่าน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์สระบุรี มีความหนาแน่นน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.06 ถึง 1.067 g/cm^3 รองมาเป็นเบนโทไนด์จีน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.062 ถึง 1.075 g/cm^3 เบนโทไนด์กาญจนบุรี มีค่าอยู่ระหว่าง 1.07 ถึง 1.075 g/cm^3 เบนโทไนด์อินโดนีเซีย มีค่าอยู่ระหว่าง 1.085 ถึง 1.092 g/cm^3 เบนโทไนด์อินเดีย มีค่าอยู่ระหว่าง 1.09 ถึง 1.095 g/cm^3 เบนโทไนด์ลพบุรี มีค่าอยู่ระหว่าง 1.092 ถึง 1.098 g/cm^3 และเบนโทไนด์สหรัฐอเมริกา มีความหนาแน่นมากที่สุด มีค่าอยู่ระหว่าง 1.095 ถึง 1.1 g/cm^3 ตามลำดับ

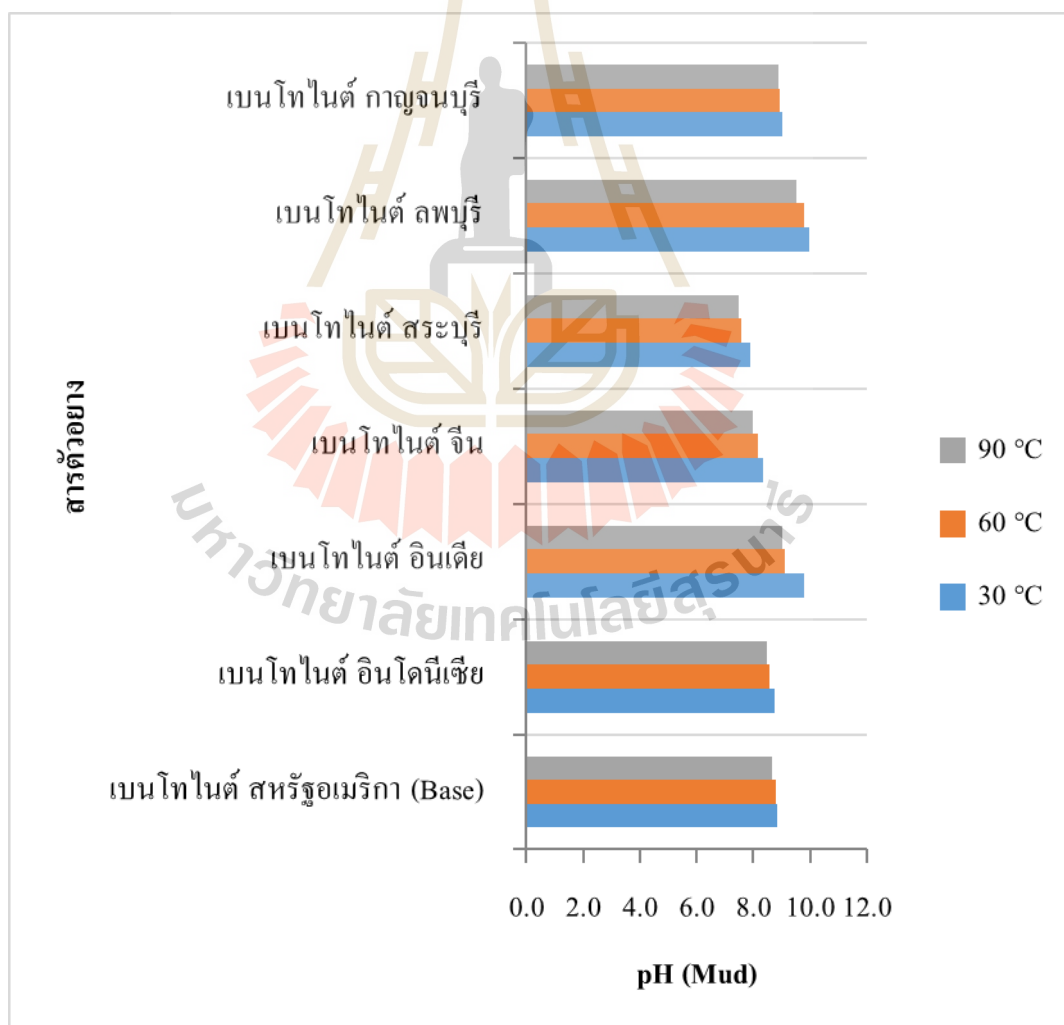


รูปที่ 4.43 ค่าความหนาแน่นของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์จากแหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

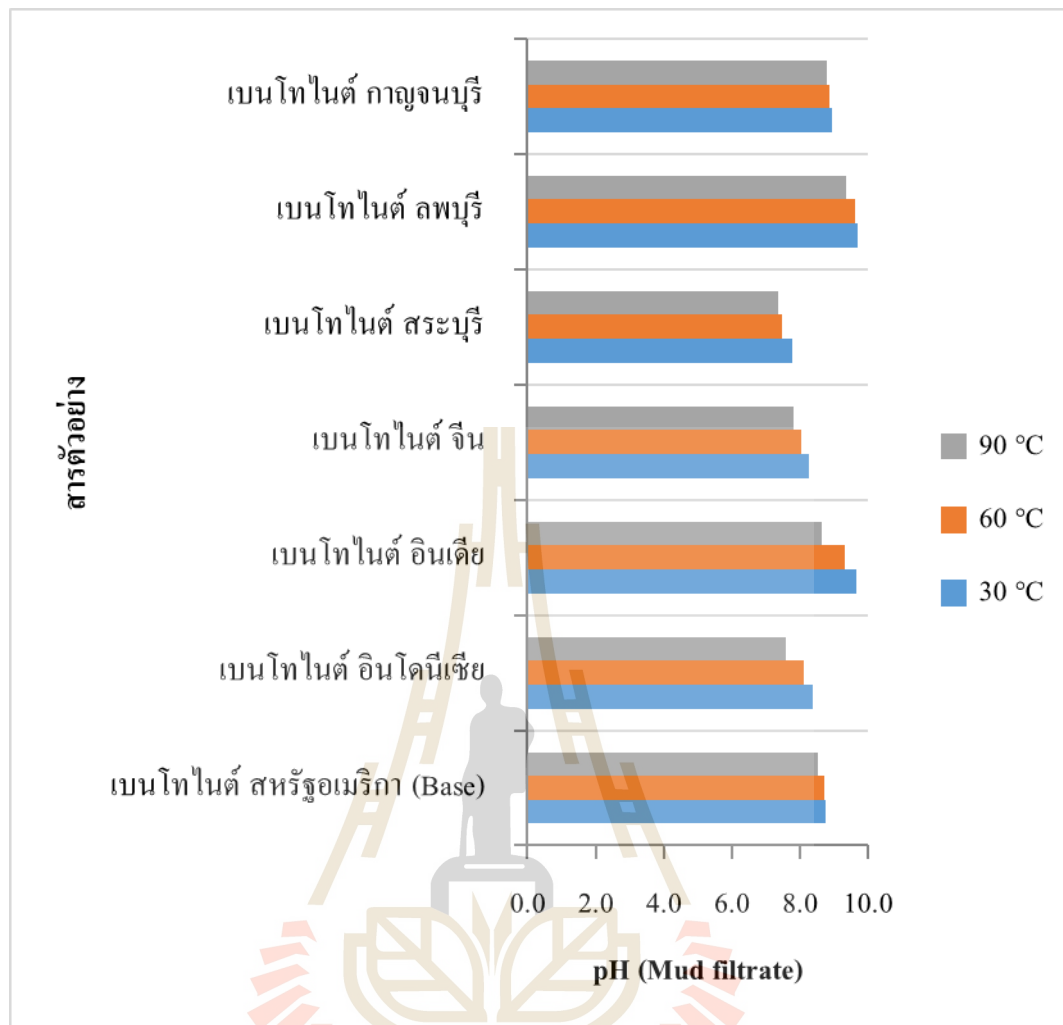
4.4.5 ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนขุดเจาะ (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) คือความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในรูปของกรัมต่อลิตร โดยปกติแล้วค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนที่ตัวทำละลายเป็นน้ำ (water-based drilling mud) มีค่าอยู่ระหว่าง 9.5-10.5 (Baker Hughes, 2006) จากการค่าเฉลี่ยผลทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลน แสดงไว้ในรูปที่ 4.44 และ 4.45 และภาคผนวก ก

จากรูปที่ 4.44 และ 4.45 พบว่าน้ำโคลนและ Mud filtrate ที่ผสมเบนโทไนต์จากแหล่งต่างๆ มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



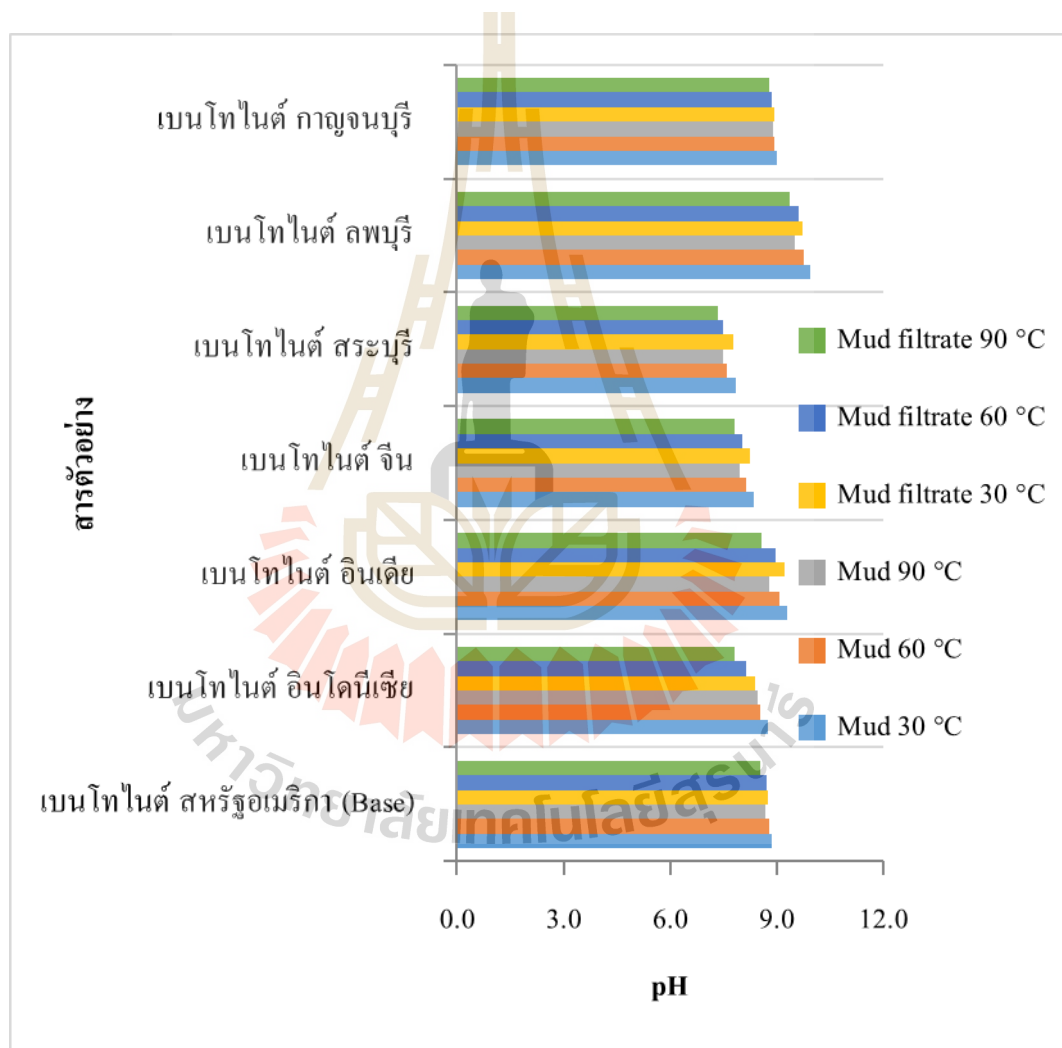
รูปที่ 4.44 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนผสมเบนโทไนต์แหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C



รูปที่ 4.45 ค่าความเป็นกรด-ด่าง Mud filtrate ของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์แหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C

จากรูปที่ 4.46 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) แสดงให้เห็นว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อเทียบพบว่าน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์สระบุรี มีค่าอยู่ระหว่าง 7.48 ถึง 7.87 มีค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยที่สุด รองมาเป็นเบนโทไนด์จีน มีค่าอยู่ระหว่าง 7.98 ถึง 8.36 เบนโทไนด์อินโดนีเซีย มีค่าอยู่ระหว่าง 8.47 ถึง 8.76 เบนโทไนด์สหรัฐอเมริกา มีค่าอยู่ระหว่าง 8.67 ถึง 8.86 เบนโทไนด์กาญจนบุรี มีค่าอยู่ระหว่าง 8.89 ถึง 9.03 เบนโทไนด์อินเดีย มีค่าอยู่ระหว่าง 9.01 ถึง 9.77 เบนโทไนด์ลพบุรี มีค่าอยู่ระหว่าง 9.53 ถึง 9.95 มีค่าความเป็นกรด-ด่างมากที่สุด ตามลำดับ และค่าความเป็นกรด-ด่าง Mud filtrate ของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์สระบุรี

มีค่าอยู่ระหว่าง 7.36 ถึง 7.78 มีค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยที่สุด รองมาเป็นเบนโทไนต์อินโดนีเซีย มีค่าอยู่ระหว่าง 7.58 ถึง 8.40 เบนโทไนต์จีน มีค่าอยู่ระหว่าง 7.82 ถึง 8.26 เบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา มีค่าอยู่ระหว่าง 8.54 ถึง 8.77 เบนโทไนต์อินเดีย มีค่าอยู่ระหว่าง 8.66 ถึง 9.66 เบนโทไนต์กาญจนบุรี มีค่าอยู่ระหว่าง 8.79 ถึง 8.94 เบนโทไนต์ลพบุรี มีค่าอยู่ระหว่าง 9.38 ถึง 9.72 มีค่าความเป็นกรด-ด่างมากที่สุด ตามลำดับ

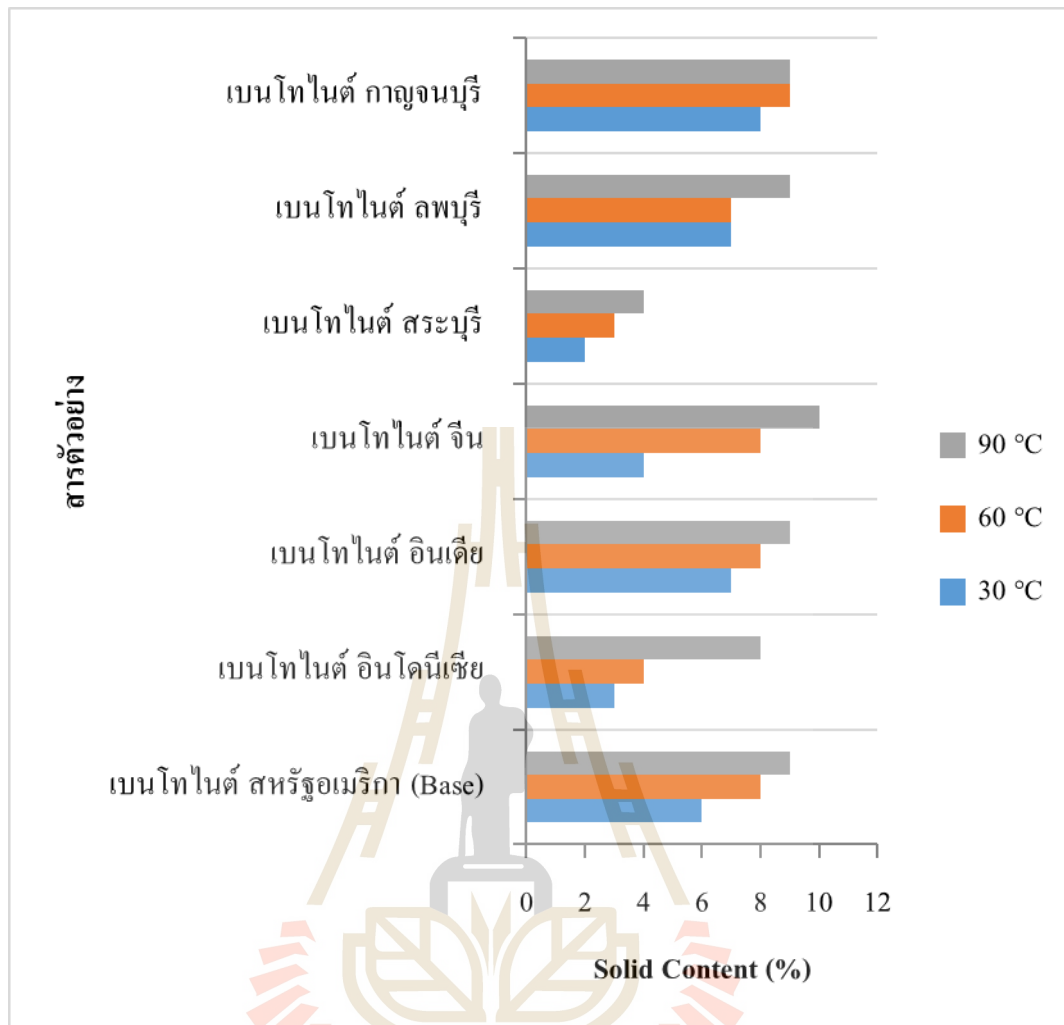


รูปที่ 4.46 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลน และ Mud filtrate ที่ผสมเบนโทไนต์แหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

4.4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งของน้ำโคลนขุดเจาะ (Solid content)

ของแข็งในน้ำโคลนปกติ แบ่งออกเป็นของแข็งที่มีความถ่วงจำเพาะสูง (High gravity solid, HGS) ซึ่งหมายถึงแบไรต์และส่วนประกอบอื่นๆ ที่มีความถ่วงจำเพาะสูง สำหรับของแข็งที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ (Low gravity solid, LGS) ประกอบด้วย เคลย์ (Clay) พอลิเมอร์ และวัสดุเชื่อมประสาน ที่ใส่ลงในน้ำโคลนร่วมกับของแข็งจากเศษหิน (Cutting) และหินเดิม (ground rock) ซึ่งจำนวนและประเภทของของแข็งในน้ำโคลน ส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำโคลน ซึ่งปริมาณของแข็งไม่ควรเกินร้อยละ 10 โดยผลการทดสอบปริมาณของแข็ง (Solid content) ในน้ำโคลน แสดงไว้ในรูปที่ 4.47 และภาคผนวก ก

จากรูปที่ 4.47 พบว่าน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จากแหล่งต่างๆ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง (Solid content) แสดงให้เห็นว่าน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จากแหล่งต่างๆ มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อเทียบพบว่าน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อเทียบพบว่าน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สระบุรี มีปริมาณของแข็งน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 2 ถึง 4 รองมาเป็นเบนโทไนต์อินโดนีเซีย มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 3 ถึง 8 เบนโทไนต์จีน มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 4 ถึง 10 เบนโทไนต์สหรัฐอเมริกามีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 6 ถึง 9 เบนโทไนต์ลพบุรี มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 7 ถึง 9 เบนโทไนต์อินเดีย มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 7 ถึง 9 และเบนโทไนต์กาญจนบุรี มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 8 ถึง 9

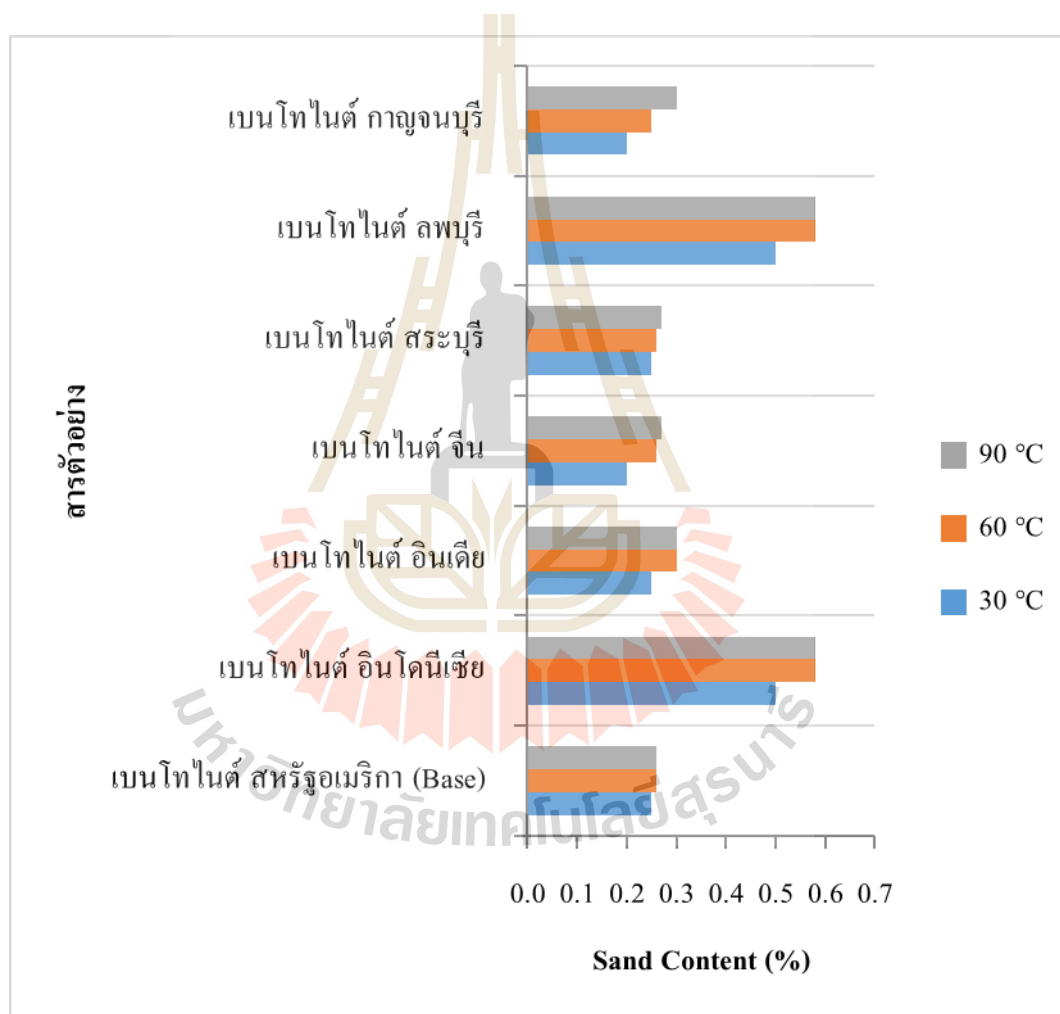


รูปที่ 4.47 ค่าปริมาณของแข็งของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์แหล่งต่างๆ อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

4.4.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณทรายของน้ำโคลนขุดเจาะ (Sand content)

อนุภาคขนาดใหญ่ของทราย มีขนาดใหญ่กว่า 0.075 มิลลิเมตร เป็นสาเหตุของการอุดตันในส่วนเครื่องสูบลม ท่อ (Tubular) รวมทั้งอุปกรณ์การขุดเจาะและมอเตอร์ภายในหลุม โดยน้ำโคลนควรมีปริมาณทรายไม่เกินร้อยละ 0.3 ซึ่งผลการทดสอบปริมาณทรายของน้ำโคลนแสดงไว้ในรูปที่ 4.48 และภาคผนวก ก จากรูปที่ 4.48 พบว่าน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์จากแหล่งต่างๆ มีปริมาณทรายเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณทราย (Sand content) แสดงให้เห็นว่าน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์จากแหล่งต่างๆ มีปริมาณของทรายเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิ

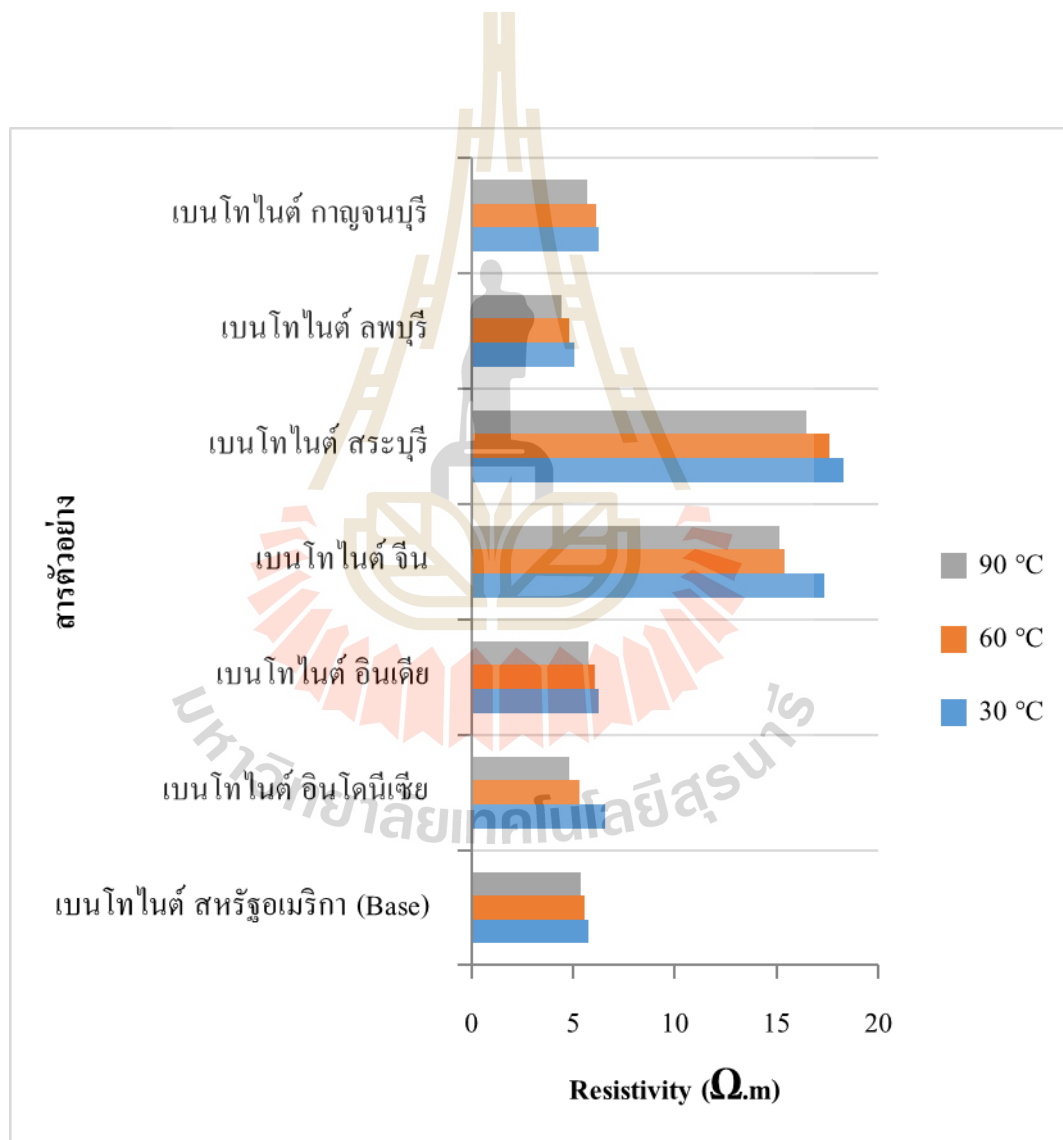
สูงขึ้น เมื่อเทียบพบว่าน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จีน มีปริมาณของแข็งน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.2 ถึง 0.27 รองมาเป็นเบนโทไนต์กาญจนบุรี มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.2 ถึง 0.3 เบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.25 ถึง 0.26 เบนโทไนต์สระบุรี มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.25 ถึง 0.27 เบนโทไนต์อินเดีย มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.25 ถึง 0.3 และในส่วนเบนโทไนต์อินโดนีเซีย และลพบุรี มีค่าเท่ากันอยู่ระหว่างร้อยละ 0.5 ถึง 0.58



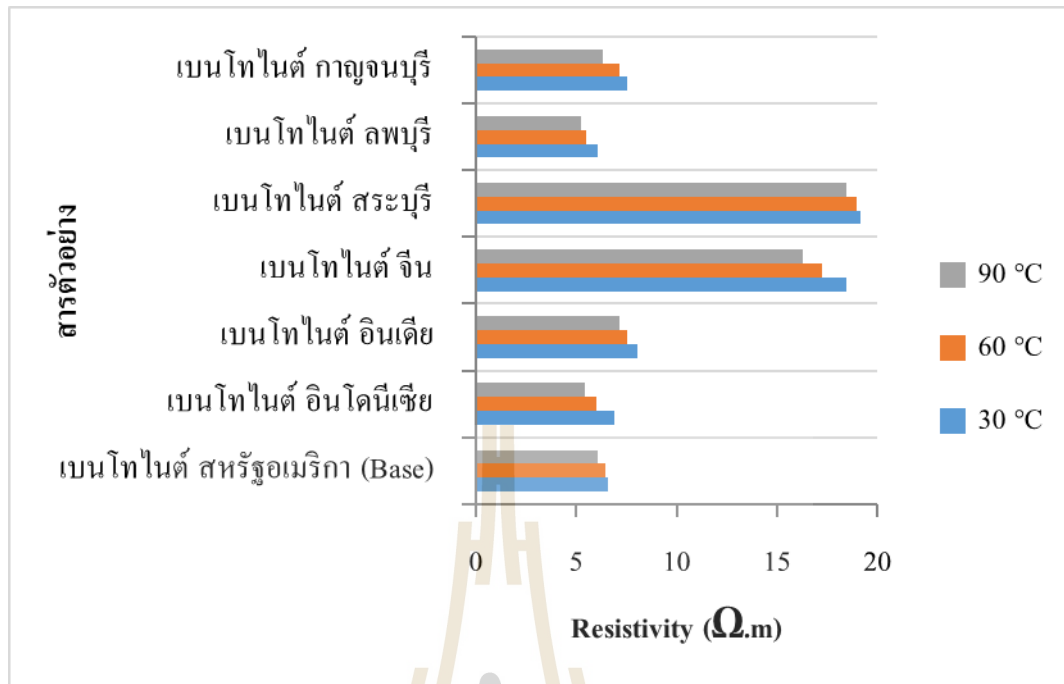
รูปที่ 4.48 ค่าปริมาณของทรายของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์แหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90 °C

4.4.8 ผลการวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้าของน้ำโคลนชุดเจาะ (Resistivity)

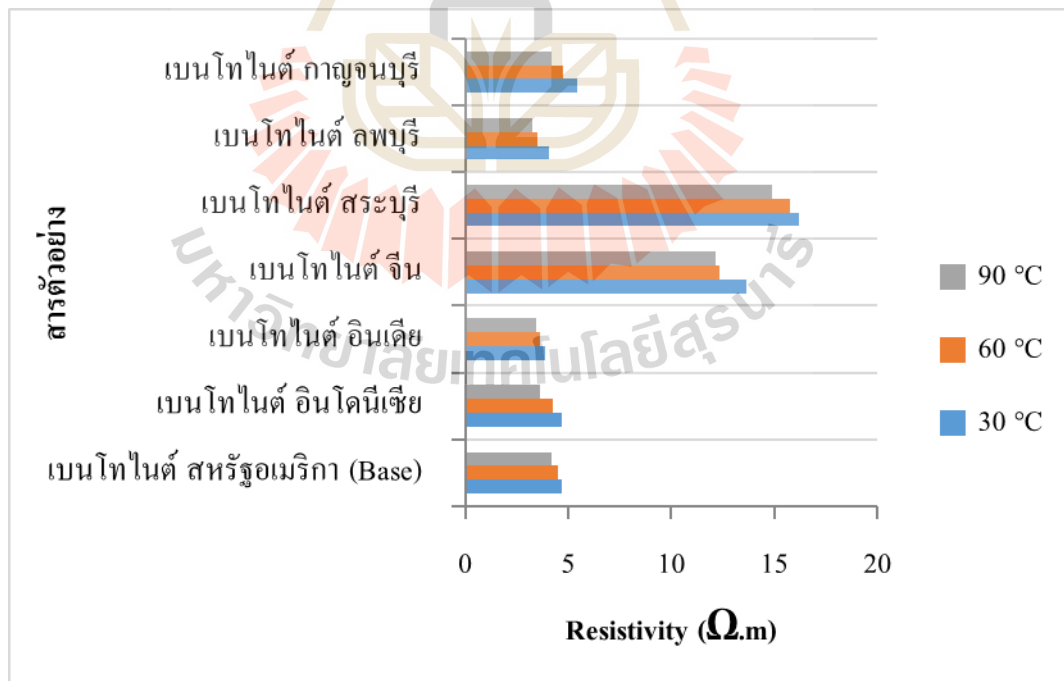
ผลการทดสอบความต้านทานไฟฟ้าของน้ำโคลน Mud filtrate และแผ่น โคลน (Mud cake) แสดงไว้ในรูปที่ 4.49 ถึง 4.52 และภาคผนวก ก ตามลำดับ จากรูปที่ 4.49 ถึง 4.51 พบว่าน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์แหล่งต่างๆ Mud filtrate และแผ่น โคลน มีค่าความต้านทานไฟฟ้าลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยน้ำโคลนมีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงกว่า Mud filtrate และแผ่น โคลน ตามลำดับ



รูปที่ 4.49 ค่าความต้านทานของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์แหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C



รูปที่ 4.50 ค่าความต้านทาน Mud filtrate ที่ผสมเบนโทไนต์แหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

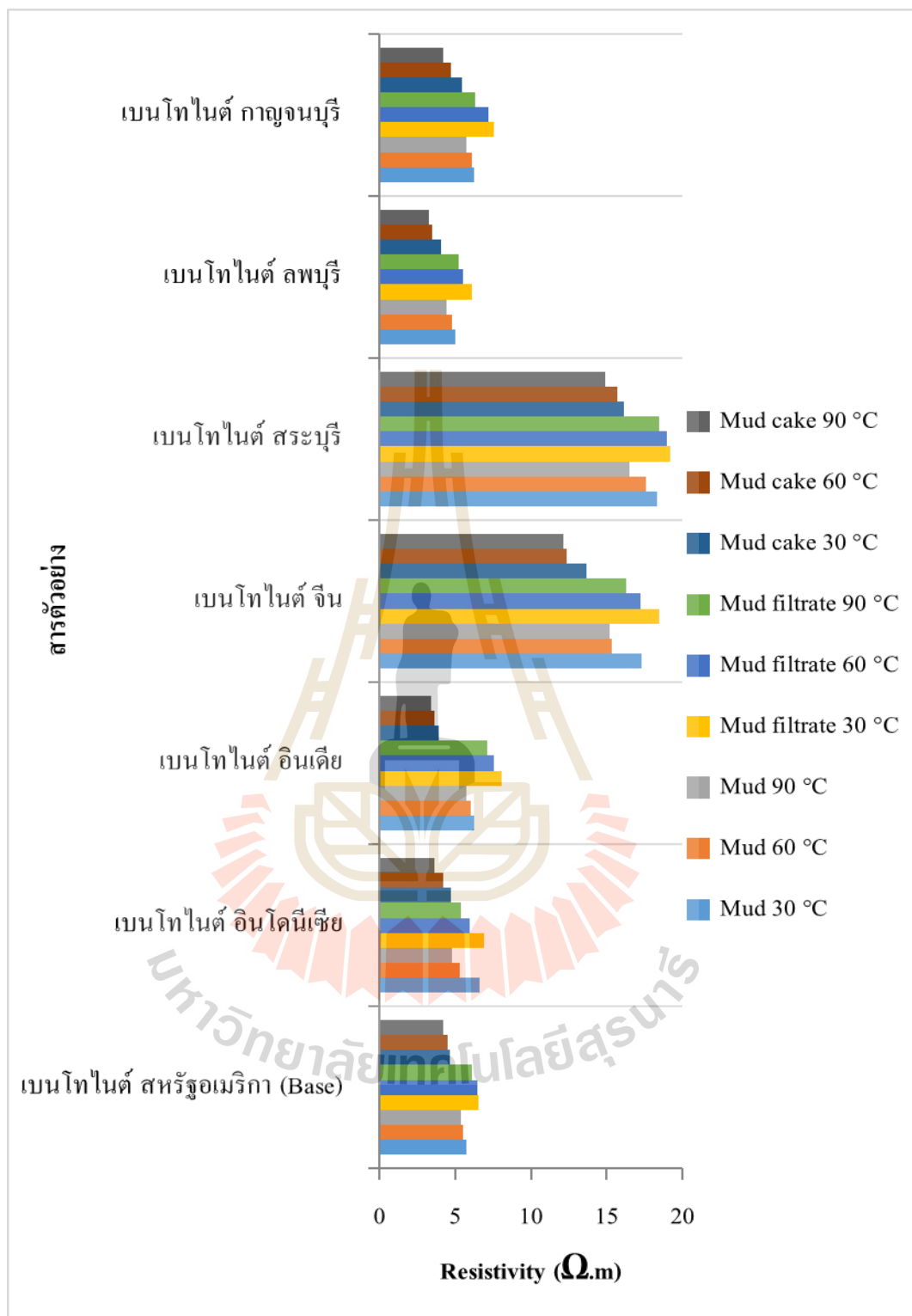


รูปที่ 4.51 ค่าความต้านทานแผ่นโคลนที่ผสมเบนโทไนต์แหล่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

จากรูปที่ 4.52 พบว่าค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) แสดงให้เห็นว่าน้ำโคลนทั้งหมด มีค่าความต้านทานลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อเทียบพบว่าน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์ลพบุรี มีค่าความต้านทานไฟฟ้าน้อยที่สุด มีค่าอยู่ระหว่าง 4.43 ถึง 5.04 $\Omega.m$ รองมาเป็นเบนโทไนต์อินโดนีเซีย มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 4.83 ถึง 6.60 $\Omega.m$ เบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 5.36 ถึง 5.78 $\Omega.m$ เบนโทไนต์กาญจนบุรี มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 5.72 ถึง 6.27 $\Omega.m$ เบนโทไนต์อินเดีย มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 5.77 ถึง 6.24 $\Omega.m$ เบนโทไนต์จีน มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 15.16 ถึง 17.32 $\Omega.m$ และเบนโทไนต์สระบุรี มีค่าอยู่ระหว่าง 16.47 ถึง 18.29 $\Omega.m$ มีค่าความต้านทานไฟฟ้ามากที่สุด ตามลำดับ

ในส่วน Mud filtrate ที่ผสมเบนโทไนต์ลพบุรี มีค่าความต้านทานไฟฟ้าน้อยที่สุด มีค่าอยู่ระหว่าง 5.25 ถึง 6.07 $\Omega.m$ รองมาเป็นเบนโทไนต์อินโดนีเซีย มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 5.41 ถึง 6.93 $\Omega.m$ เบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 6.10 ถึง 6.56 $\Omega.m$ เบนโทไนต์กาญจนบุรี มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 6.34 ถึง 7.56 $\Omega.m$ เบนโทไนต์อินเดีย มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 7.15 ถึง 8.07 $\Omega.m$ เบนโทไนต์จีน มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 16.31 ถึง 18.43 $\Omega.m$ และเบนโทไนต์สระบุรี มีค่าอยู่ระหว่าง 18.49 ถึง 19.18 $\Omega.m$ มีค่าความต้านทานไฟฟ้ามากที่สุด ตามลำดับ

แผ่นโคลนของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์ลพบุรี มีค่าความต้านทานไฟฟ้าน้อยที่สุด มีค่าอยู่ระหว่าง 3.24 ถึง 4.05 $\Omega.m$ รองมาเป็นเบนโทไนต์อินเดีย มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 3.44 ถึง 3.90 $\Omega.m$ เบนโทไนต์อินโดนีเซีย มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 3.65 ถึง 4.72 $\Omega.m$ เบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 4.18 ถึง 4.67 $\Omega.m$ เบนโทไนต์กาญจนบุรี มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 4.21 ถึง 5.45 $\Omega.m$ เบนโทไนต์จีน มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 12.14 ถึง 13.64 $\Omega.m$ และเบนโทไนต์สระบุรี มีค่าอยู่ระหว่าง 14.87 ถึง 16.17 $\Omega.m$ มีค่าความต้านทานไฟฟ้ามากที่สุด ตามลำดับ



รูปที่ 4.52 ค่าความต้านทานของน้ำโคลน (Mud) น้ำที่ซึมผ่านของน้ำโคลน (Mud filtrate) และแผ่นโคลน (mud cake) ที่ผสมเบนโทไนต์แหล่งต่างๆที่อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

4.5 ผลการประเมินราคาเบนโทไนด์ของแต่ละแหล่ง

โดยทั่วไปน้ำโคลนเจะนั้นมีราคาค่อนข้างสูง เนื่องจากการผสมสารเคมีและวัสดุต่างๆ ซึ่งต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์และสรุปถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของน้ำโคลนที่นำมาใช้ จากตารางที่ 4.7 ได้แสดงการเปรียบเทียบราคาเบนโทไนด์แต่ละแหล่งที่ใช้ผสมในน้ำโคลนเจะพร้อมทั้งราคาต่อหน่วย จะเห็นได้ว่าผลการเปรียบเทียบราคาของเบนโทไนด์จากราคาต่ำไปหาราคาสูง ตามลำดับดังนี้ ราคาของกลุ่มเบนโทไนด์ในประเทศไทย ได้แก่ สระบุรี กาญจนบุรี ลพบุรี และราคาของกลุ่มเบนโทไนด์ต่างประเทศ ได้แก่ อินเดีย อินโดนีเซีย จีน และ อเมริกา ตามลำดับ โดยเบนโทไนด์จากอเมริกามีราคาสูงที่สุด ดังนั้นการเปรียบเทียบราคาของเบนโทไนด์ พบว่าเบนโทไนด์ในประเทศไทยสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าเบนโทไนด์จากต่างประเทศได้ แต่คุณภาพและประสิทธิภาพอาจไม่เทียบเท่ากับเบนโทไนด์ของสหรัฐอเมริกา โดยคุณสมบัติของเบนโทไนด์ของจังหวัดลพบุรีอยู่ในกลุ่มใกล้เคียงกับเบนโทไนด์ของประเทศอินเดีย กล่าวได้ว่าเบนโทไนด์สระบุรี ลพบุรีและกาญจนบุรีสามารถใช้ทดแทนเบนโทไนด์จากต่างประเทศในสภาวะของหลุมที่ไม่ลึกมากได้

ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบราคาเบนโทไนด์แต่ละแหล่ง

เบนโทไนด์	ราคา (บาท)	หน่วย (กิโลกรัม)	ราคา/หน่วย (บาท/กิโลกรัม)
สหรัฐอเมริกา	11,400	1,000	11.4
จีน	11,000	1,000	11
อินโดนีเซีย	9,800	1,000	9.8
อินเดีย	8,500	1,000	8.5
ลพบุรี	8,000	1,000	8
กาญจนบุรี	7,500	1,000	7.5
สระบุรี	6,000	1,000	6

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์ทั้งผลการทดลองและการเปรียบเทียบราคาของเบนโทไนต์ในแต่ละแหล่ง และสรุปผลทั้งหมดที่ได้จากการทดลองและแนวทางในการศึกษาในอนาคต

5.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ผลของอุณหภูมิของน้ำโคลนขุดเจาะ

ผลจากการวิเคราะห์ธาตุประกอบ พบว่าสารที่ใช้ผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ ได้แก่ แบไรต์ เบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา เบนโทไนต์อินโดนีเซีย เบนโทไนต์อินเดีย เบนโทไนต์จีน เบนโทไนต์สระบุรี เบนโทไนต์ลพบุรี และเบนโทไนต์กาญจนบุรี มีปริมาณธาตุประกอบหลัก ตามลำดับดังต่อไปนี้

แบไรต์ ประกอบด้วย BaO ร้อยละ 53.80

เบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา ประกอบด้วย SiO₂ ร้อยละ 69.83 Al₂O₃ ร้อยละ 21.97 และ MgO ร้อยละ 3.93

เบนโทไนต์อินโดนีเซีย ประกอบด้วย SiO₂ ร้อยละ 59.97 Al₂O₃ ร้อยละ 17.98 และ Fe₂O₃ ร้อยละ 7.74

เบนโทไนต์อินเดีย ประกอบด้วย SiO₂ ร้อยละ 56.35 Fe₂O₃ ร้อยละ 19.16 และ Al₂O₃ ร้อยละ 15.82

เบนโทไนต์จีน ประกอบด้วย SiO₂ ร้อยละ 80.45 และ Al₂O₃ ร้อยละ 11.51

เบนโทไนต์สระบุรี ประกอบด้วย SiO₂ ร้อยละ 72.62 และ Al₂O₃ ร้อยละ 16.18

เบนโทไนต์ลพบุรี ประกอบด้วย SiO₂ ร้อยละ 69.29 Al₂O₃ ร้อยละ 18.29 และ Fe₂O₃ ร้อยละ 5.32

เบนโทไนต์กาญจนบุรี ประกอบด้วย SiO₂ ร้อยละ 77.90 และ Al₂O₃ ร้อยละ 12.42

ในการวิเคราะห์เบนโทไนต์แต่ละแหล่งพบว่า ธาตุประกอบ SO_3 ไม่พบในเบนโทไนต์ อินโดนีเซียและกาญจนบุรี ธาตุประกอบ SrO ไม่พบในเบนโทไนต์อินเดีย ธาตุประกอบ TiO_2 ไม่พบในเบนโทไนต์กาญจนบุรี ธาตุประกอบ ZnO ไม่พบในเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา จีน และกาญจนบุรี ส่วนธาตุประกอบ ZrO_2 ไม่พบในเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา อินโดนีเซีย และกาญจนบุรี

ผลจากการวิเคราะห์แร่ประกอบ พบว่าแร่ที่ใช้ผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ โดยแร่แต่ละตัวมีแร่ประกอบหลักที่คล้ายกัน คือ

แบไรต์ ประกอบด้วย แร่แบไรต์ ร้อยละ 77.30

เบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา ประกอบด้วย แร่ไมโครคลายน์ ร้อยละ 29.98 แร่เคโอลิไนต์ ร้อยละ 18.65 แร่ทัลก์ ร้อยละ 18.13 และแร่ซิลิกา ร้อยละ 14.96

เบนโทไนต์อินโดนีเซีย ประกอบด้วย แร่ไมโครคลายน์ ร้อยละ 31.9 แร่ทัลก์ ร้อยละ 21.18 และ แร่ซิลิกา ร้อยละ 13.64

เบนโทไนต์อินเดีย ประกอบด้วย แร่ทัลก์ ร้อยละ 38.89 แร่เคโอลิไนต์ ร้อยละ 26.43 และ แร่ซิลิกา ร้อยละ 11.53

เบนโทไนต์จีน ประกอบด้วย แร่ซิลิกา ร้อยละ 48.9 แร่ไมโครคลายน์ ร้อยละ 22.31 และ แร่ทัลก์ ร้อยละ 12.9

เบนโทไนต์ของสระบุรี ประกอบด้วย แร่ซิลิกา ร้อยละ 63.2 และแร่ไมโครคลายน์ ร้อยละ 19.77

เบนโทไนต์ลพบุรี ประกอบด้วย แร่ทัลก์ ร้อยละ 28.51 แร่เคโอลิไนต์ ร้อยละ 18.8 และ แร่แคลไซต์ ร้อยละ 18.63

เบนโทไนต์กาญจนบุรี ประกอบด้วย แร่ไมโครคลายน์ ร้อยละ 40.21 และแร่ทัลก์ ร้อยละ 20.84

หลังทำการผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะ พบว่าธาตุและแร่ประกอบหลักของน้ำโคลนขุดเจาะที่มีคุณสมบัติเหมาะสม ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

ปริมาณของ SiO_2 สูงสุด คืออยู่ระหว่าง ร้อยละ 50.53 ถึง 77.84 รองลงมามีปริมาณของ SO_3 อยู่ระหว่าง ร้อยละ 0 ถึง 23.07 ปริมาณของ Al_2O_3 อยู่ระหว่าง ร้อยละ 8.96 ถึง 17.63 ปริมาณของ Fe_2O_3 อยู่ระหว่าง ร้อยละ 1.49 ถึง 8.82 ปริมาณของ BaO อยู่ระหว่าง ร้อยละ 0.81 ถึง 4.96 ปริมาณของ MgO อยู่ระหว่าง ร้อยละ 2.01 ถึง 3.91 ปริมาณของ CaO อยู่ระหว่าง ร้อยละ 0.49 ถึง 3.06 ปริมาณของ K_2O อยู่ระหว่าง ร้อยละ 0.11 ถึง 0.80 ปริมาณของ SrO อยู่ระหว่าง ร้อยละ 0 ถึง 0.53 และ ปริมาณของ Rh_2O_3 อยู่ระหว่าง ร้อยละ 0.15 ถึง 0.45 ตามลำดับ

ส่วนผลการวิเคราะห์ของแร่ประกอบหลักของน้ำโคลนขุดเจาะหลังทำการผสมเป็นน้ำโคลนขุดเจาะประกอบด้วย แร่แบไรต์ ร้อยละ 47.98 ถึง 58.6 แร่ทัลก์ ร้อยละ 6.52 ถึง 27.36 แร่ควอตซ์ ร้อยละ 10.11 ถึง 17.368 แร่อะนอร์ไทต์ ร้อยละ 0.72 ถึง 9.164 แร่แคลไซต์ ร้อยละ 0 ถึง 6.67 แร่ไมโครคลายน์ ร้อยละ 3.38 ถึง 6.07 แร่เคโอลิไนต์ ร้อยละ 3.36 ถึง 6.632 แร่ฮีมาไทต์ ร้อยละ 0 ถึง 1.19 แร่ยิปซัม ร้อยละ 0.32 ถึง 1.124 แร่โครไมท์ ร้อยละ 0.11 ถึง 0.72 และแร่ซิงเกิล ร้อยละ 0.01 ถึง 0.58 ในส่วนของแร่ฮีมาไทต์ ไม่พบในเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา และอินโดนีเซีย

จากการศึกษาปริมาณธาตุประกอบที่พบแสดงความสัมพันธ์กับแร่องค์ประกอบในน้ำโคลนขุดเจาะ ดังต่อไปนี้ ปริมาณสารประกอบ BaO อยู่ในรูปของแร่แบไรต์ ส่วนปริมาณสารประกอบ SiO₂ อยู่ในรูปของแร่ควอตซ์ แร่เคโอลิไนต์ แร่อะนอร์ไทต์ แร่ซิงเกิล แร่ทัลก์ และแร่ไมโครคลายน์ ปริมาณสารประกอบ SO₃ อยู่ในรูปของแร่แบไรต์ และแร่ยิปซัม ปริมาณสารประกอบ Fe₂O₃ อยู่ในรูปของแร่ฮีมาไทต์ และแร่โครไมท์ และปริมาณสารประกอบแคลเซียม (CaO) อยู่ในรูปแร่แคลไซต์ โดยพบว่าอุณหภูมิระหว่าง 30 ถึง 90°C ไม่ส่งต่อการเปลี่ยนแปลงของธาตุแร่ประกอบ และโครงสร้างผลึกของแร่

จากผลการวิเคราะห์การกระจายตัว และลักษณะพื้นผิวของแบไรต์ เบนโทไนต์ ที่กำลังขยายตั้งแต่ 100 ถึง 10,000 เท่า พบว่าลักษณะพื้นผิวแบไรต์ลักษณะพื้นผิวเป็นเหลี่ยมแหลม และมีเศษชิ้นเรียวยแหลมเกาะอยู่รอบๆ เม็ดหยาบ ขนาดอยู่ระหว่าง 10 ถึง 50 ไมโครเมตร และใน ส่วนเบนโทไนต์ทุกแหล่ง มีลักษณะพื้นผิวเป็นเหลี่ยมมน และมีรูพรุนกระจายทั่วเม็ดแต่จำนวนไม่มาก

ส่วนผลจากการวิเคราะห์ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของตัวอย่างหลังการผสมเป็นน้ำโคลนที่กำลังขยายตั้งแต่ 100 ถึง 1,000 เท่า โดยใช้แผ่นโคลนในการศึกษา พบว่าลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างมีความขรุขระ มีการจับตัวกันแน่นของส่วนประกอบ และยังคงสภาพของตัวเม็ดสารอยู่ ถึงแม้จะผ่านการให้ความร้อน เบนโทไนต์ของประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ใช้เป็นสูตรพื้นฐาน พบว่ามีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ มีการจับตัวกันและเชื่อมประสานระหว่างส่วนประกอบต่างๆ สำหรับตัวอย่างอื่นๆ ก็มีลักษณะคล้ายตัวอย่างของเบนโทไนต์ของประเทศสหรัฐอเมริกา

5.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และผลของอุณหภูมิของน้ำโคลนขุดเจาะ

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านวิทยากระแสของน้ำโคลนขุดเจาะ (Rheology) แสดงให้เห็นว่าการไหลแบบซูดอพลาสติก (Pseudoplastic Flow) โดยมีค่าดัชนีพฤติกรรมกรการไหล (Flow

Behavior Index, n) น้อยกว่า 1 โดยพฤติกรรมการไหลของน้ำโคลนจะปรากฏอยู่ระหว่างแบบจำลองบิงแฮมพลาสติกกับเพาเวอร์ลอว์ จึงเรียกน้ำโคลนนี้ว่าเป็น “ของไหลแบบชูดพลาสติก” โดยพบว่าประสิทธิภาพด้านวิทยากระแสน้ำโคลนขุดเจาะ น้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์แต่ละแหล่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 90 องศาเซลเซียส แสดงค่าดังต่อไปนี้ ความหนืดปรากฏ (AV) มีค่าระหว่าง 2 cP ถึง 35.5 cP ความหนืดพลาสติก (PV) มีค่าระหว่าง 1 cP ถึง 11.8 cP จุดคราก (YP) มีค่าระหว่าง 1 lb_f/100ft² ถึง 45 lb_f/100ft² ความแข็งแรงของเจลเริ่มต้น (Initial gel strength, Gel_{in}) มีค่าระหว่าง 0 lb_f/100ft² ถึง 29 lb_f/100ft² ความแข็งแรงเจลที่ 10 นาที (10 minute gel strength, Gel₁₀) มีค่าระหว่าง 1 lb_f/100ft² ถึง 32 lb_f/100ft²

ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของน้ำโคลนขุดเจาะ (Filtration) ค่าปริมาณการสูญเสียน้ำในน้ำโคลนตามมาตรฐาน API ของน้ำโคลนพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 90 องศาเซลเซียส ค่าปริมาณการสูญเสียน้ำในน้ำโคลนจากทุกแหล่งเหมือนกันคือมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ซึ่งพบว่าเบนโทไนด์สหรัฐอเมริกา มีปริมาณการสูญเสียน้ำในน้ำโคลนน้อยที่สุด รองมาเป็นเบนโทไนด์อินโดนีเซีย เบนโทไนด์อินเดีย และเบนโทไนด์ลพบุรี มีค่าใกล้เคียงกัน และเบนโทไนด์กาญจนบุรี เบนโทไนด์สระบุรี และเบนโทไนด์จีน มีปริมาณการสูญเสียน้ำในน้ำโคลนมากตามลำดับ พบว่าน้ำโคลนมีค่าระหว่าง 13.5 ถึง 275 มิลลิลิตร ในงานทางด้านป้องกันการซึมผ่านในน้ำโคลนเบนโทไนด์กาญจนบุรี เบนโทไนด์สระบุรี และเบนโทไนด์จีน จึงไม่เหมาะแก่การนำมาใช้งาน ในส่วนของความหนาแน่นโคลน (Mud Cake Thickness) มีสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณการสูญเสียน้ำของน้ำโคลน โดยคุณภาพแผ่นโคลนขึ้นอยู่กับรูปร่าง ขนาด และการปนเปื้อนทางเคมีในน้ำโคลน โดยแผ่นโคลนที่บางจะช่วยเพื่อลดการติดของก้านเจาะและลดแรงเสียดทานระหว่างก้านเจาะกับผนังหลุม ความหนาแน่นโคลนมีค่าอยู่ระหว่าง ถึง 1.96 ถึง 6.7 มิลลิเมตร

ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของน้ำโคลนขุดเจาะ (Density) ค่าความดันล้อมรอบ (Hydrostatic Pressure) เป็นความดันที่ป้องกันผนังหลุมเจาะจากถ้ำหรือโพรงและของไหลจากชั้นหินไม่ให้เข้ามาภายในหลุมเจาะ โดยปกติแล้วค่าความหนาแน่นของน้ำโคลนจะเป็นตัวช่วยในการควบคุมความดันภายในหลุม มีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1.06 ถึง 2.16 g/cm³ พบว่าน้ำโคลนทุกสูตรอยู่ในเกณฑ์ มีค่าระหว่าง 1.06 ถึง 1.10 g/cm³ หรือ 8.846 ถึง 9.18 lb/gal จากผลการทดสอบผลของกับอุณหภูมิ พบว่าน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนด์จากแหล่งต่างๆ มีค่าความหนาแน่นลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) คือความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในรูปของกรัมต่อลิตร โดยปกติแล้วค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนที่ตัวทำละลายเป็นน้ำ (Water

Based Drilling Mud) มีค่าอยู่ระหว่าง 9.5 ถึง 10.5 พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลน มีค่าระหว่าง 7.48 ถึง 9.95 โดยแสดงให้เห็นว่าจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และค่าความเป็นกรด-ด่าง Mud Filtrate ของน้ำโคลน มีค่าอยู่ระหว่าง 7.36 ถึง 9.72

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง (Solid Content) พบว่าในน้ำโคลนชุดเจาะปกติมีปริมาณของแข็ง ไม่ควรเกินร้อยละ 10 พบว่าน้ำโคลนทุกสูตรมีปริมาณของแข็งตามเกณฑ์ ซึ่งน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จากแหล่งต่างๆ มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น มีค่าอยู่ระหว่าง ร้อยละ 7.1 ถึง 8.0

ผลการวิเคราะห์ปริมาณทราย (Sand Content) น้ำโคลนชุดเจาะปกติมีปริมาณทราย ไม่ควรเกิน ร้อยละ 0.3 ตามเกณฑ์มาตรฐาน โดยพบว่าน้ำโคลน มีปริมาณทรายเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยปริมาณทรายมีค่าระหว่าง ร้อยละ 0.2 ถึง 0.58 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จาก เบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา เบนโทไนต์อินเดีย เบนโทไนต์จีน เบนโทไนต์กาญจนบุรี และเบนโทไนต์สระบุรีเป็นไปตามเกณฑ์ มีค่าระหว่าง ร้อยละ 0.2 ถึง 0.3 และเบนโทไนต์อินโดนีเซีย และเบนโทไนต์ลพบุรี ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ มีค่าระหว่าง ร้อยละ 0.5 ถึง 0.58

ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) พบว่าความต้านทานไฟฟ้าของน้ำโคลน มีค่าระหว่าง 4.43 ถึง 18.29 $\Omega.m$ ในส่วนปริมาณการสูญเสียของน้ำโคลน (Mud Filtrate) มีค่าระหว่าง 5.25 ถึง 19.18 $\Omega.m$ และความหนาแผ่นโคลน (Mud Cake) มีค่าระหว่าง 3.24 ถึง 16.17 $\Omega.m$ ตามลำดับ โดยค่าความต้านทานไฟฟ้าลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

5.3 ผลการประเมินราคาเบนโทไนต์ของแต่ละแหล่ง

ผลการเปรียบเทียบราคาเบนโทไนต์แต่ละแหล่งที่ใช้ผสมในน้ำโคลนเจาะ พบว่าราคาของเบนโทไนต์ทุกแหล่ง จากราคาน้อยไปหามาก ได้แก่ สระบุรี กาญจนบุรี ลพบุรี อินเดีย อินโดนีเซีย จีน และ อเมริกา ตามลำดับ โดยเบนโทไนต์จากอเมริกามีราคาสูงที่สุด ราคาของกลุ่มเบนโทไนต์ในประเทศไทยมีราคาต่ำกว่าต่างประเทศ ดังนั้นการเปรียบเทียบราคาของเบนโทไนต์ แสดงให้เห็นว่าเบนโทไนต์ในประเทศไทยสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าเบนโทไนต์จากต่างประเทศได้ แต่คุณภาพและประสิทธิภาพอาจไม่เทียบเท่ากับเบนโทไนต์ของสหรัฐอเมริกา โดยคุณสมบัติของเบนโทไนต์ของจังหวัดลพบุรีอยู่ในกลุ่มใกล้เคียงกับเบนโทไนต์ของประเทศอินเดีย กล่าวได้ว่าเบนโทไนต์สระบุรี ลพบุรีและกาญจนบุรีสามารถใช้ทดแทนเบนโทไนต์จากต่างประเทศในสภาวะของหลุมที่ไม่ลึกมากได้

5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาในครั้งนี้ มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการทำการทดลองครั้งต่อไปในอนาคต เพื่อการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับน้ำโคลนชุดเจาะยิ่งขึ้น ในการทดสอบครั้งนี้ได้ทำการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ ยังไม่มีการทดสอบในสภาวะจริงในหลุมเจาะ ดังนั้นควรมีทดสอบคุณสมบัติการซึมผ่านแบบมีการหมุนเวียนของน้ำโคลน (Dynamic filtration test) และควรมีการทดสอบน้ำโคลนที่อยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันเพิ่มเติมตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันตามระดับความลึก ซึ่งจะใกล้เคียงสภาวะหลุมเจาะจริงมากกว่า ควรมีการศึกษาอิทธิพลของความเค็มหรือความเป็นอิเล็กโทรไลต์ของน้ำโคลนที่เกิดจากสารอิเล็กโทรไลต์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ โพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นต้น ซึ่งใช้กันโดยทั่วไปในโคลนชุดเจาะ ซึ่งสารเหล่านี้มีส่วนผสมของเบนโทไนต์แต่ละแหล่ง เพราะว่าจะส่งผลถึงการกระจายตัวของอนุภาคเบนโทไนต์ในน้ำโคลนชุดเจาะ



บรรณานุกรม

- กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ (2013) การตรวจสอบวัดคุณสมบัติน้ำโคลนในสนาม ชนิด และ ส่วนประกอบของน้ำโคลน (online) ได้จาก:
http://www.dmf.go.th/dmfweb/index.php?option=com_knowledge&task=detail&id=64&Itemid=42&lang=th
- กรมทรัพยากรธรณี, 2007 (online) ได้จาก:
<http://www.dmr.go.th/main.php?filename=bentonite>
- กรมทรัพยากรธรณี, 2013 (online) ได้จาก:
www.dmr.go.th/download/article/article_20110209135235.pdf
- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2007 เบนโทไนท์ (online) ได้จาก:
http://www.dpim.go.th/bdp/pdf/Industrial_Minerals-HandBook.pdf
- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2013. (online) ได้จาก:
<http://www.dpim.go.th/minerals-minerals/index.php>.
- บริษัท เทพเกษตร อุตสาหกรรม จำกัด (2013) เบนโทไนท์ (online) ได้จาก:
<http://www.siliconclay.com/bentonyte.html>
- ยุทธนา มัทธูรี บัณฑิต เต็งเจริญกุล กมลกริช พิมพ์ภักดี พีระพล สุขอ้วน และ อุไร เต็งเจริญกุล, 2012 ผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของเบนโทไนต์ในการดูดซับสารพิษอะฟาทอกซินบี 1 วารสารสัตวแพทย์ มข. ปีที่ 22 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2555.
- AI-Homadhi, E.S. (2013). **Improving Local Bentonite Performance for Drilling Fluids Applications** [On-line]. Available:
<http://faculty.ksu.edu.sa/alhomadhi/Documents/Local%20Bentonite.pdf>.
- API RP 13B-1, American Petroleum Institute, (1997). In Recommended practice standard procedure for field testing water-base drilling fluid. 2nd Edition
- Apugo-Nwosu, T.U., Mohammed-Dabo, Ahmed, A.S., Abubakar, G., Alkali, A.S., and Ayilara, S.I., (2011). Studies on the suitability of ubakala bentonitic clay for oil well drilling mud formulation. **British Journal of Applied Science & Technology**. 1(4): 152-171.

Baker Hughes. (2006). Fundamentals of Drilling Fluids. In Drilling Fluids Reference Manual.

Baker Hughes. P.1-30.

Dewu, B.B., Arabi, S.A., Oladipo, M.O.A., Funtua, I.I., Mohammed-Dabo, I.A., and

Muhammad, A.M. (2011). Improvement of rheological properties of bentonite clays

using sodium carbonate and a synthetic viscosifier. **International Archive of Applied**

Sciences and Technology. 2 (2): 43-52.

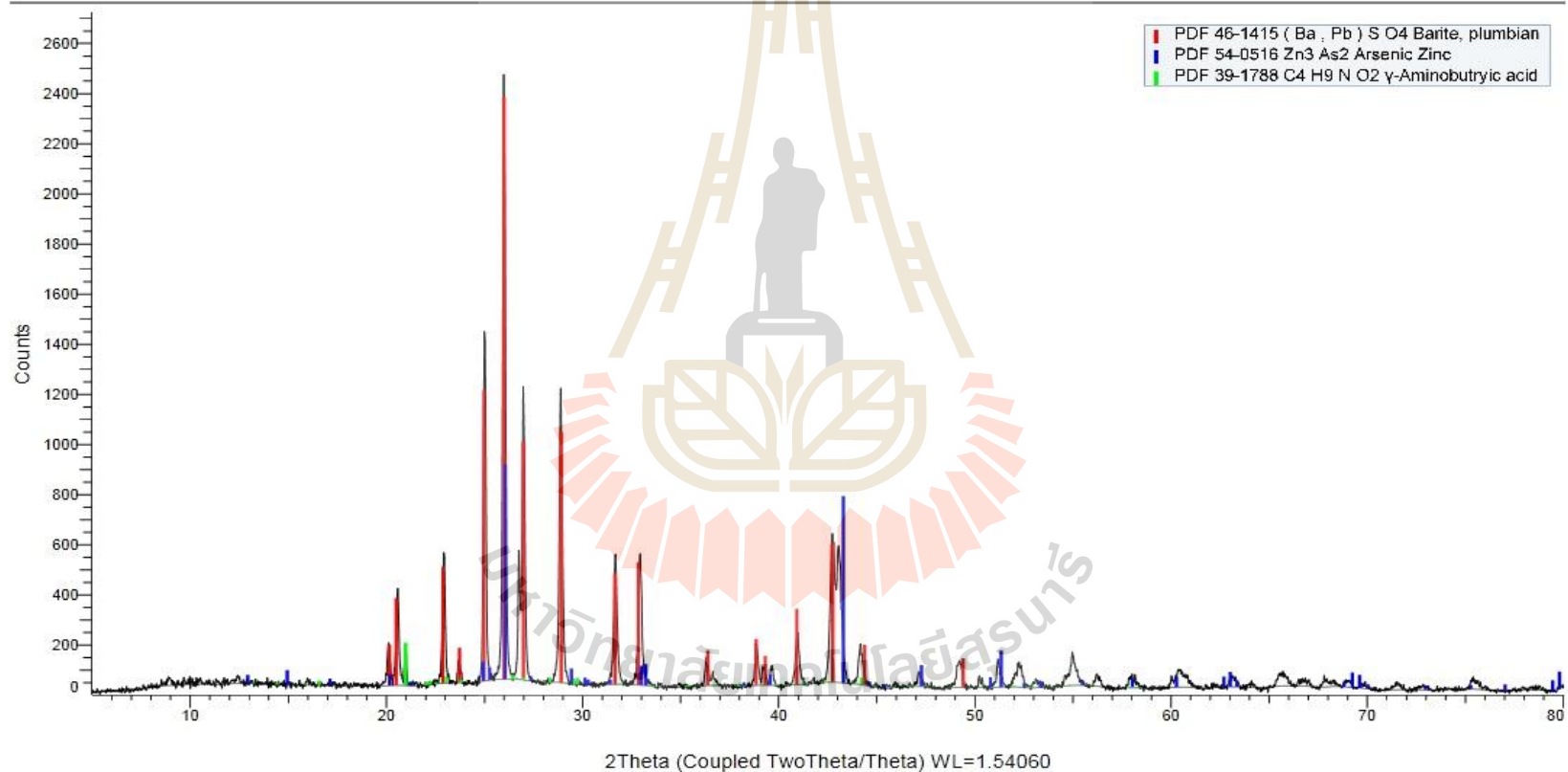
SIEP. (2003). Well Engineers Notebook, Edition 4, May 2003, p. I-1 to I-18



ภาคผนวก ก

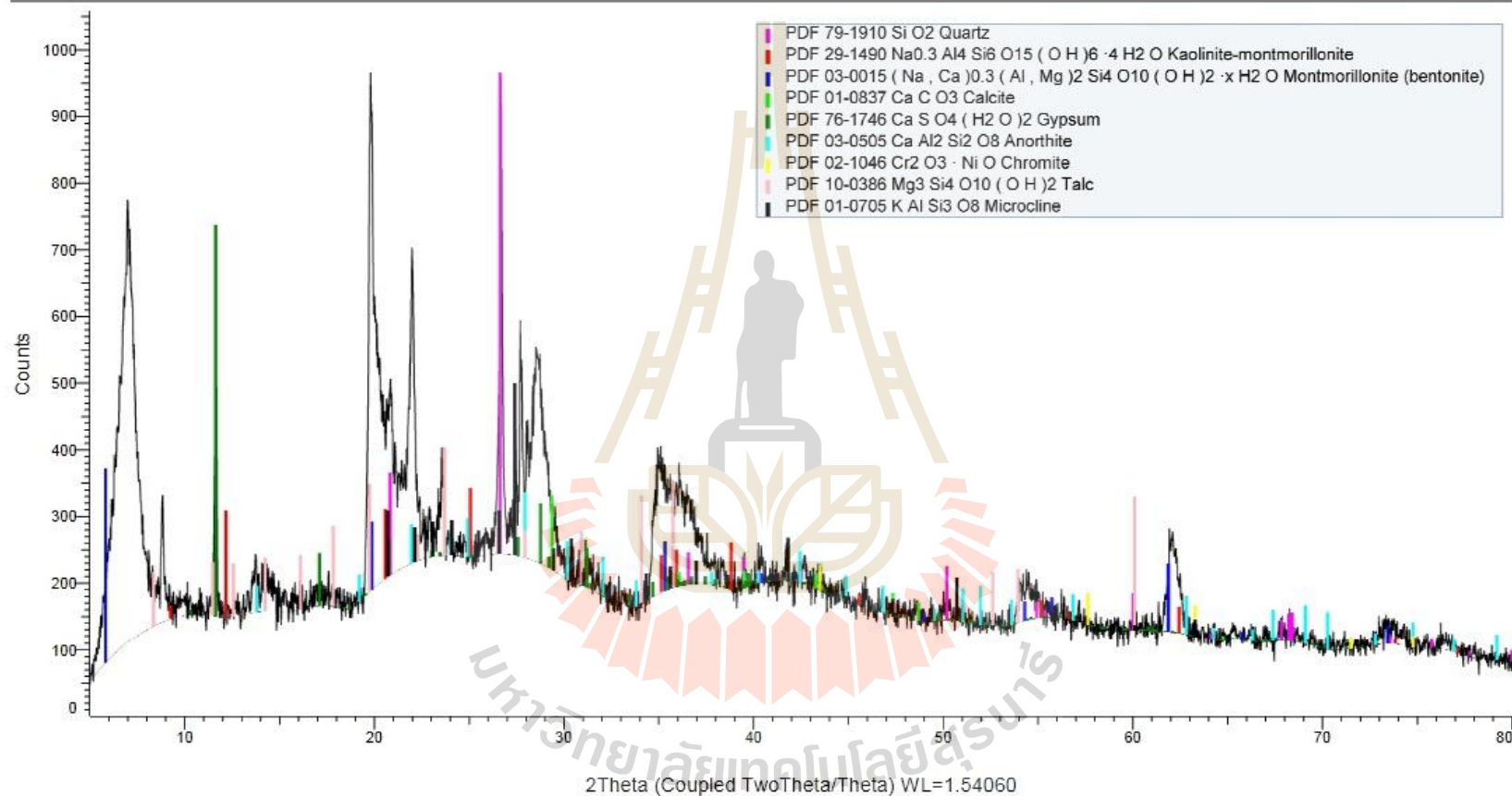
ผลการทดลองและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



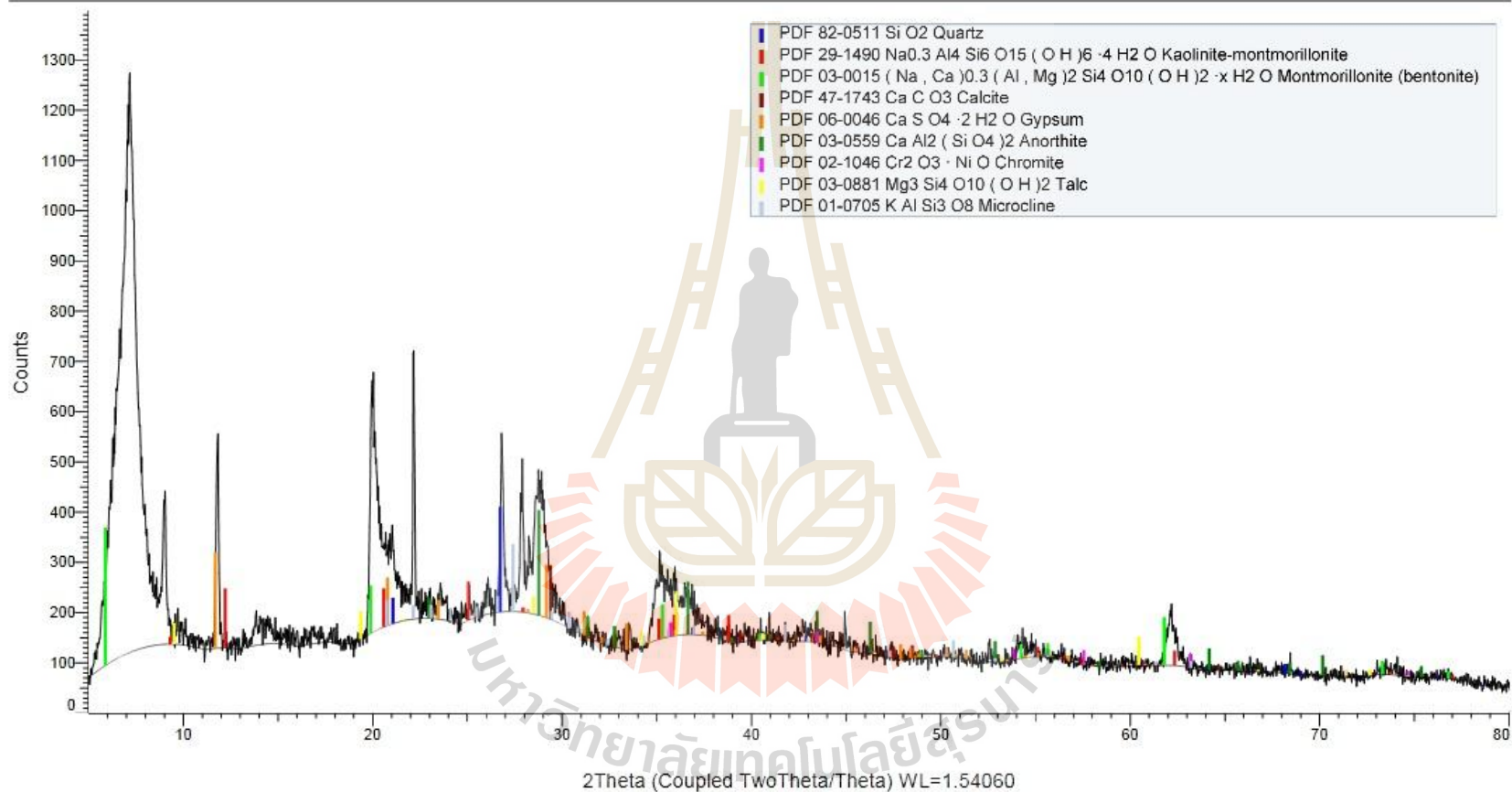
รูปที่ ก.1.1 ผลการวิเคราะห์แร่องค์ประกอบของแบไรต์

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



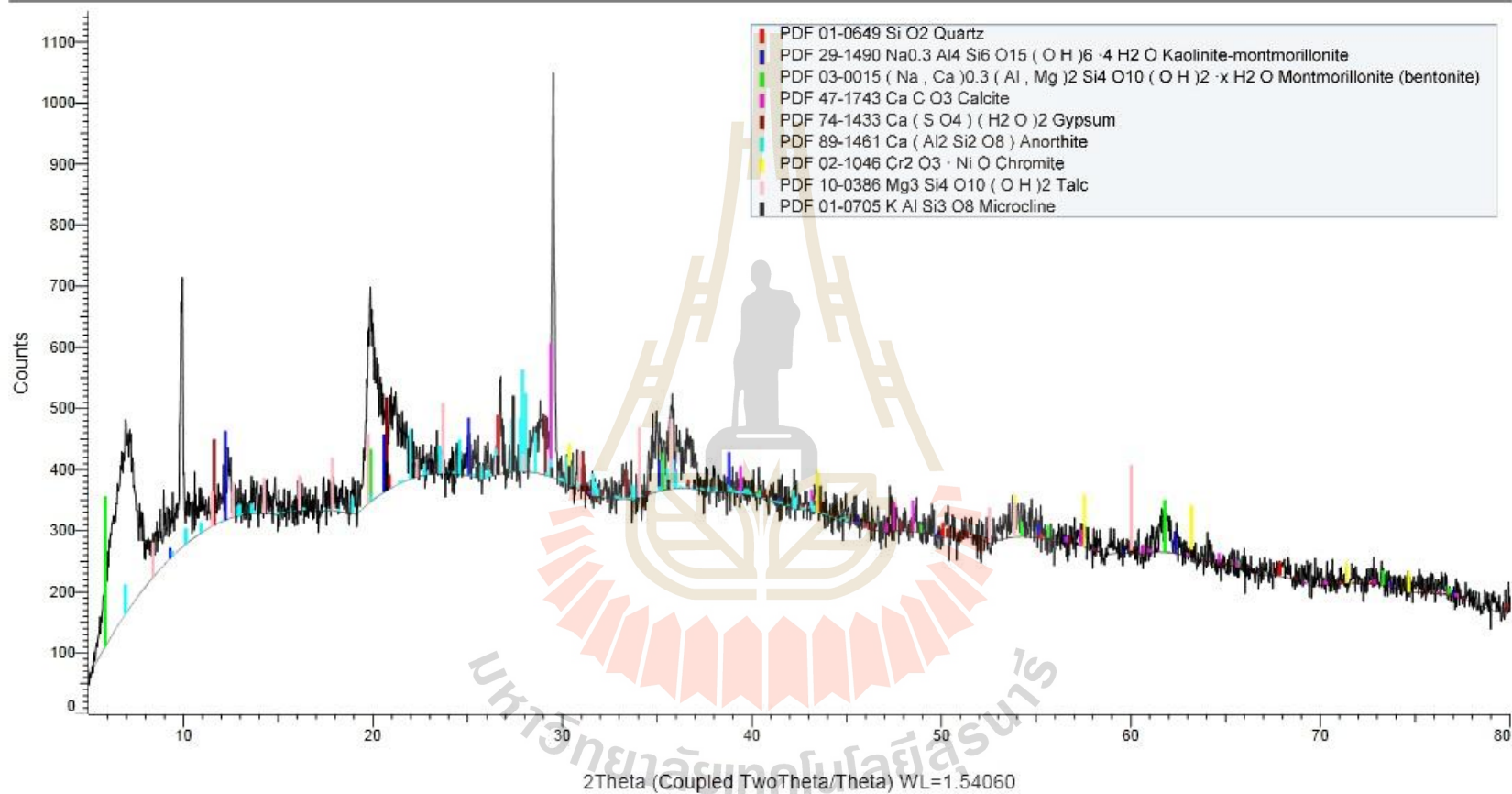
รูปที่ ก.1.2 ผลการวิเคราะห์รังสีเอกซ์ประกอบของเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



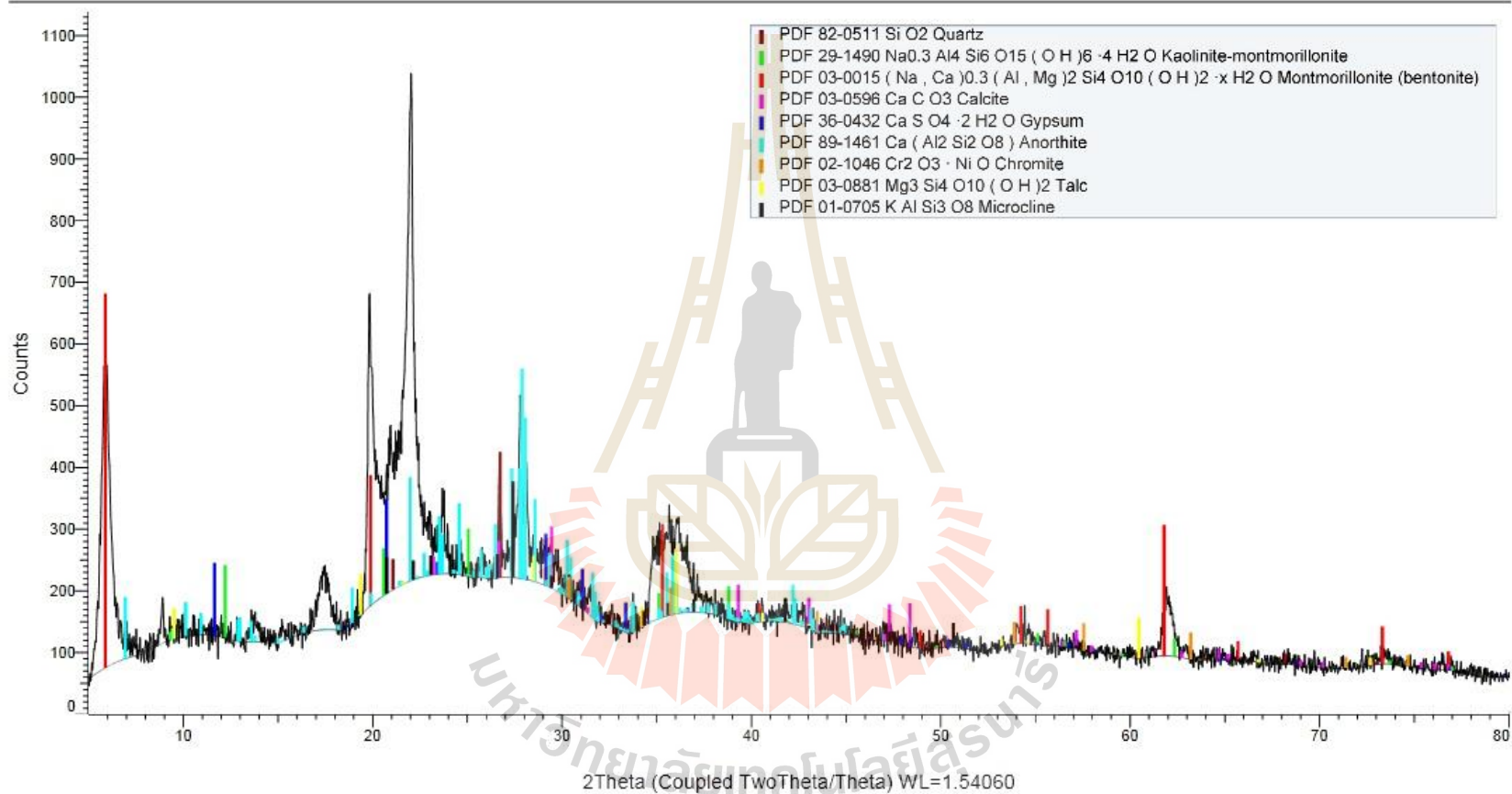
รูปที่ ก.1.3 ผลการวิเคราะห์แร่ของประกอบของเบนโทไนต์อินโดนีเซีย

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



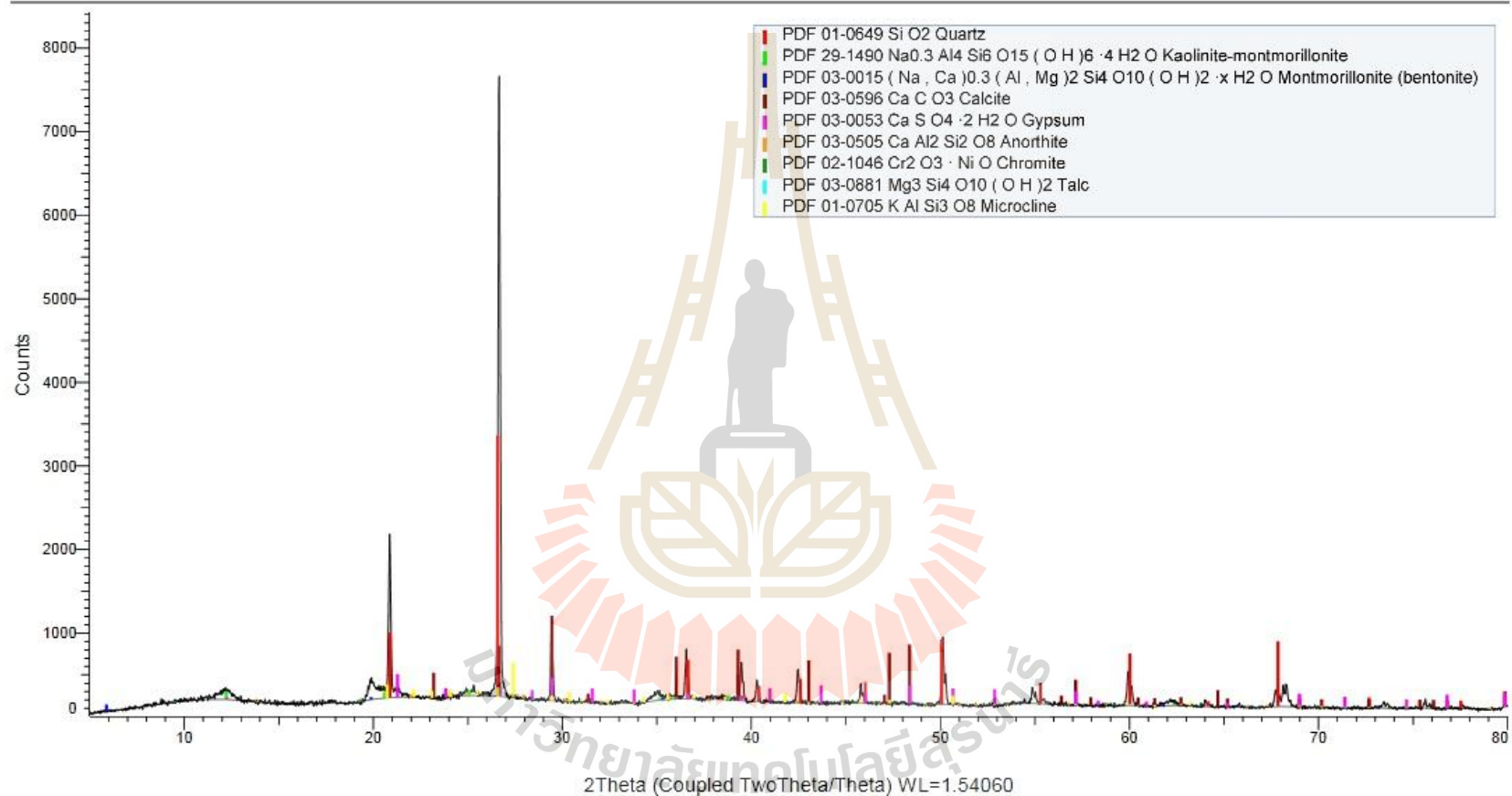
รูปที่ ก.1.4 ผลการวิเคราะห์แร่ของบentonite ในอินเดีย

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



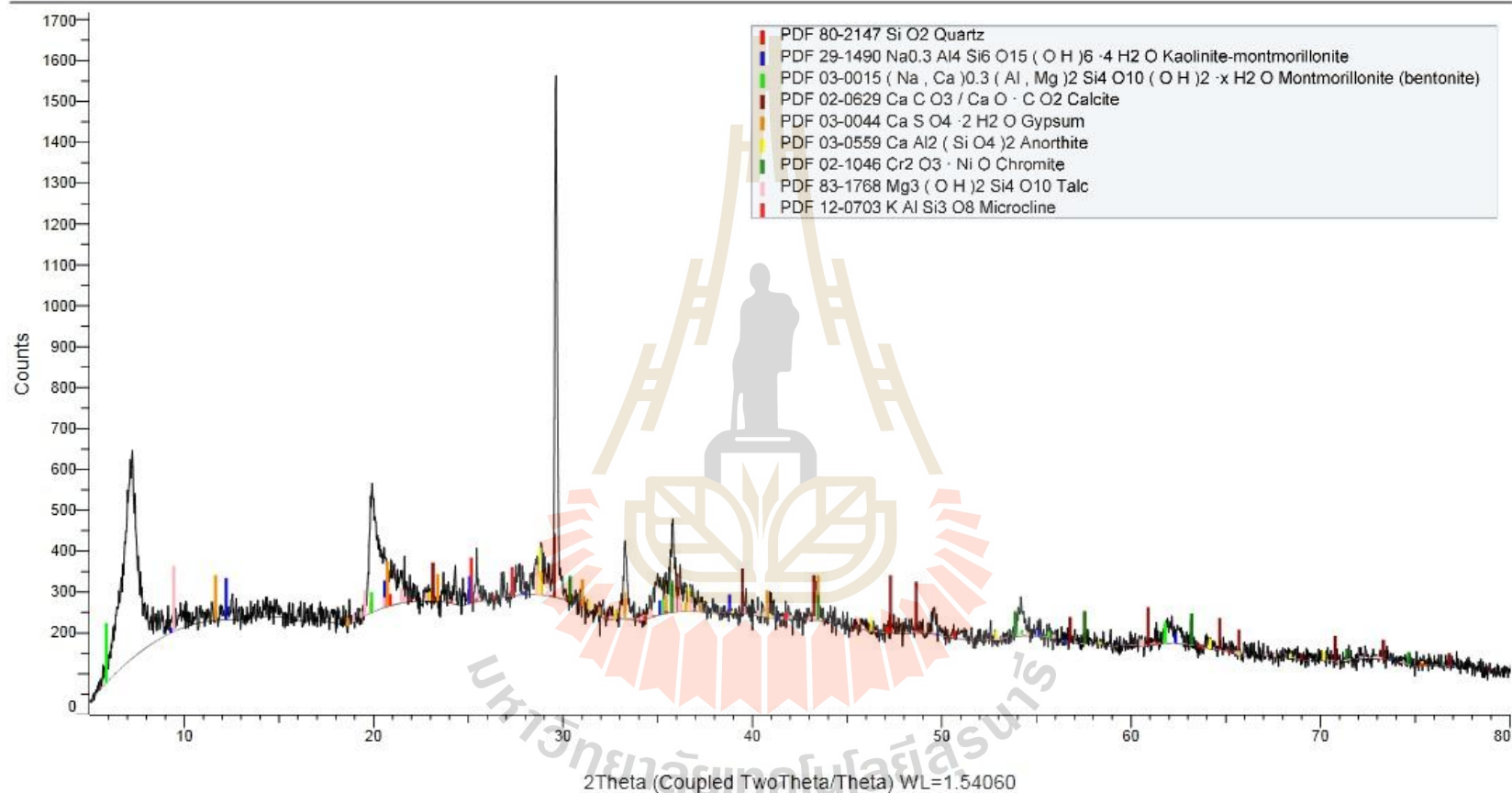
รูปที่ ก.1.5 ผลการวิเคราะห์เร่องค์ประกอบของเบนโทไนต์จีน

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



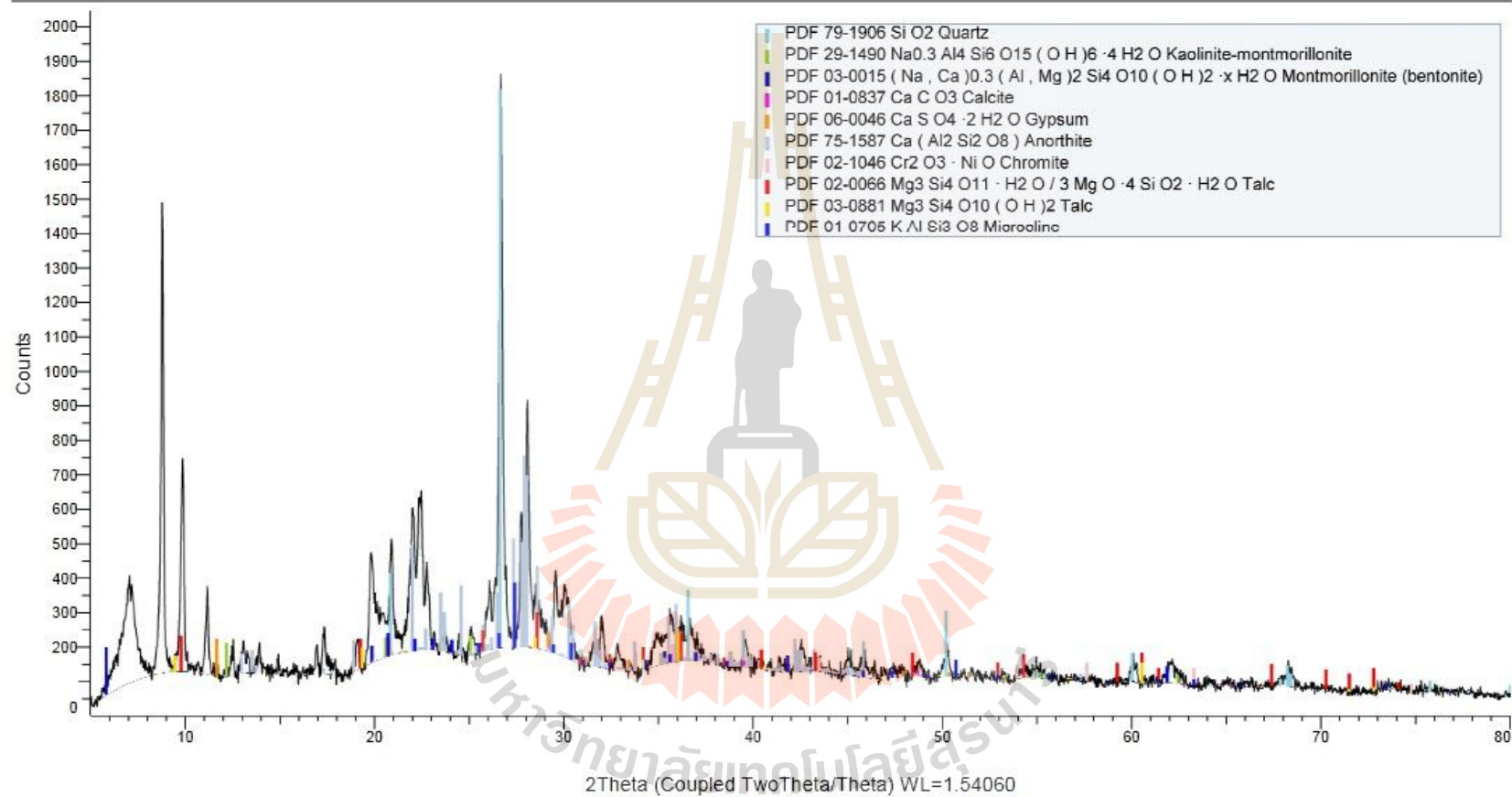
รูปที่ ก.1.6 ผลการวิเคราะห์เร่องค์ประกอบของเบนโทไนต์สระบุรี

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



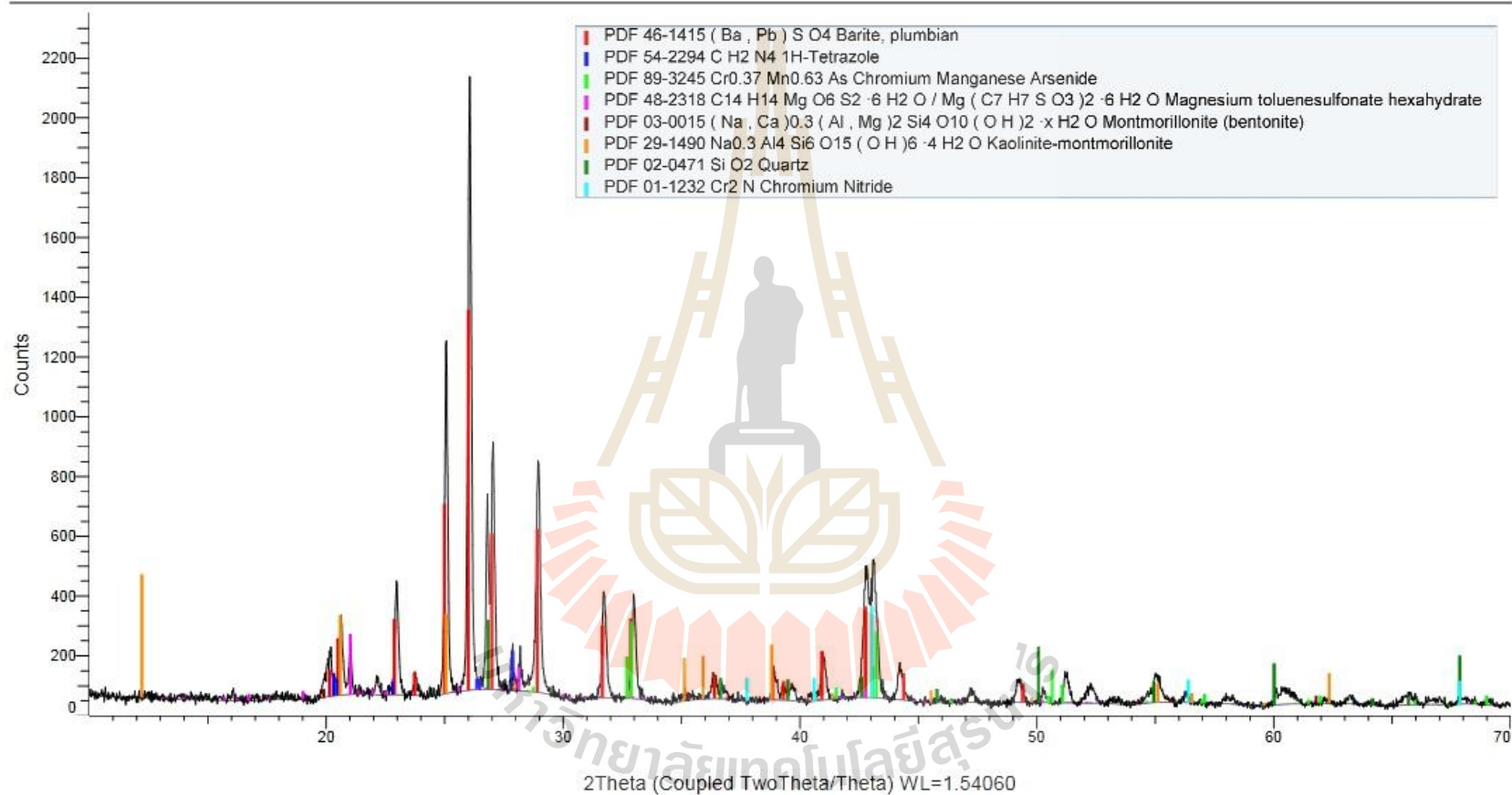
รูปที่ ก.1.7 ผลการวิเคราะห์รังสีประกอบของเบนโทไนต์ลพบุรี

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



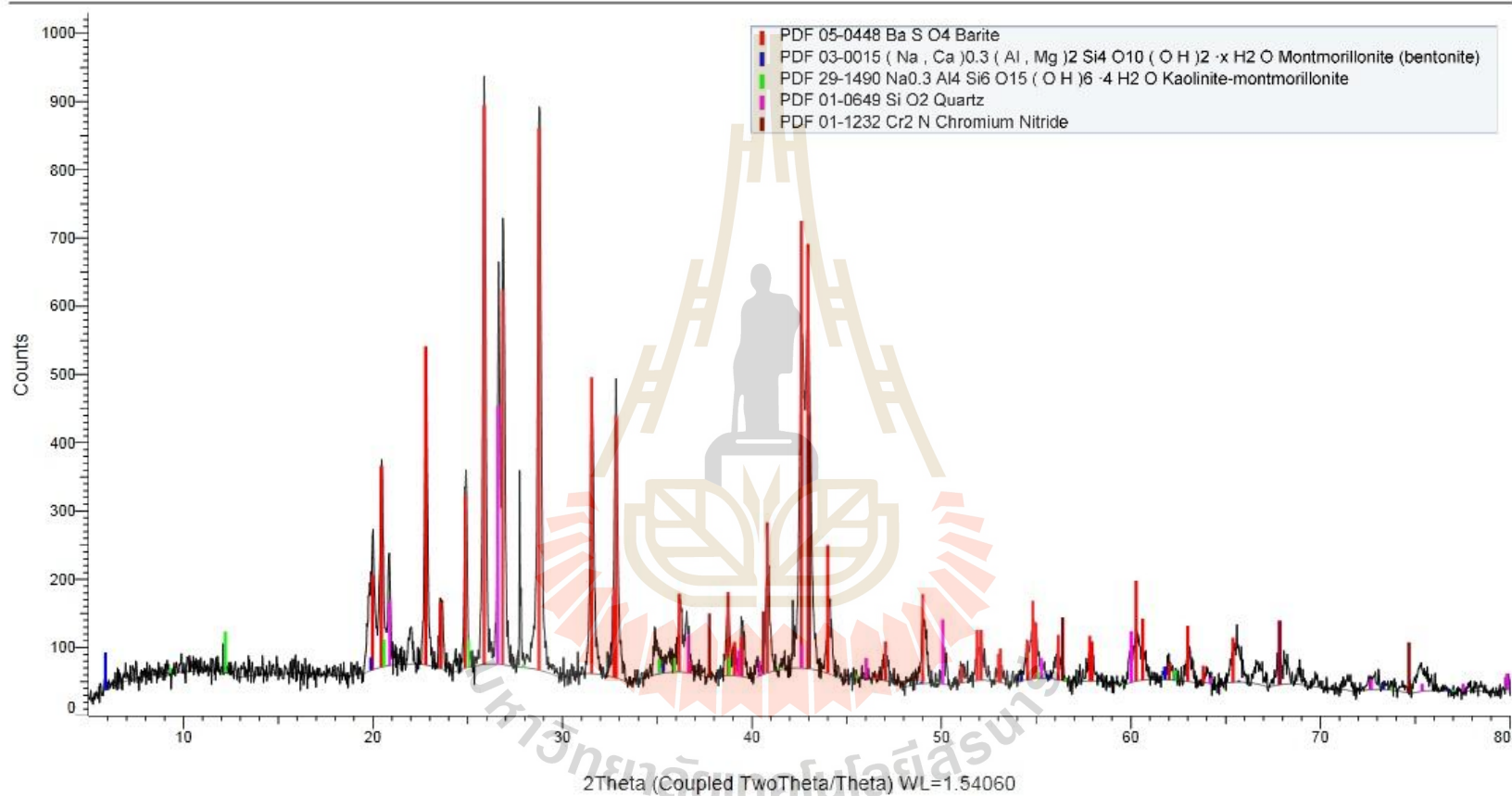
รูปที่ ก.1.8 ผลการวิเคราะห์แร่องค์ประกอบของเบนโทไนต์กาญจนบุรี

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



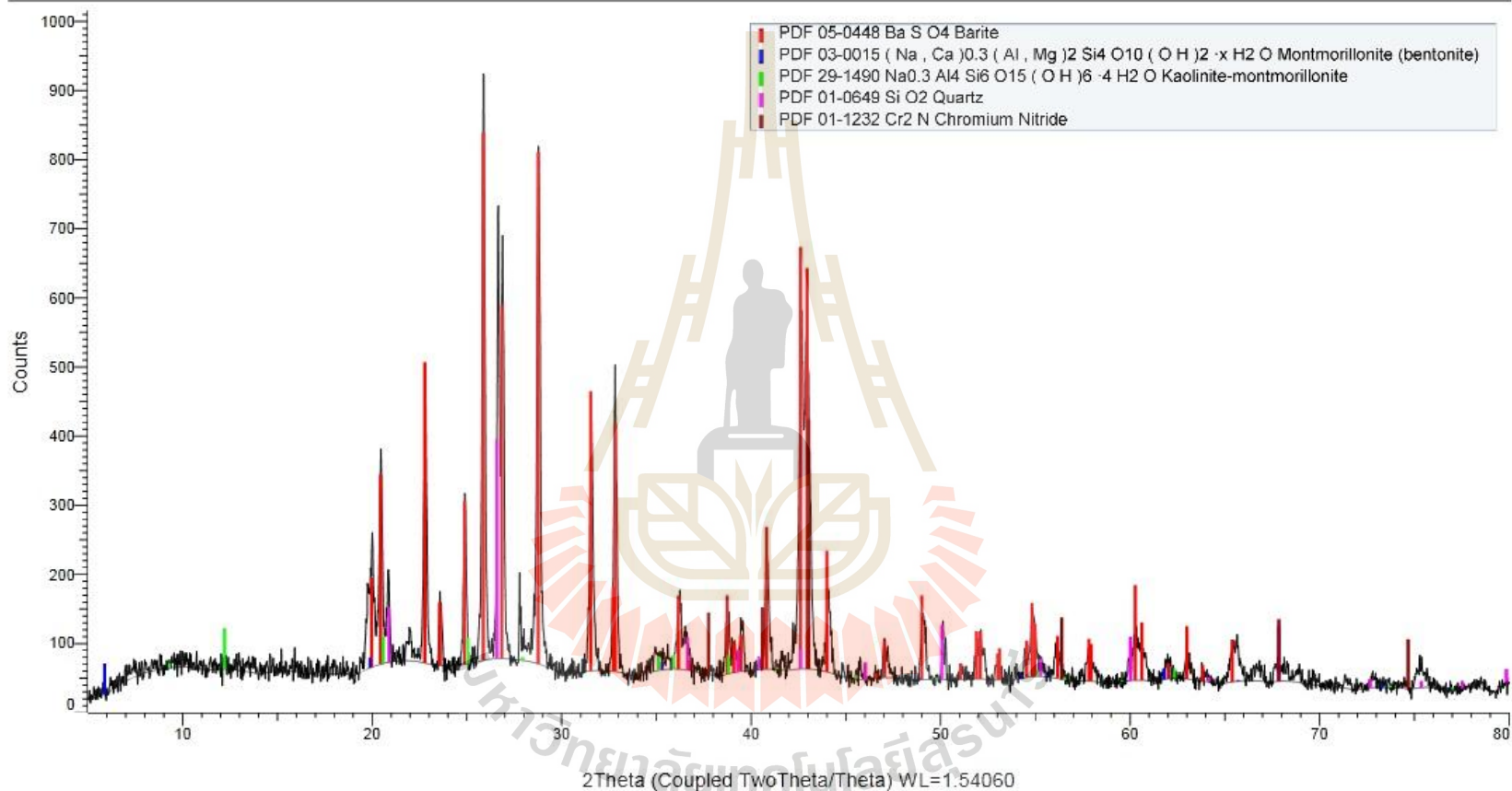
รูปที่ ก.1.9 ผลการวิเคราะห์รังสีประกอบของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา ที่อุณหภูมิ 30 °C (No.1)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



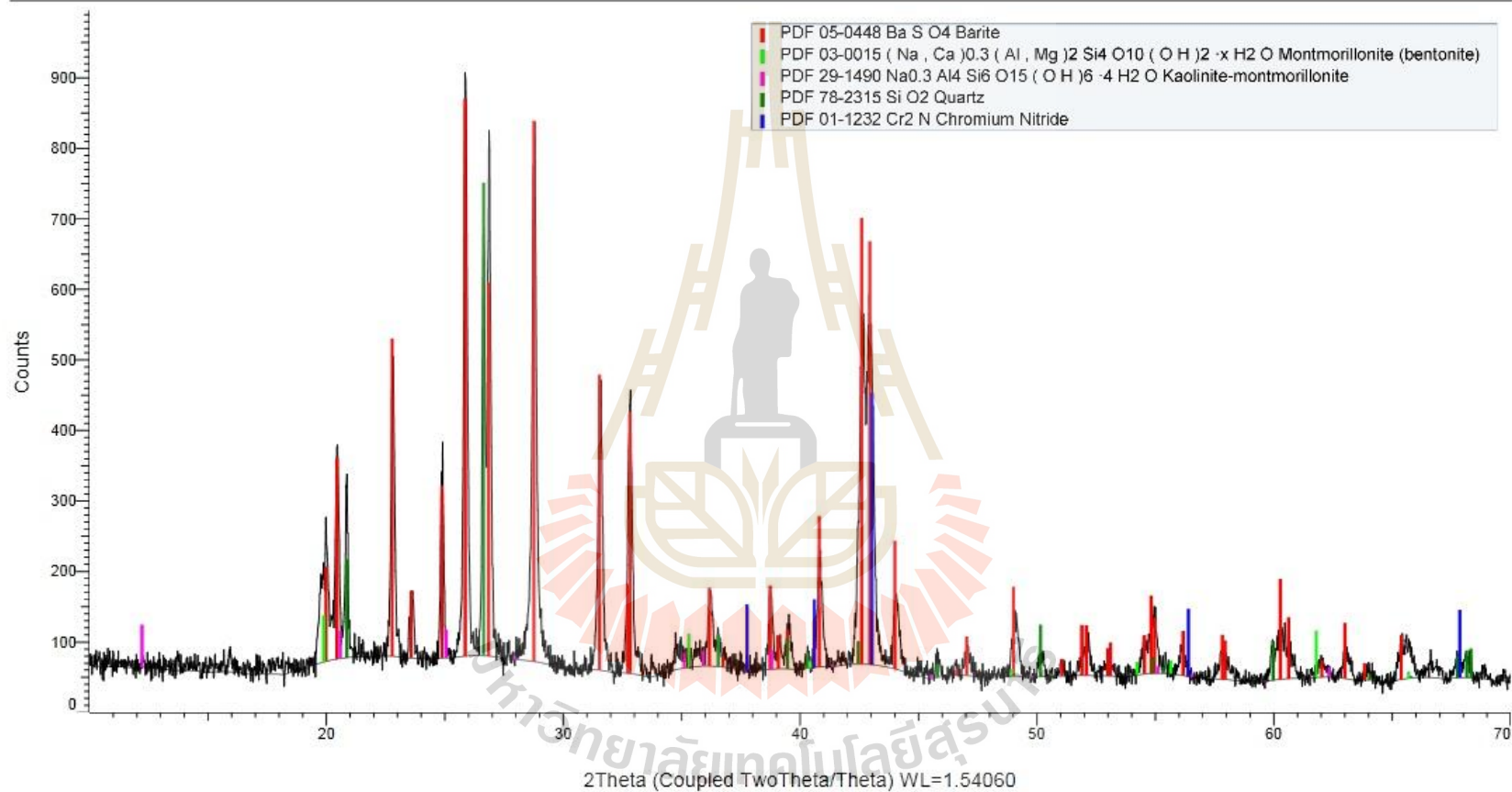
รูปที่ ก.1.10 ผลการวิเคราะห์รังสีประกอบของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา ที่อุณหภูมิ 60 °C (No.2)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



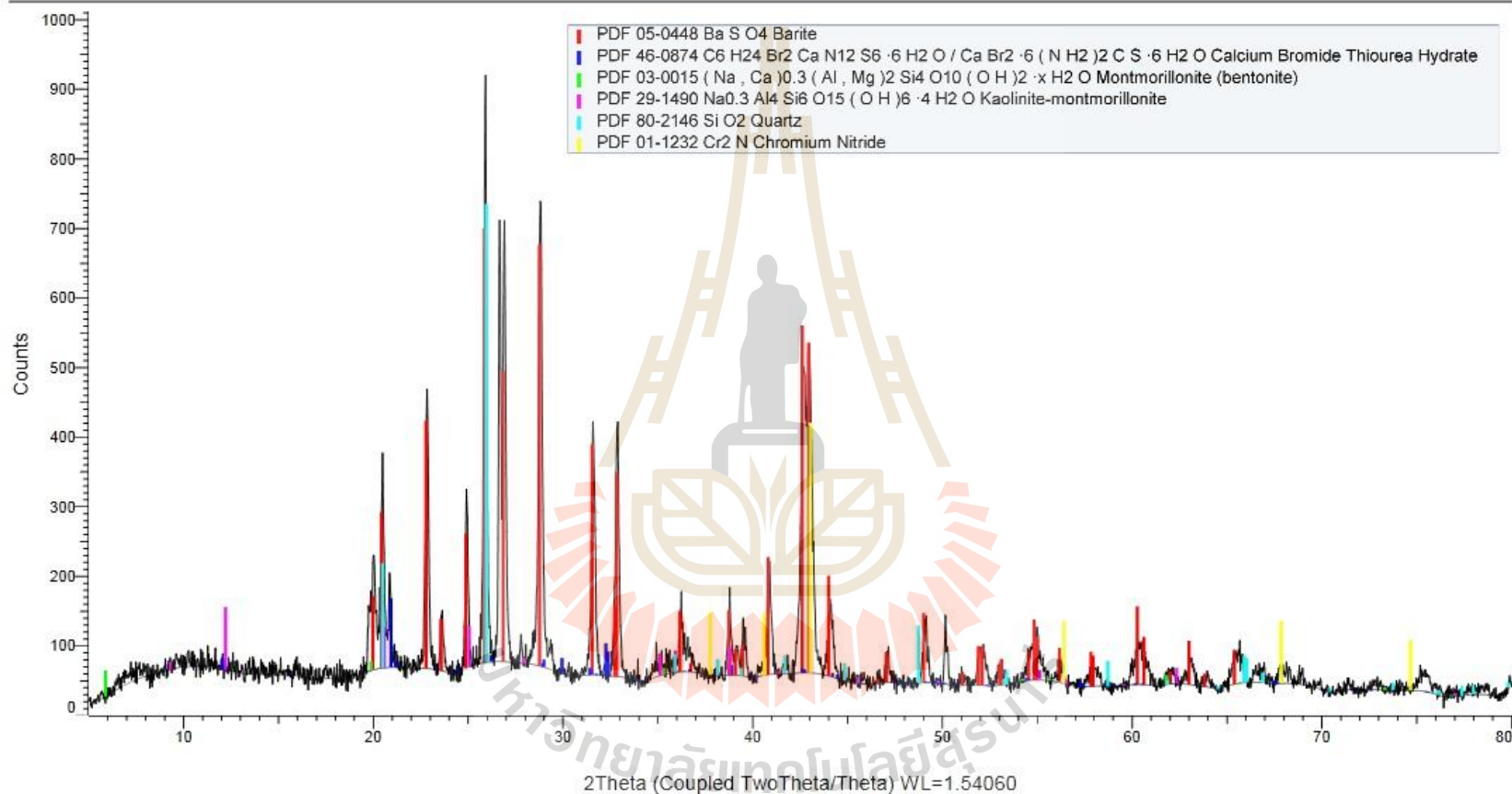
รูปที่ ก.1.11 ผลการวิเคราะห์รังสีประกอบของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา ที่อุณหภูมิ 90 °C (No.3)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



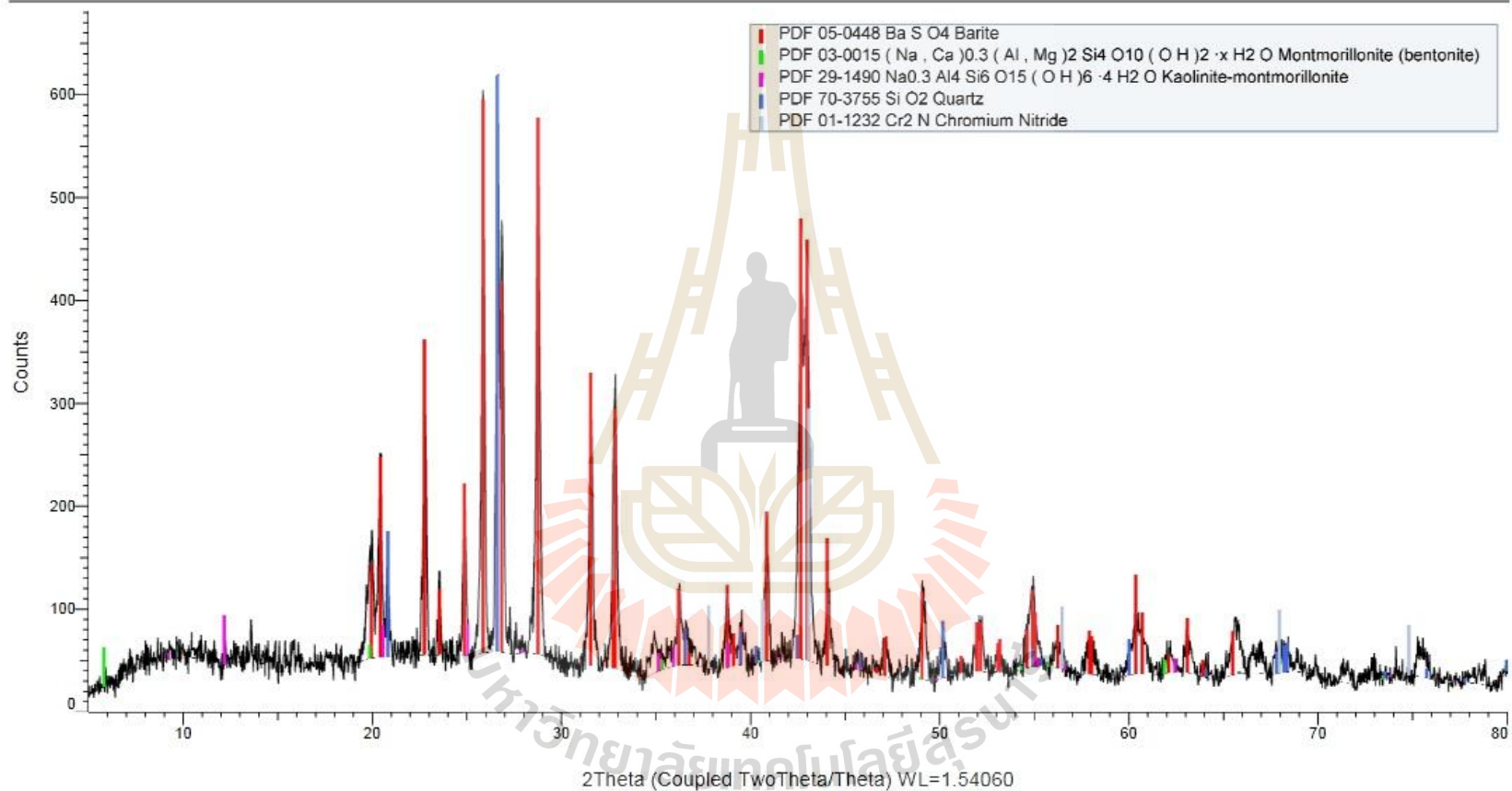
รูปที่ ก.1.12 ผลการวิเคราะห์แรงแฉ่ประกอบของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์อินโดนีเซีย ที่อุณหภูมิ 30 °C (No.4)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



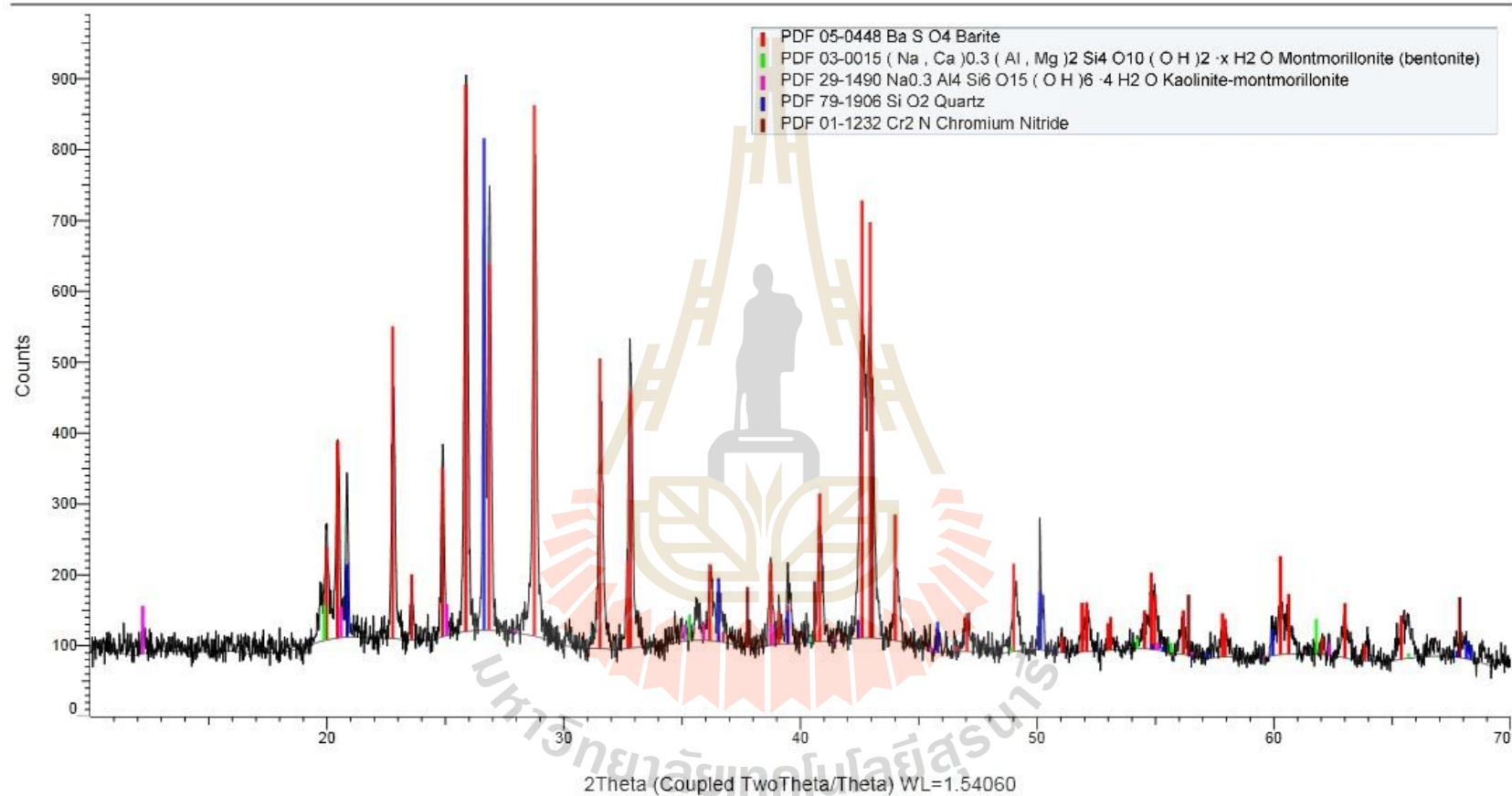
รูปที่ ก.1.13 ผลการวิเคราะห์รังสีเอกซ์ประกอบของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์อินโดนีเซีย ที่อุณหภูมิ 60 °C (No.5)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



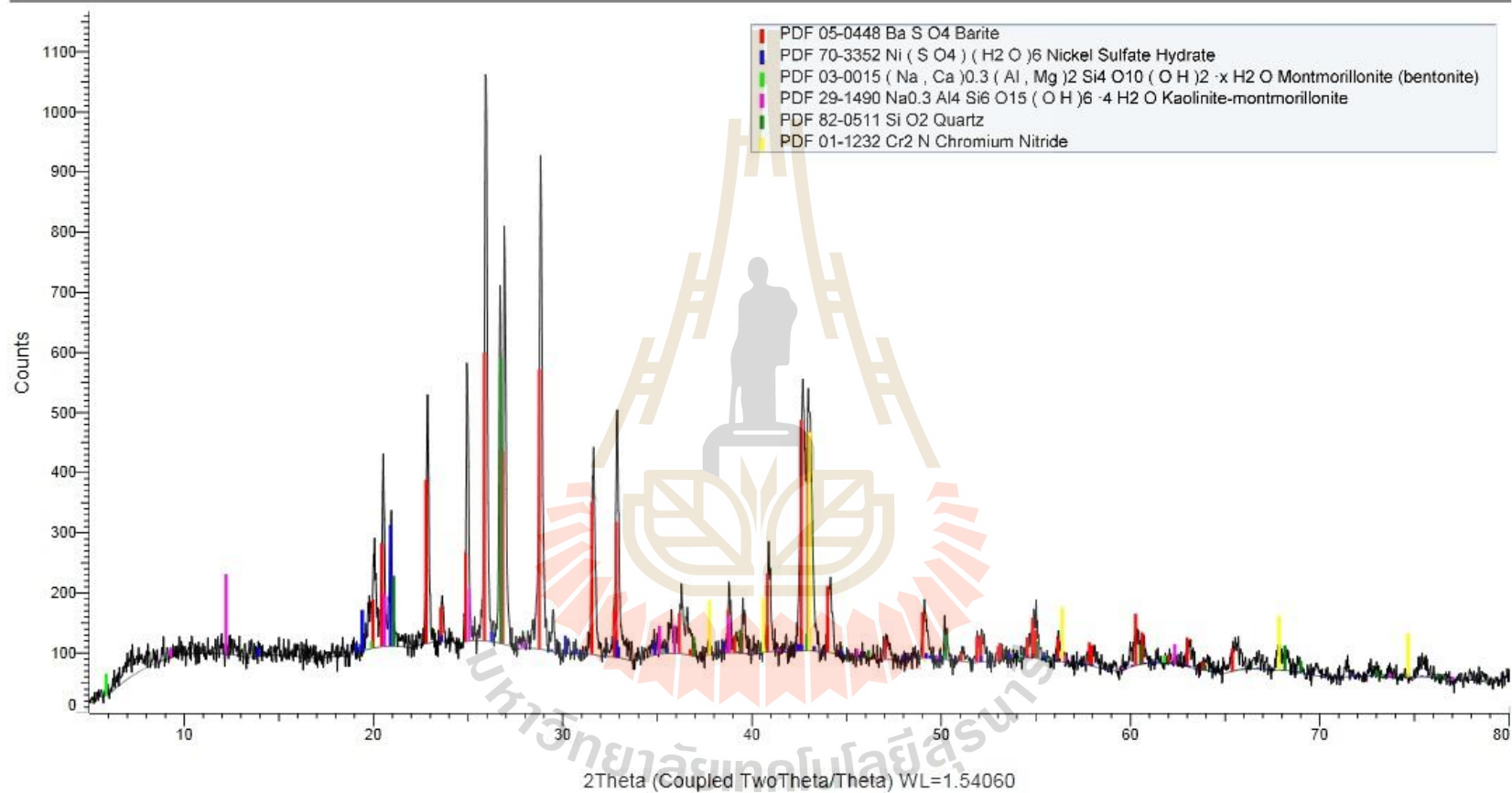
รูปที่ ก.1.14 ผลการวิเคราะห์แร่ของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์อินโดนีเซีย ที่อุณหภูมิ 90 °C (No.6)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



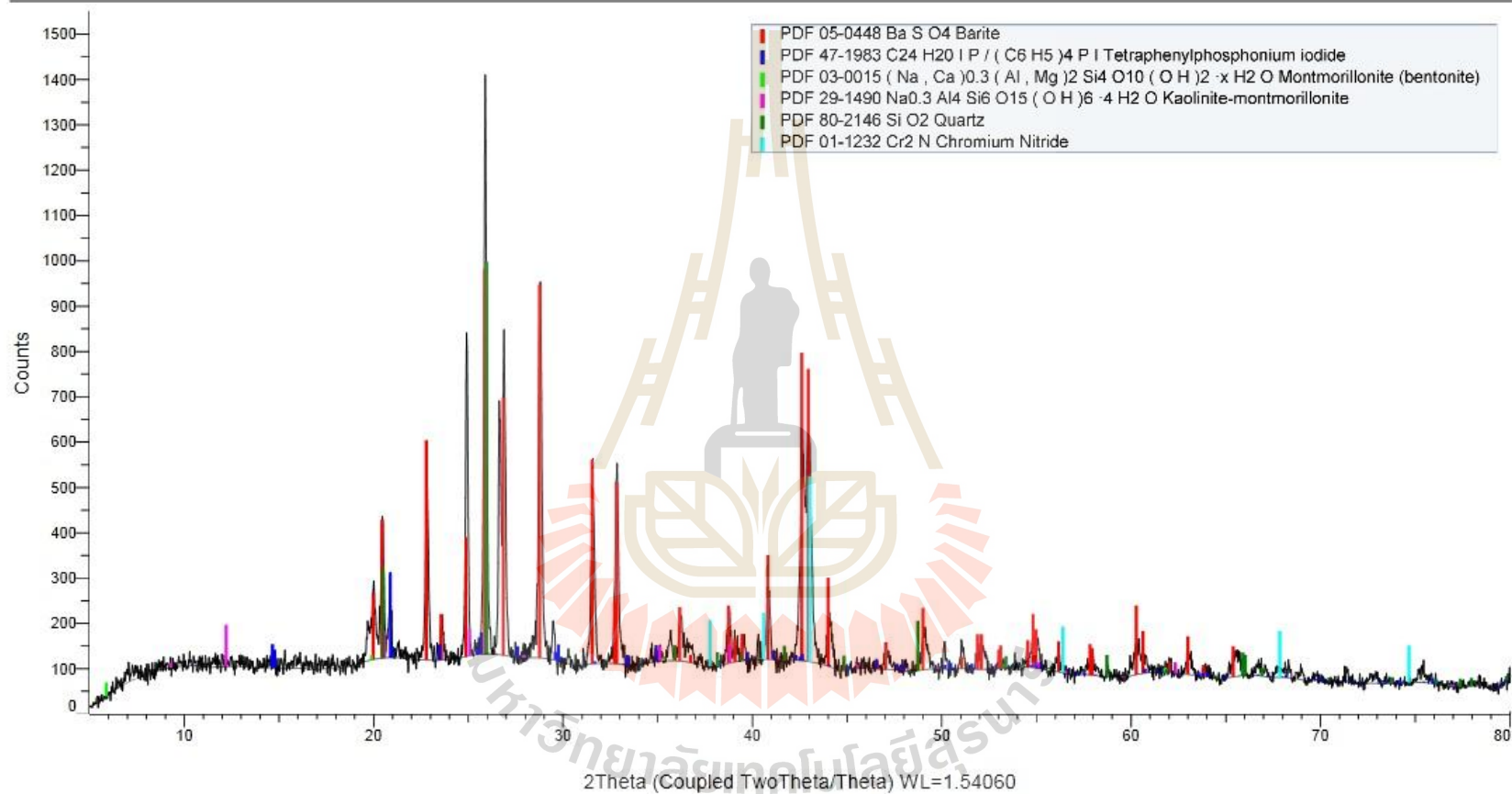
รูปที่ ก.1.15 ผลการวิเคราะห์รöntเกนประกอบของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์อินเดีย ที่อุณหภูมิ 30 °C (No.7)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



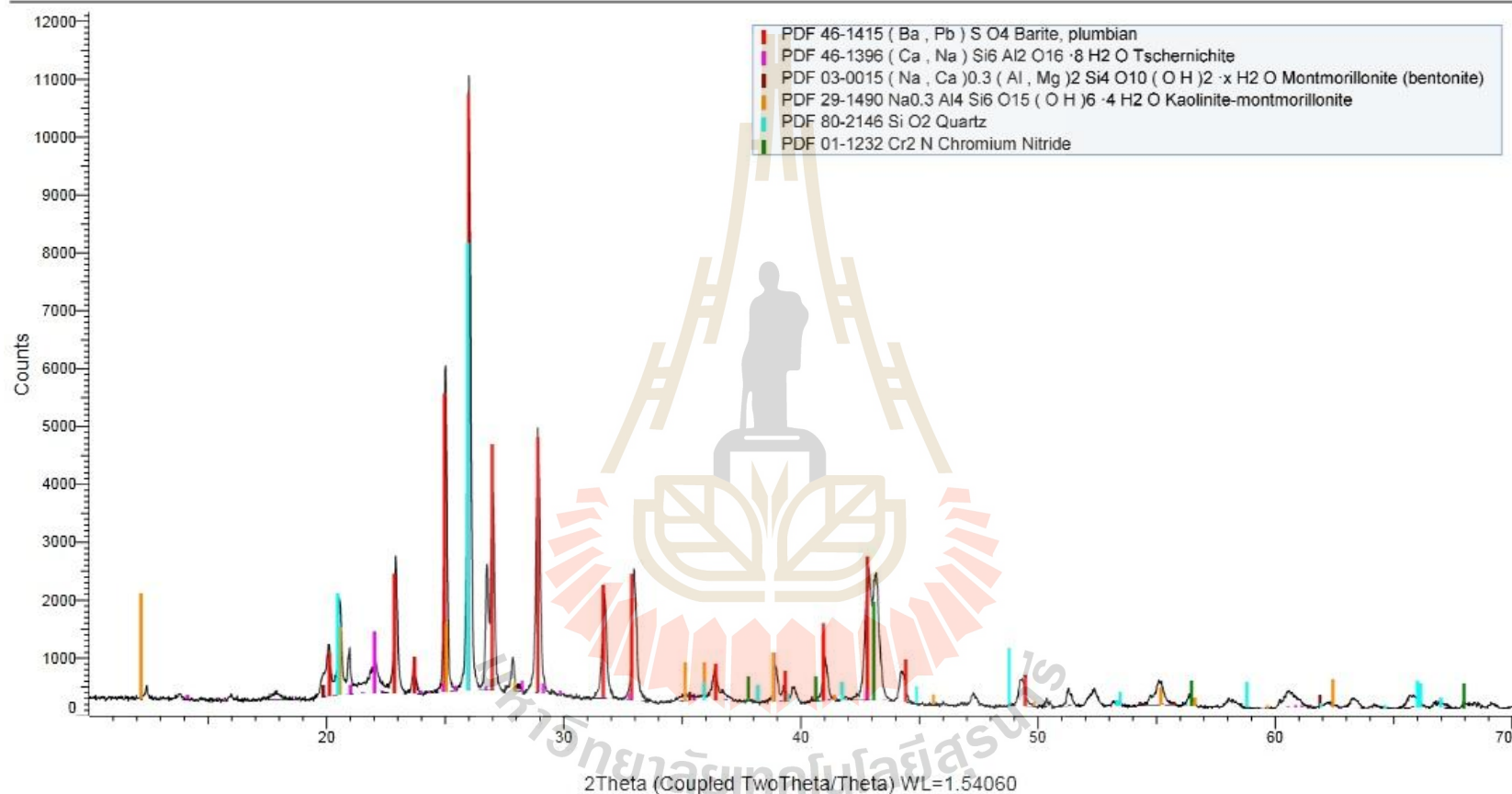
รูปที่ ก.1.16 ผลการวิเคราะห์รöntgenของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์อินเดีย ที่อุณหภูมิ 60 °C (No.8)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



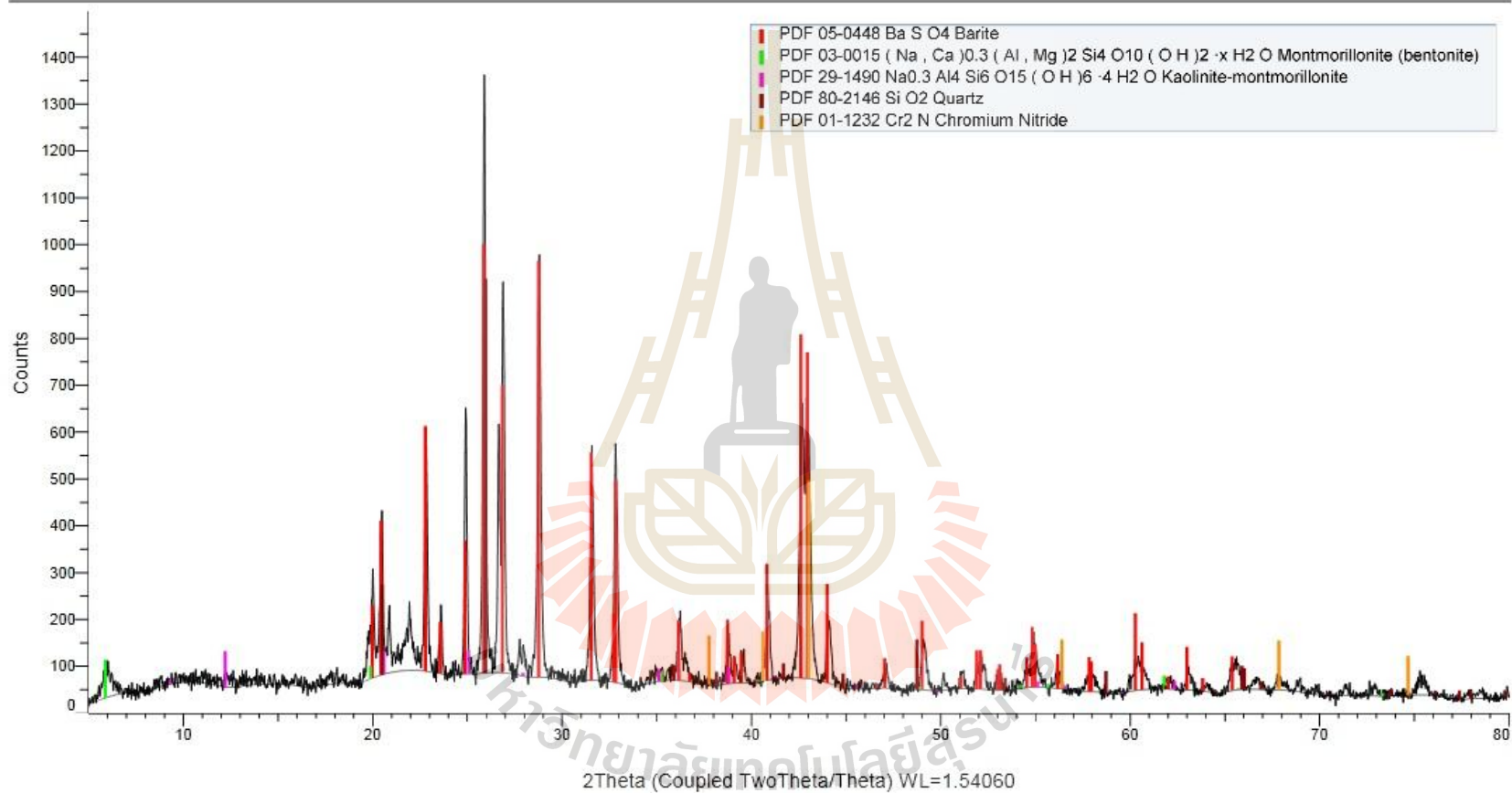
รูปที่ ก.1.17 ผลการวิเคราะห์แรงแรงค์ประกอบของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์อินเดีย ที่อุณหภูมิ 90 °C (No.9)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



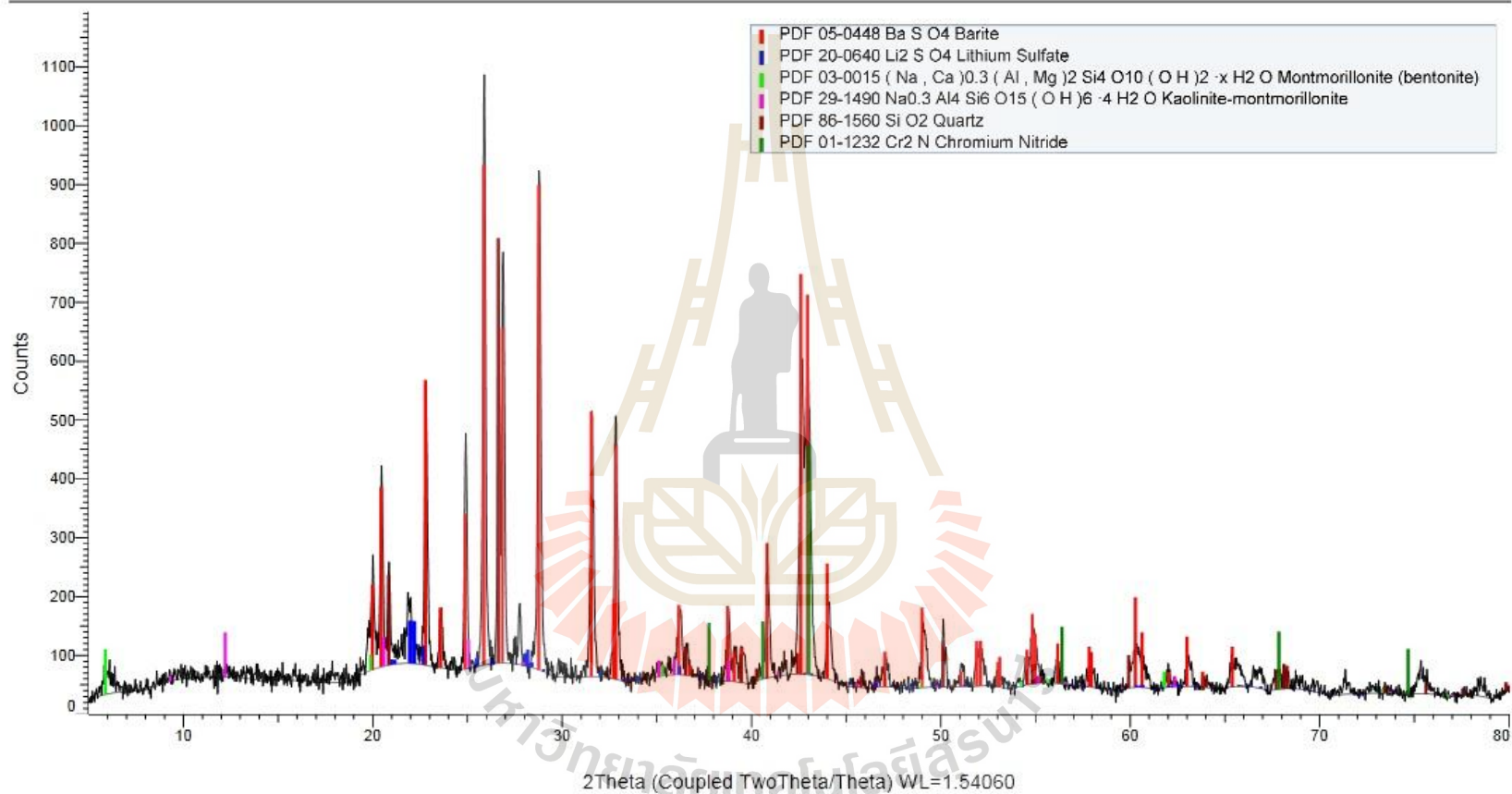
รูปที่ ก.1.18 ผลการวิเคราะห์รöntเกนประกอบของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จีน ที่อุณหภูมิ 30 °C (No.10)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



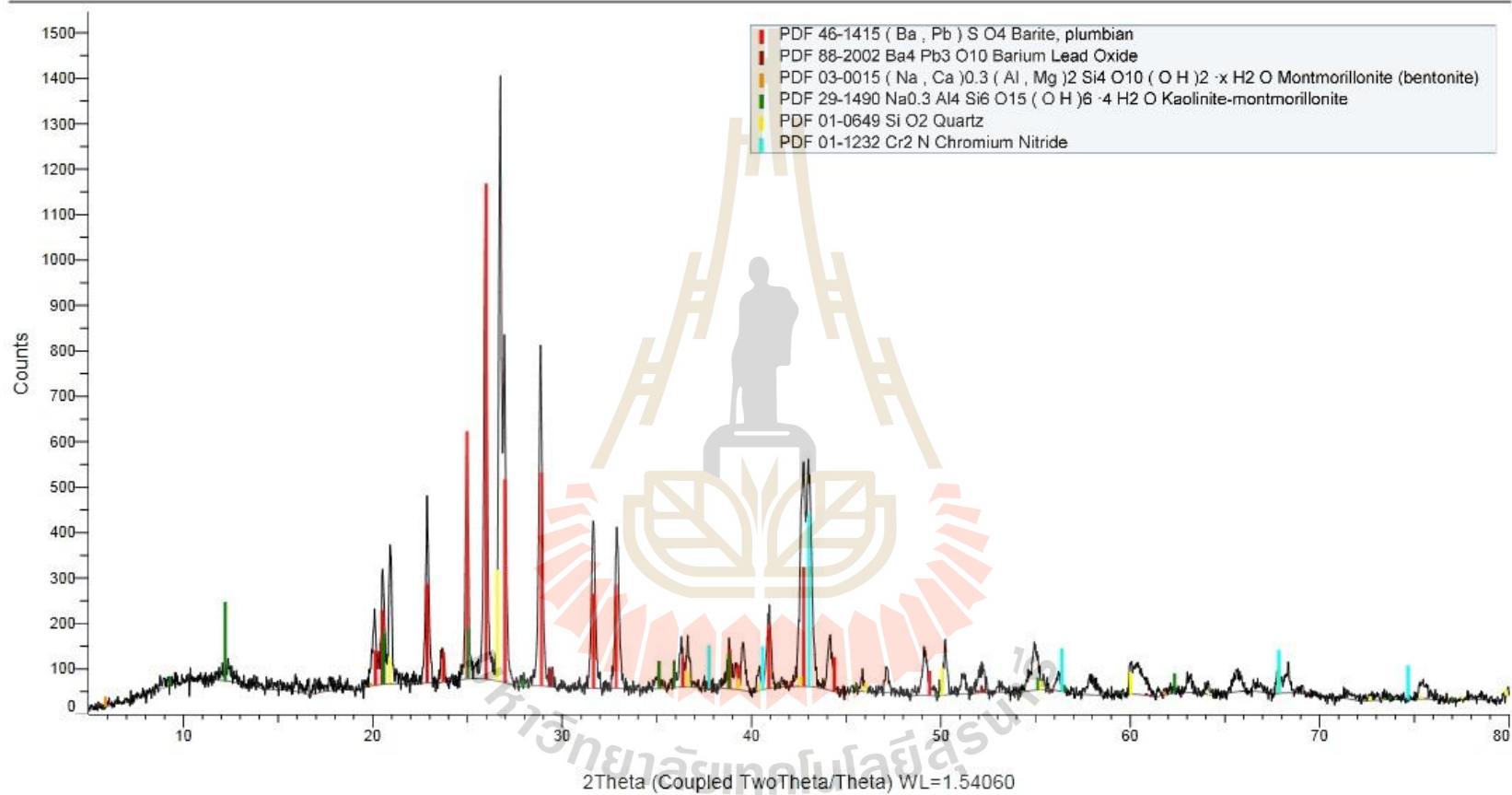
รูปที่ ก.1.19 ผลการวิเคราะห์รöntซ์ประกอบของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จีน ที่อุณหภูมิ 60 °C (No.11)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



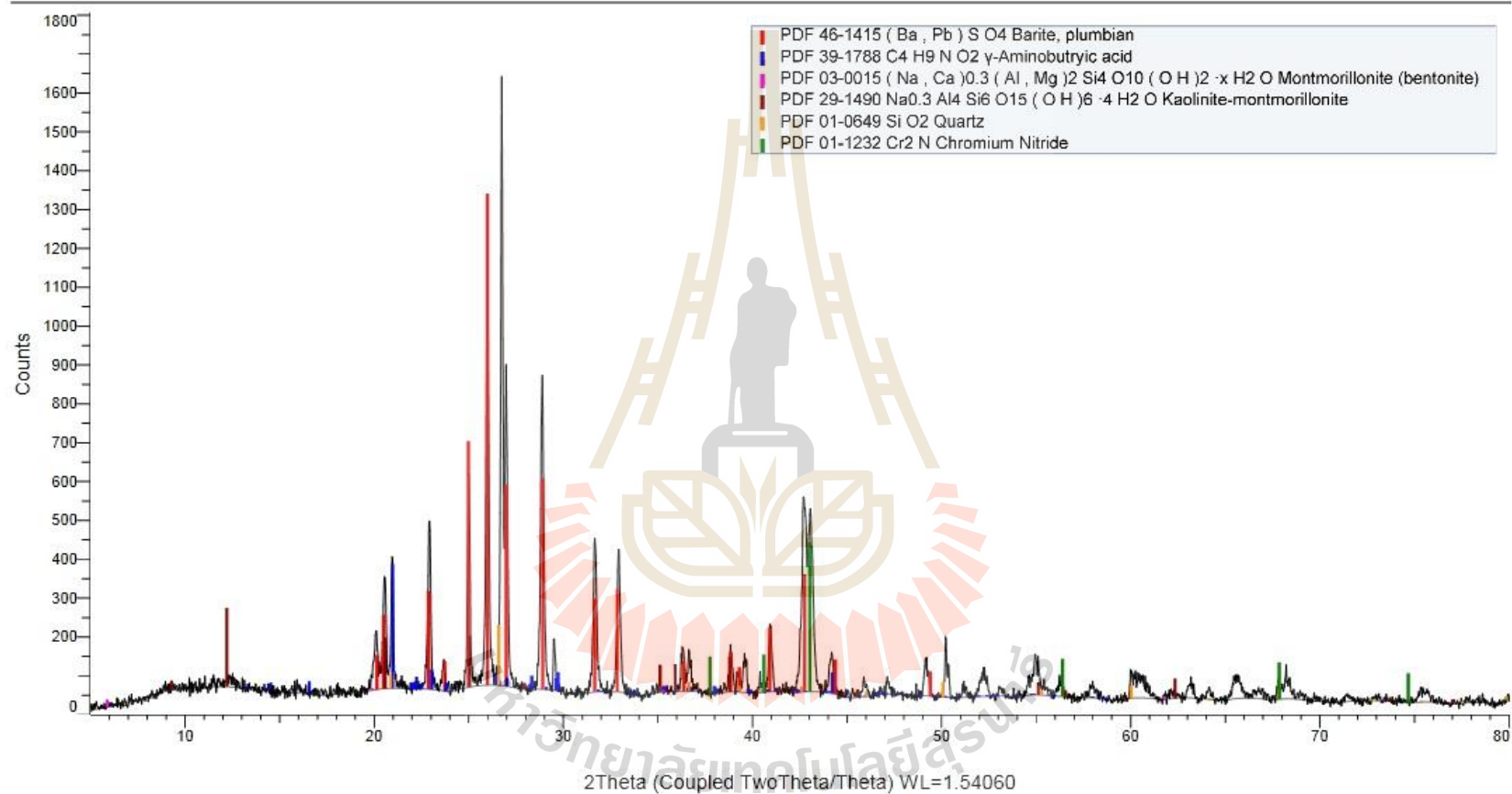
รูปที่ ก.1.20 ผลการวิเคราะห์แรงค์ประกอบของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์จีน ที่อุณหภูมิ 90 °C (No.12)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



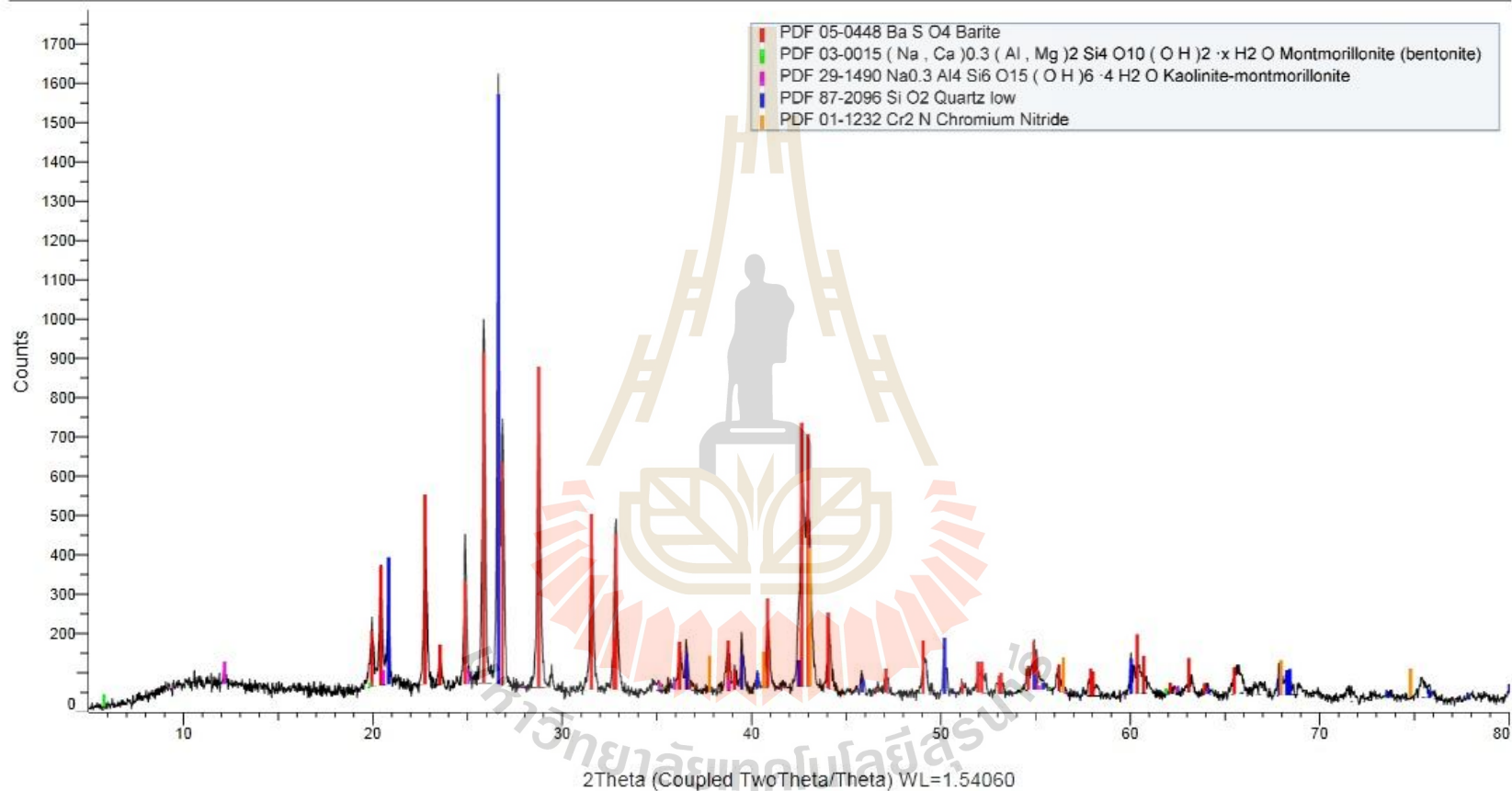
รูปที่ ก.1.21 ผลการวิเคราะห์รังสีเอกซ์ประกอบของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สระบุรี ที่อุณหภูมิ 30 °C (No.13)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



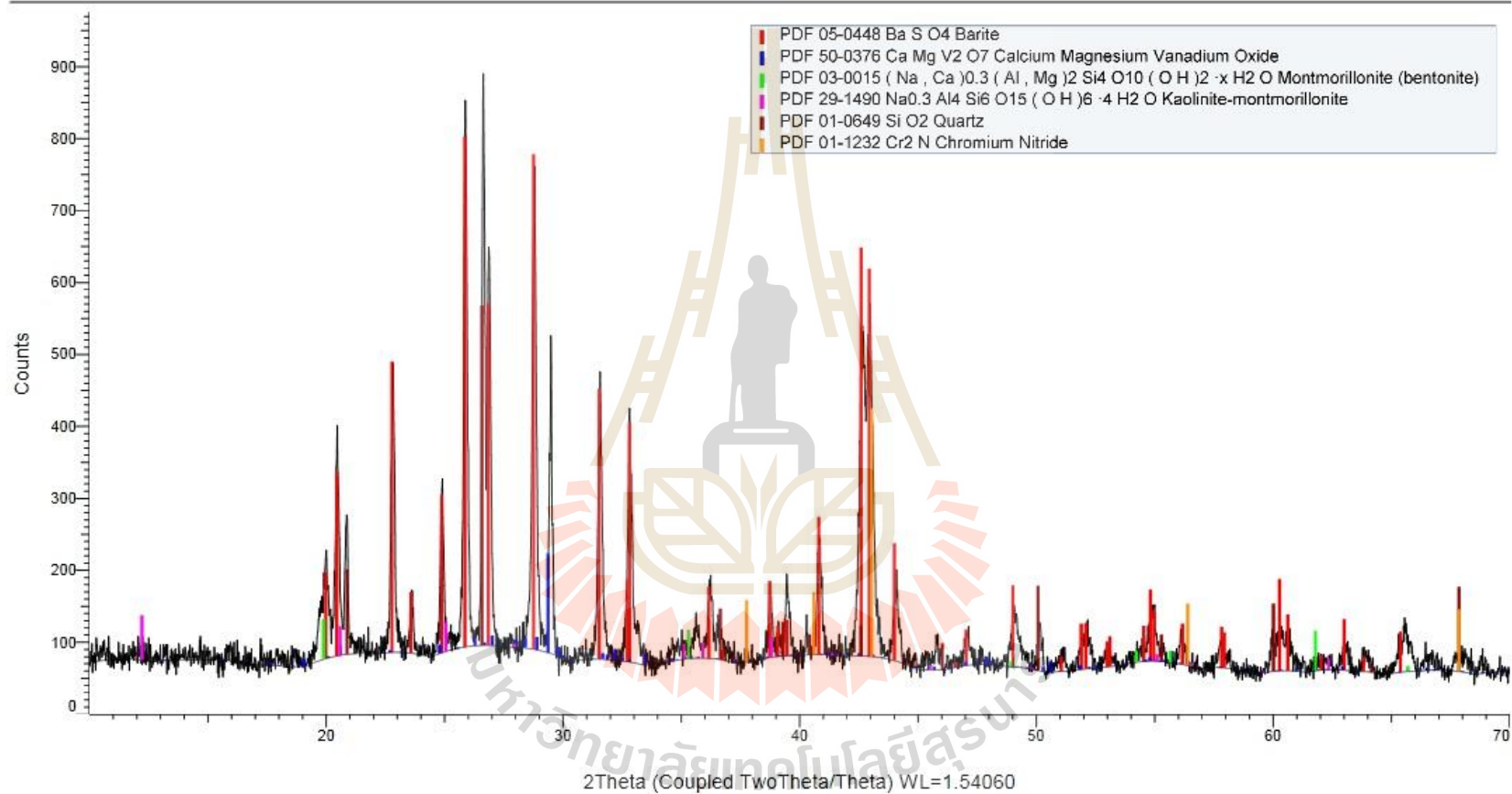
รูปที่ ก.1.22 ผลการวิเคราะห์เร่องค์ประกอบของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สระบุรี ที่อุณหภูมิ 60 °C (No.14)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



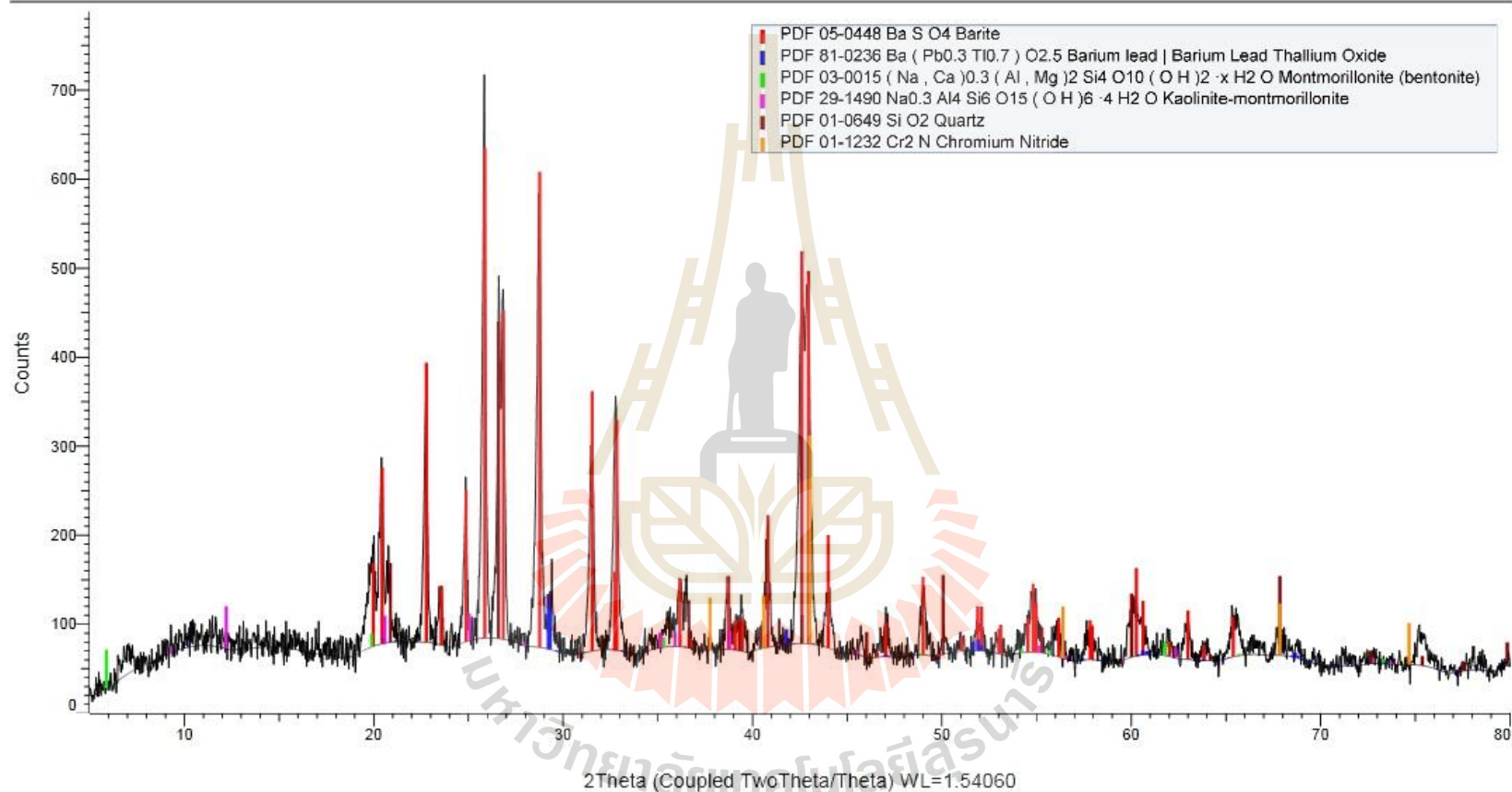
รูปที่ ก.1.23 ผลการวิเคราะห์แร่ของตัวอย่างประกอบของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์สระบุรี ที่อุณหภูมิ 90 °C (No.15)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



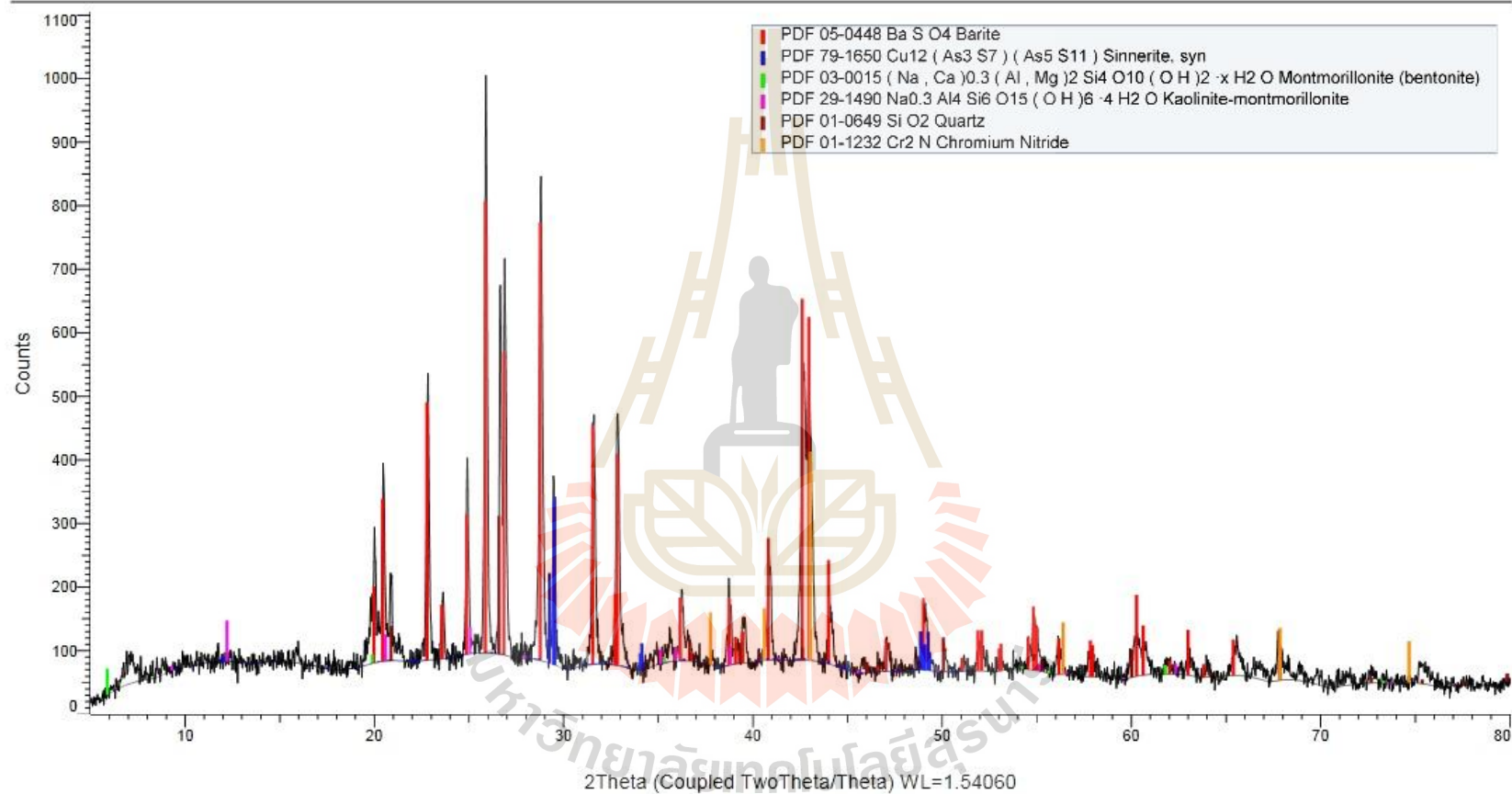
รูปที่ ก.1.24 ผลการวิเคราะห์รังสีประกอบของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์ลพบุรี ที่อุณหภูมิ 30 °C (No.16)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



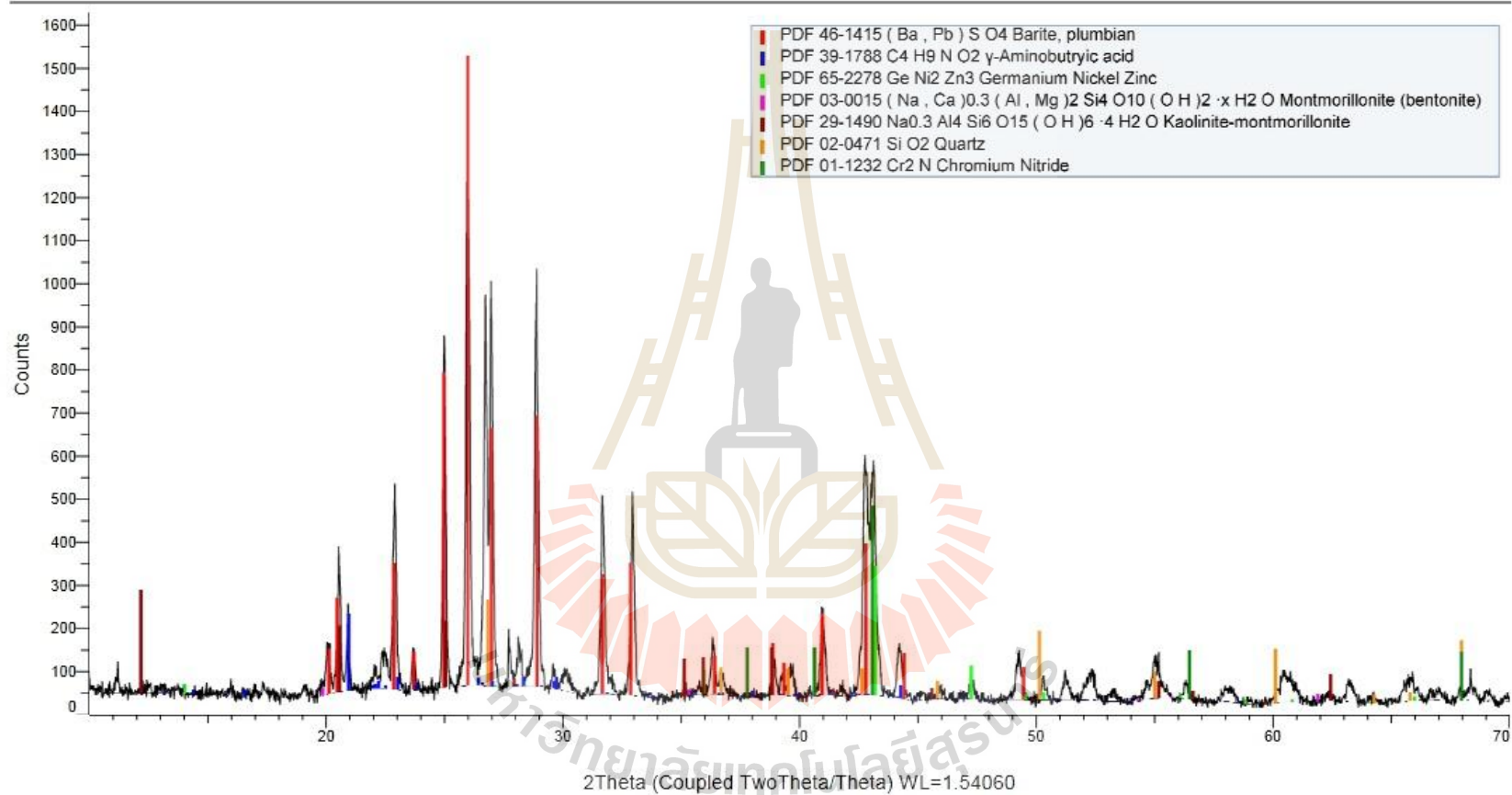
รูปที่ ก.1.25 ผลการวิเคราะห์รังสีประกอบของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์ลพบุรี ที่อุณหภูมิ 60 °C (No.17)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



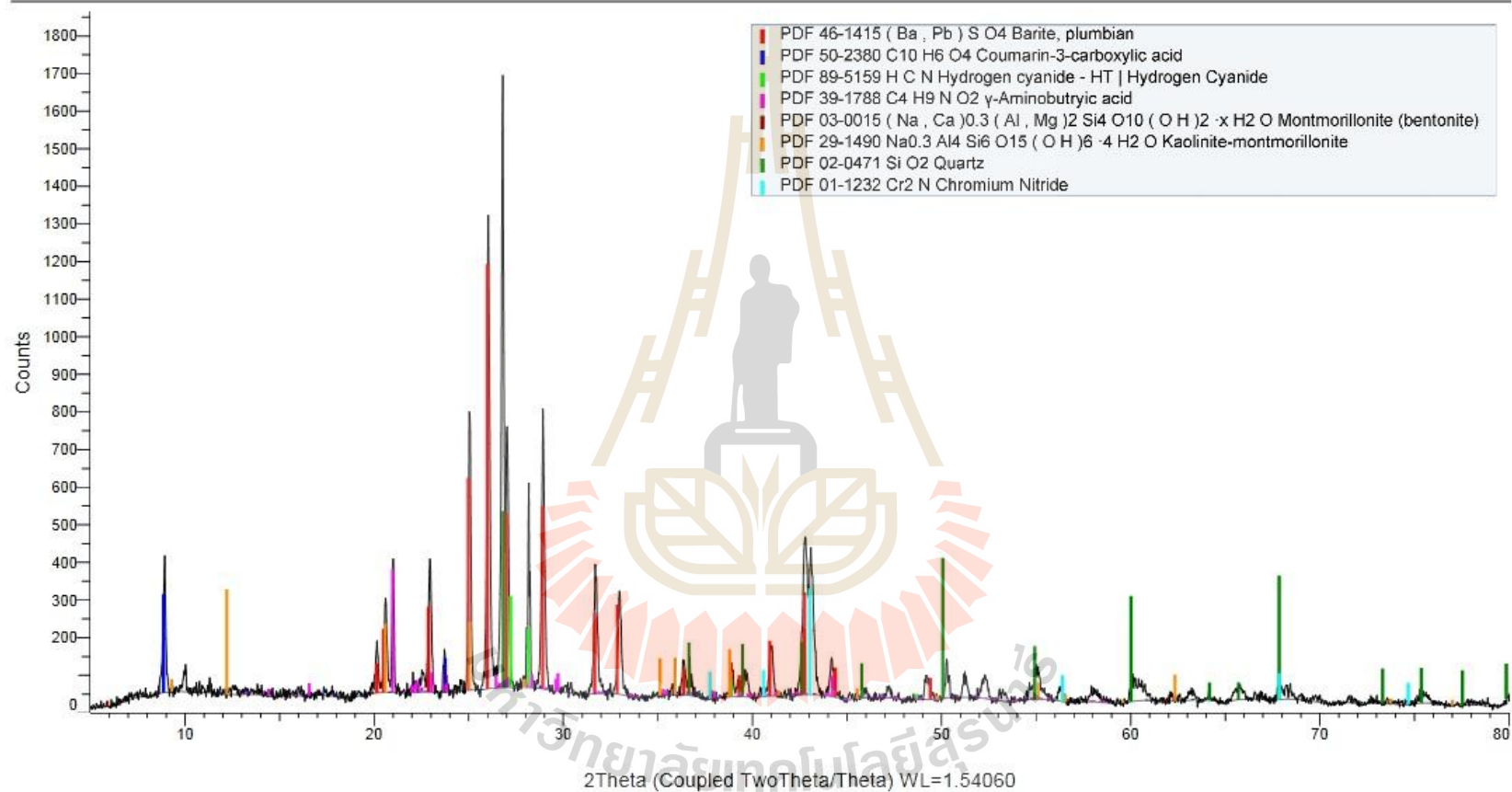
รูปที่ ก.1.26 ผลการวิเคราะห์รังสีประกอบของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์ลพบุรี ที่อุณหภูมิ 90 °C (No.18)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



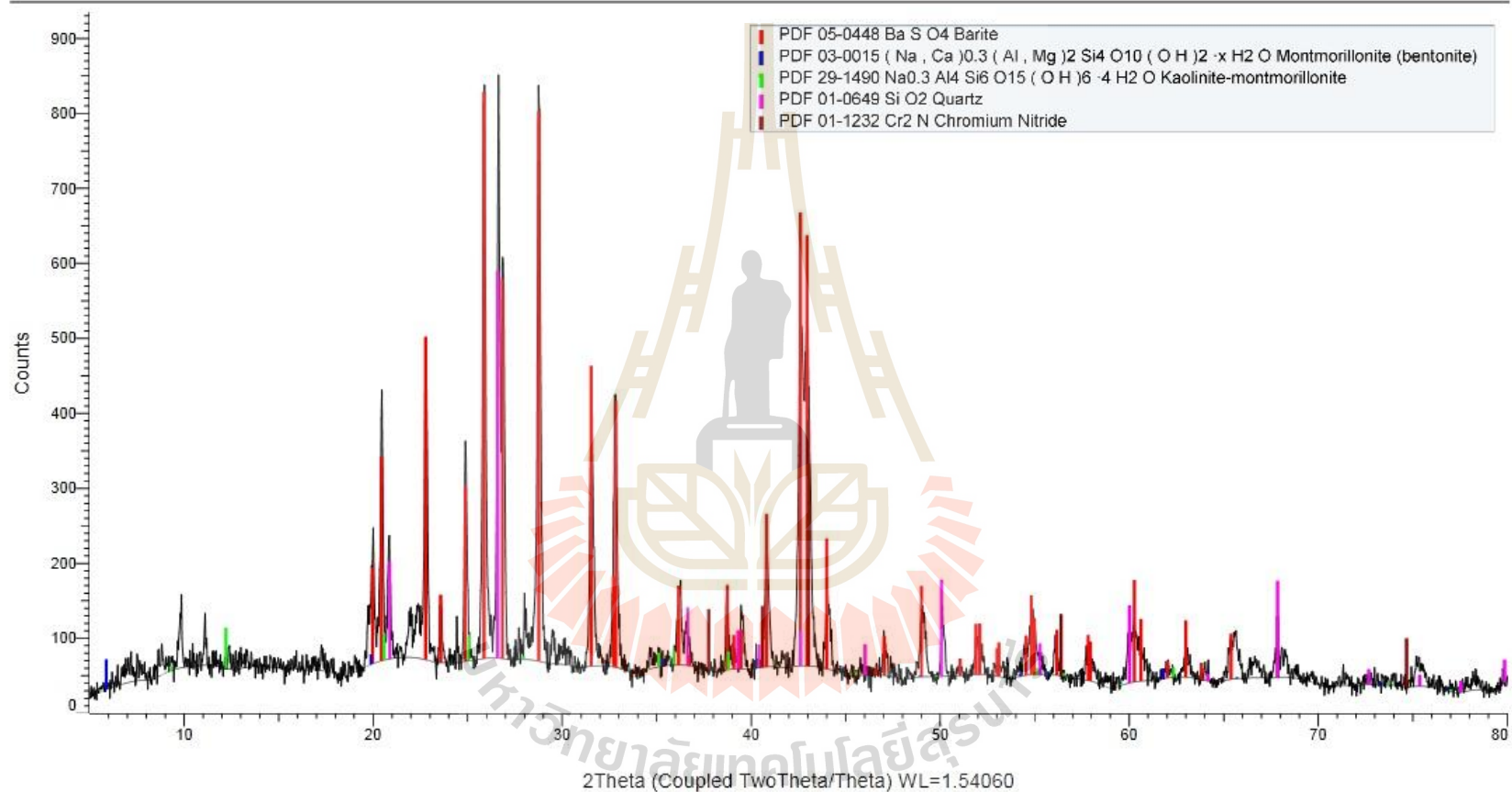
รูปที่ ก.1.27 ผลการวิเคราะห์แรงค้ำประกอบของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์กาญจนบุรี ที่อุณหภูมิ 30 °C (No.19)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



รูปที่ ก.1.28 ผลการวิเคราะห์รöntเก้นประกอบของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์กาญจนบุรี ที่อุณหภูมิ 60 °C (No.20)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



รูปที่ ก.1.29 ผลการวิเคราะห์แรงค์ประกอบของน้ำโคลนที่ผสมเบนโทไนต์กาญจนบุรี ที่อุณหภูมิ 90 °C (No.21)

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองและวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

ผลจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืด

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

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _r /ft ²)
600	41.0	41.0	41.0	42.0	41.3	1021.8	43.780
300	29.0	29.0	30.0	30.0	29.5	510.9	30.966
200	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	340.6	27.763
100	21.0	21.0	22.0	21.0	21.3	170.3	22.424
6	18.0	19.0	18.0	19.0	18.5	10.2	19.220
3	17.0	17.0	19.0	18.0	17.8	5.1	18.153
PV	12.0	12.0	11.0	12.0	11.8		
AV	20.5	20.5	20.5	21.0	20.6		
YP	17.0	17.0	19.0	18.0	17.8		
Gel _{in}	17.0						
Gel ₁₀	19.0						

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

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lbf/ft ²)
600	55.0	54.0	55.0	55.0	54.8	1021.8	57.661
300	43.0	43.0	44.0	44.0	43.5	510.9	46.983
200	39.0	40.0	40.0	39.0	39.5	340.6	41.644
100	34.0	36.0	34.0	34.0	34.5	170.3	36.305
6	31.0	30.0	32.0	30.0	30.8	10.2	32.034
3	26.0	29.0	28.0	28.0	27.8	5.1	28.831
PV	12.0	11.0	11.0	11.0	11.3		
AV	27.5	27.0	27.5	27.5	27.4		
YP	31.0	32.0	33.0	33.0	32.3		
Gel _{in}	26.0						
Gel ₁₀	28.0						

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

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lbf/ft ²)
600	60.0	60.0	59.0	58.0	59.3	1021.8	63.000
300	49.0	49.0	48.0	47.0	48.3	510.9	51.254
200	44.0	43.0	43.0	44.0	43.5	340.6	45.915
100	39.0	38.0	39.0	38.0	38.5	170.3	40.576
6	31.0	30.0	31.0	31.0	30.8	10.2	33.102
3	29.0	29.0	32.0	33.0	30.8	5.1	32.034
PV	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0		
AV	30.0	30.0	29.5	29.0	29.6		
YP	38.0	38.0	37.0	36.0	37.3		
Gel _{in}	29.0						
Gel ₁₀	32.0						

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

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _t /ft ²)
600	28.0	26.0	26.0	27.0	26.8	1021.8	27.763
300	18.0	17.0	17.0	17.0	17.3	510.9	19.220
200	14.0	13.0	14.0	14.0	13.8	340.6	13.881
100	11.0	11.0	11.0	9.0	10.5	170.3	10.678
6	7.0	8.0	7.0	8.0	7.5	10.2	7.475
3	6.0	6.0	8.0	7.0	6.8	5.1	6.407
PV	10.0	9.0	10.0	9.0	9.5		
AV	14.0	13.0	13.0	13.5	13.4		
YP	8.0	8.0	8.0	7.0	7.8		
Gel _{in}	6.0						
Gel ₁₀	8.0						

ตารางที่ ข.1.5 น้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์อินโดนีเซีย ที่อุณหภูมิ 60°C (No.5)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _t /ft ²)
600	35.0	34.0	34.0	34.0	34.3	1021.8	36.305
300	26.0	24.0	26.0	24.0	25.0	510.9	26.695
200	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	340.6	20.288
100	15.0	17.0	15.0	16.0	15.8	170.3	16.017
6	12.0	11.0	11.0	11.0	11.3	10.2	11.746
3	9.0	10.0	10.0	10.0	9.8	5.1	9.610
PV	9.0	10.0	8.0	10.0	9.3		
AV	17.5	17.0	17.0	17.0	17.1		
YP	17.0	14.0	18.0	14.0	15.8		
Gel _{in}	9.0						
Gel ₁₀	10.0						

ตารางที่ ข.1.6 น้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์อินโดนีเซีย ที่อุณหภูมิ 90°C (No.6)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _t /ft ²)
600	45.0	45.0	44.0	44.0	45.0	1021.8	46.983
300	36.0	35.0	35.0	36.0	36.0	510.9	37.373
200	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	340.6	29.898
100	23.0	23.0	23.0	24.0	23.0	170.3	24.559
6	18.0	18.0	18.0	19.0	18.0	10.2	18.153
3	16.0	18.0	17.0	17.0	16.0	5.1	17.085
PV	9.0	10.0	9.0	8.0	9.0		
AV	22.5	22.5	22.0	22.0	22.3		
YP	27.0	25.0	26.0	28.0	26.5		
Gel _{in}	16.0						
Gel ₁₀	18.0						

ตารางที่ ข.1.7 น้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์อินเดีย ที่อุณหภูมิ 30°C (No.7)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _t /ft ²)
600	33.0	33.0	33.0	34.0	33.3	1021.8	35.237
300	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	510.9	25.627
200	20.0	22.0	21.0	21.0	21.0	340.6	22.424
100	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	170.3	18.153
6	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	10.2	13.881
3	9.0	10.0	11.0	10.0	10.0	5.1	10.678
PV	9.0	9.0	9.0	10.0	9.3		
AV	16.5	16.5	16.5	17.0	16.6		
YP	15.0	15.0	15.0	14.0	14.8		
Gel _{in}	9.0						
Gel ₁₀	11.0						

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

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _t /ft ²)
600	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	1021.8	45.915
300	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	510.9	35.237
200	29.0	28.0	27.0	27.0	27.8	340.6	29.898
100	24.0	23.0	23.0	22.0	23.0	170.3	24.559
6	19.0	18.0	18.0	18.0	18.3	10.2	19.220
3	16.0	16.0	18.0	17.0	16.8	5.1	17.085
PV	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0		
AV	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5		
YP	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0		
Gel _{in}	16.0						
Gel ₁₀	18.0						

ตารางที่ ข.1.9 น้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์อินเดีย ที่อุณหภูมิ 90°C (No.9)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _t /ft ²)
600	70.0	70.0	71.0	71.0	70.5	1021.8	74.746
300	62.0	62.0	61.0	62.0	61.8	510.9	65.136
200	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0	340.6	54.458
100	43.0	44.0	43.0	44.0	43.5	170.3	45.915
6	31.0	30.0	30.0	30.0	30.3	10.2	32.034
3	22.0	21.0	23.0	21.0	21.8	5.1	22.424
PV	8.0	8.0	10.0	9.0	8.8		
AV	35.0	35.0	35.5	35.5	35.3		
YP	54.0	54.0	51.0	53.0	53.0		
Gel _{in}	22.0						
Gel ₁₀	23.0						

ตารางที่ ข.1.10 น้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์จีน ที่อุณหภูมิ 30°C (No.10)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _t /ft ²)
600	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	1021.8	5.339
300	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	510.9	4.271
200	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	340.6	3.203
100	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	170.3	2.136
6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	10.2	1.068
3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5.1	1.068
PV	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
AV	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5		
YP	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0		
Gel _{in}	1.0						
Gel ₁₀	2.0						

ตารางที่ ข.1.11 น้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์จีน ที่อุณหภูมิ 60°C (No.11)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _t /ft ²)
600	7.0	6.0	7.0	6.0	6.5	1021.8	6.407
300	6.0	6.0	6.0	5.0	5.8	510.9	5.339
200	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	340.6	4.271
100	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	170.3	3.203
6	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	10.2	2.136
3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5.1	1.068
PV	1.0	0.0	1.0	1.0	0.8		
AV	3.5	3.0	3.5	3.0	3.3		
YP	5.0	6.0	5.0	4.0	5.0		
Gel _{in}	2.0						
Gel ₁₀	3.0						

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

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lbf/ft ²)
600	7.0	8.0	7.0	7.0	7.3	1021.8	7.475
300	7.0	7.0	7.0	6.0	6.8	510.9	6.407
200	6.0	6.0	5.0	6.0	5.8	340.6	5.339
100	5.0	5.0	4.0	4.0	4.5	170.3	4.271
6	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	10.2	3.203
3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	5.1	2.136
PV	0.0	1.0	0.0	1.0	0.5		
AV	3.5	4.0	3.5	3.5	3.6		
YP	7.0	6.0	7.0	5.0	6.3		
Gel _{in}	2.0						
Gel ₁₀	3.0						

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

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lbf/ft ²)
600	9.0	10.0	9.0	10.0	9.5	1021.8	9.610
300	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	510.9	7.475
200	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	340.6	5.339
100	3.0	3.0	3.0	4.0	3.3	170.3	3.203
6	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	10.2	2.136
3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5.1	1.068
PV	2.0	3.0	2.0	3.0	2.5		
AV	4.5	5.0	4.5	5.0	4.8		
YP	5.0	4.0	5.0	4.0	4.5		
Gel _{in}	1.0						
Gel ₁₀	2.0						

ตารางที่ ข.1.14 น้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์สระบุรี ที่อุณหภูมิ 60°C (No.14)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _t /ft ²)
600	11.0	11.0	11.0	10.0	10.8	1021.8	10.678
300	9.0	9.0	9.0	8.0	8.8	510.9	8.542
200	7.0	7.0	6.0	6.0	6.5	340.6	6.407
100	5.0	4.0	4.0	4.0	4.3	170.3	4.271
6	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	10.2	3.203
3	2.0	1.0	1.0	1.0	1.3	5.1	1.068
PV	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0		
AV	5.5	5.5	5.5	5.0	5.4		
YP	7.0	7.0	7.0	6.0	6.8		
Gel _{in}	2.0						
Gel ₁₀	3.0						

ตารางที่ ข.1.15 น้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์สระบุรี ที่อุณหภูมิ 90°C (No.15)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _t /ft ²)
600	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	1021.8	12.814
300	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	510.9	10.678
200	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	340.6	8.542
100	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	170.3	6.407
6	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	10.2	4.271
3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	5.1	2.136
PV	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0		
AV	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0		
YP	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0		
Gel _{in}	4.0						
Gel ₁₀	5.0						

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

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _t /ft ²)
600	30.0	31.0	30.0	31.0	30.5	1021.8	32.034
300	22.0	20.0	21.0	21.0	21.0	510.9	22.424
200	17.0	18.0	18.0	18.0	17.8	340.6	18.153
100	14.0	14.0	14.0	13.0	13.8	170.3	13.881
6	10.0	10.0	10.0	9.0	9.8	10.2	9.610
3	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	5.1	8.542
PV	8.0	11.0	9.0	10.0	9.5		
AV	15.0	15.5	15.0	15.5	15.3		
YP	14.0	9.0	12.0	11.0	11.5		
Gel _{in}	8.0						
Gel ₁₀	10.0						

ตารางที่ ข.1.17 น้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์ลพบุรี ที่อุณหภูมิ 60°C (No.17)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _t /ft ²)
600	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	1021.8	46.983
300	35.0	36.0	36.0	36.0	35.8	510.9	37.373
200	29.0	29.0	30.0	29.0	29.3	340.6	30.966
100	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	170.3	24.559
6	18.0	19.0	18.0	17.0	18.0	10.2	19.220
3	13.0	14.0	14.0	14.0	13.8	5.1	13.881
PV	9.0	8.0	8.0	8.0	8.3		
AV	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0		
YP	26.0	28.0	28.0	28.0	27.5		
Gel _{in}	13.0						
Gel ₁₀	14.0						

ตารางที่ ข.1.18 น้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์ลพบุรี ที่อุณหภูมิ 90°C (No.18)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	63.0	62.0	63.0	63.0	62.8	1021.8	66.204
300	55.0	55.0	55.0	54.0	54.8	510.9	57.661
200	44.0	44.0	45.0	44.0	44.3	340.6	46.983
100	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	170.3	38.441
6	24.0	23.0	23.0	23.0	23.3	10.2	24.559
3	14.0	13.0	14.0	14.0	13.8	5.1	13.881
PV	8.0	7.0	8.0	9.0	8.0		
AV	31.5	31.0	31.5	31.5	31.4		
YP	47.0	48.0	47.0	45.0	46.8		
Gel _{in}	14.0						
Gel ₁₀	15.0						

ตารางที่ ข.1.19 น้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์กาญจนบุรี 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	11.0	11.0	11.0	10.0	10.8	1021.8	10.678
300	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	510.9	6.407
200	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	340.6	4.271
100	4.0	3.0	3.0	3.0	3.3	170.3	3.203
6	3.0	2.0	2.0	2.0	2.3	10.2	2.136
3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5.1	1.068
PV	5.0	5.0	5.0	4.0	4.8		
AV	5.5	5.5	5.5	5.0	5.4		
YP	1.0	1.0	1.0	2.0	1.3		
Gel _{in}	1.0						
Gel ₁₀	2.0						

ตารางที่ ข.1.20 น้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์กาญจนบุรี ที่อุณหภูมิ 60°C (No.20)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	13.0	13.0	13.0	12.0	12.8	1021.8	12.814
300	9.0	9.0	9.0	8.0	8.8	510.9	8.542
200	7.0	7.0	7.0	6.0	6.8	340.6	6.407
100	5.0	4.0	4.0	4.0	4.3	170.3	4.271
6	4.0	3.0	3.0	3.0	3.3	10.2	3.203
3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	5.1	2.136
PV	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0		
AV	6.5	6.5	6.5	6.0	6.4		
YP	5.0	5.0	5.0	4.0	4.8		
Gel _{in}	2.0						
Gel ₁₀	3.0						

ตารางที่ ข.1.21 น้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์กาญจนบุรี ที่อุณหภูมิ 90°C (No.21)

RPM	Reading #1	Reading #2	Reading #3	Reading #4	Average reading	γ (sec ⁻¹)	τ (lb _f /ft ²)
600	14.0	14.0	15.0	15.0	14.5	1021.8	14.949
300	11.0	11.0	11.0	10.0	10.8	510.9	10.678
200	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	340.6	7.475
100	6.0	6.0	5.0	5.0	5.5	170.3	5.339
6	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	10.2	4.271
3	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	5.1	3.203
PV	3.0	3.0	4.0	5.0	3.8		
AV	7.0	7.0	7.5	7.5	7.3		
YP	8.0	8.0	7.0	5.0	7.0		
Gel _{in}	3.0						
Gel ₁₀	4.0						

ผลจากเครื่องวิเคราะห์การซึมผ่านและความหนาของแผ่นโคลน (Mud cake)

ตารางที่ ข.2.1 ค่าเฉลี่ยปริมาณการสูญเสีย น้ำของน้ำโคลนชุดเจาะ

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	No.	ค่าเฉลี่ยปริมาณการสูญเสีย น้ำ (Fluid loss, ml)					
			1 นาที	4 นาที	9 นาที	16 นาที	25 นาที	30 นาที
เบนโทไนต์ สหรัฐอเมริกา (Base)	30	1	2	4.5	7	10	12.5	13.5
	60	2	2	4.5	8	10.5	13	15
	90	3	2	5.5	9.5	12	15	17
เบนโทไนต์ อินโดนีเซีย	30	4	2.5	6	9.5	13	16.25	18
	60	5	2.75	6.5	10	13.5	17	18.75
	90	6	3	6.5	10	13.75	17.25	19
เบนโทไนต์ อินเดีย	30	7	2	5.75	9.25	12.75	16	18.5
	60	8	3	7.5	11	15.25	19.25	21
	90	9	3.5	7.5	11.5	15.5	19.5	21.5
เบนโทไนต์ จีน	30	10	46	95	132	170	202	224
	60	11	56	109	154	185	218	230
	90	12	60	120	160	210	240	275
เบนโทไนต์ สระบุรี	30	13	39	78	110	138	171	180
	60	14	37	78	113	144	175	184
	90	15	36	81	120	153	181	195
เบนโทไนต์ ลพบุรี	30	16	2.5	6.5	10.5	14.5	18.5	20.5
	60	17	3	8	11	15	19	21
	90	18	4	7.5	11.5	15.75	19.75	21.5
เบนโทไนต์ กาญจนบุรี	30	19	5.5	12	17.5	25	31	34
	60	20	7	18	27	35.5	43	47
	90	21	8	20	36	48	59	64

ตารางที่ ข.2.2 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา (Base)
อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
1	1.97	1.96	1.95	1.96
2	2.20	2.30	2.10	2.20
3	2.57	2.55	2.55	2.56

ตารางที่ ข.2.3 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์อินโดนีเซีย อุณหภูมิ 30
60 และ 90°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
4	2.00	2.00	2.00	2.00
5	2.29	2.32	2.29	2.30
6	2.64	2.61	2.62	2.62

ตารางที่ ข.2.4 ความหนาแน่นโคลนของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์อินเดีย อุณหภูมิ 30 60
และ 90°C

No.	ความหนาแน่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
7	2.25	2.21	2.21	2.22
8	2.36	2.35	2.36	2.36
9	2.68	2.66	2.64	2.66

ตารางที่ ข.2.5 ความหนาแผ่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนด์จีน อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

No.	ความหนาแผ่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
10	5.37	5.38	5.34	5.36
11	6.60	6.60	6.60	6.60
12	6.72	6.68	6.70	6.70

ตารางที่ ข.2.6 ความหนาแผ่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนด์สระบุรี อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

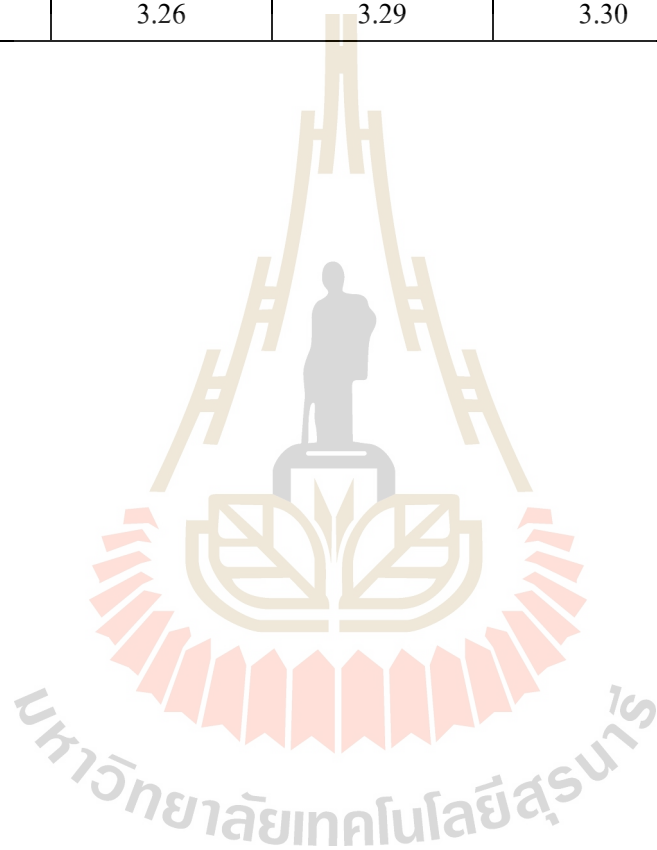
No.	ความหนาแผ่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
13	5.08	5.12	5.10	5.10
14	6.08	6.06	6.10	6.08
15	6.28	6.16	6.20	6.21

ตารางที่ ข.2.7 ความหนาแผ่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนด์ลพบุรี อุณหภูมิ 30 60 และ 90°C

No.	ความหนาแผ่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
16	2.28	2.34	2.29	2.30
17	2.45	2.40	2.47	2.44
18	2.72	2.74	2.70	2.72

ตารางที่ ข.2.8 ความหนาแผ่นโคลนของน้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์กาญจนบุรี อุณหภูมิ 30
60 และ 90°C

No.	ความหนาแผ่นโคลน (มม.)			ค่าเฉลี่ย (มม.)
	#1	#2	#3	
19	2.96	2.97	2.96	2.96
20	3.13	3.12	3.12	3.12
21	3.26	3.29	3.30	3.28



ผลจากเครื่องวิเคราะห์ความหนาแน่น

ตารางที่ ข.3.1 ความหนาแน่นของน้ำโคลนขุดเจาะ

ตัวอย่าง	No.	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของน้ำโคลนขุดเจาะ				
		อุณหภูมิ	Fluid density			Pressure gradient
		(°C)	g/cm ³	lb/gal	lb/ft ³	lb/in ² /1000ft
เบนโทไนต์ สหรัฐอเมริกา (Base)	1	30	1.1	9.180	68.671	476.667
	2	60	1.098	9.163	68.546	475.800
	3	90	1.095	9.138	68.359	474.500
เบนโทไนต์ อินโดนีเซีย	4	30	1.092	9.113	68.171	473.200
	5	60	1.090	9.096	68.046	472.333
	6	90	1.085	9.055	67.734	470.167
เบนโทไนต์ อินเดีย	7	30	1.095	9.138	68.359	474.500
	8	60	1.092	9.113	68.171	473.200
	9	90	1.090	9.096	68.046	472.333
เบนโทไนต์ จีน	10	30	1.075	8.971	67.110	465.833
	11	60	1.070	8.930	66.798	463.667
	12	90	1.062	8.863	66.298	460.200
เบนโทไนต์ สระบุรี	13	30	1.067	8.905	66.611	462.367
	14	60	1.063	8.871	66.361	460.633
	15	90	1.060	8.846	66.174	459.333
เบนโทไนต์ ลพบุรี	16	30	1.098	9.163	68.546	475.800
	17	60	1.095	9.138	68.359	474.500
	18	90	1.092	9.113	68.171	473.200
เบนโทไนต์ กาญจนบุรี	19	30	1.075	8.971	67.110	465.833
	20	60	1.073	8.955	66.985	464.967
	21	90	1.070	8.930	66.798	463.667

ผลจากเครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง

ตารางที่ ข.4.1 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนขุดเจาะ

ตัวอย่าง	No.		อุณหภูมิ (°C)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)			ค่าเฉลี่ย
				#1	#2	#3	
เบนโทไนต์ สหรัฐอเมริกา (Base)	1	Mud	30	8.89	8.83	8.85	8.86
		Mud filtrate		8.78	8.76	8.76	8.77
	2	Mud	60	8.81	8.8	8.81	8.81
		Mud filtrate		8.71	8.71	8.72	8.71
	3	Mud	90	8.65	8.68	8.69	8.67
		Mud filtrate		8.55	8.53	8.53	8.54
เบนโทไนต์ อินโดนีเซีย	4	Mud	30	8.77	8.73	8.77	8.76
		Mud filtrate		8.44	8.37	8.38	8.40
	5	Mud	60	8.52	8.56	8.59	8.56
		Mud filtrate		8.16	8.11	8.11	8.13
	6	Mud	90	8.44	8.49	8.47	8.47
		Mud filtrate		7.6	7.57	7.56	7.58
เบนโทไนต์ อินเดีย	7	Mud	30	9.79	9.78	9.73	9.77
		Mud filtrate		9.67	9.67	9.63	9.66
	8	Mud	60	9.42	9.44	9.43	9.43
		Mud filtrate		9.31	9.32	9.32	9.32
	9	Mud	90	8.98	9.03	9.03	9.01
		Mud filtrate		8.67	8.68	8.63	8.66
เบนโทไนต์ จีน	10	Mud	30	8.34	8.35	8.38	8.36
		Mud filtrate		8.27	8.27	8.25	8.26
	11	Mud	60	8.14	8.15	8.14	8.14
		Mud filtrate		8.00	8.02	8.08	8.03
	12	Mud	90	7.97	7.98	7.98	7.98
		Mud filtrate		7.8	7.83	7.84	7.82

ตารางที่ ข.4.1 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนขุดเจาะ (ต่อ)

ตัวอย่าง	No.		อุณหภูมิ (°C)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)			ค่าเฉลี่ย
				#1	#2	#3	
เบนโทไนต์ สระบุรี	13	Mud	30	7.88	7.88	7.85	7.87
		Mud filtrate		7.80	7.76	7.79	7.78
	14	Mud	60	7.58	7.6	7.58	7.59
		Mud filtrate		7.49	7.45	7.49	7.48
	15	Mud	90	7.47	7.48	7.49	7.48
		Mud filtrate		7.32	7.37	7.40	7.36
เบนโทไนต์ ลพบุรี	16	Mud	30	9.94	9.96	9.95	9.95
		Mud filtrate		9.73	9.71	9.71	9.72
	17	Mud	60	9.79	9.77	9.74	9.77
		Mud filtrate		9.64	9.63	9.63	9.63
	18	Mud	90	9.52	9.51	9.56	9.53
		Mud filtrate		9.37	9.38	9.38	9.38
เบนโทไนต์ กาญจนบุรี	19	Mud	30	9.06	8.99	9.03	9.03
		Mud filtrate		8.97	8.94	8.92	8.94
	20	Mud	60	8.9	8.93	8.96	8.93
		Mud filtrate		8.88	8.87	8.87	8.87
	21	Mud	90	8.86	8.91	8.89	8.89
		Mud filtrate		8.79	8.76	8.82	8.79

ผลจากเครื่องวิเคราะห์ปริมาณของแข็งและทราย

ตารางที่ ข.5.1 ปริมาณของแข็งและทรายของน้ำโคลนชุดเจาะ

ตัวอย่าง	No.	ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็ง		ค่าเฉลี่ยร้อยละปริมาณทราย
		ปริมาณน้ำ (มล.)	ร้อยละปริมาณของแข็ง	
เบนโทไนต์ สหรัฐอเมริกา (Base)	1	47	6	0.25
	2	46	8	0.26
	3	45.5	9	0.26
เบนโทไนต์ อินโดนีเซีย	4	48.5	3	0.5
	5	48	4	0.58
	6	46	8	0.58
เบนโทไนต์ อินเดีย	7	46.5	7	0.25
	8	46	8	0.3
	9	45.5	9	0.3
เบนโทไนต์จีน	10	48	4	0.2
	11	46	8	0.26
	12	45	10	0.27
เบนโทไนต์ สระบุรี	13	49	2	0.25
	14	48.5	3	0.26
	15	48	4	0.27
เบนโทไนต์ ลพบุรี	16	46.5	7	0.2
	17	46.5	7	0.25
	18	45.5	9	0.3
เบนโทไนต์ กาญจนบุรี	19	46	8	0.5
	20	45.5	9	0.58
	21	45.5	9	0.58

ผลจากเครื่องวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้า

ตารางที่ ข.6.1 น้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา (Base) ที่อุณหภูมิ 30°C (No.1)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	79.7	5.76	5.80	5.77	5.78
Mud filtrate	75.0	6.6	6.55	6.53	6.56
Mud cake	75.9	4.67			4.67

ตารางที่ ข.6.2 น้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา (Base) ที่อุณหภูมิ 60°C (No.2)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	78.3	5.49	5.55	5.58	5.54
Mud filtrate	73.2	6.44	6.43	6.43	6.43
Mud cake	72.2	4.48			4.48

ตารางที่ ข.6.3 น้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์สหรัฐอเมริกา (Base) ที่อุณหภูมิ 90°C (No.3)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	79.9	5.32	5.36	5.39	5.36
Mud filtrate	73.7	6.08	6.07	6.14	6.10
Mud cake	72.7	4.18			4.18

ตารางที่ ข.6.4 น้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์อินโดนีเซีย ที่อุณหภูมิ 30°C (No.4)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	72.9	6.57	6.63	6.6	6.60
Mud filtrate	73.3	6.92	7.02	6.86	6.93
Mud cake	74.7	4.72			4.72

ตารางที่ ข.6.5 น้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์อินโดนีเซีย ที่อุณหภูมิ 60°C (No.5)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	74.7	5.35	5.24	5.41	5.33
Mud filtrate	72.5	6	5.98	6	5.99
Mud cake	75.8	4.23			4.23

ตารางที่ ข.6.6 น้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์อินโดนีเซีย ที่อุณหภูมิ 90°C (No.6)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	79	4.98	4.67	4.84	4.83
Mud filtrate	73.8	5.47	5.38	5.38	5.41
Mud cake	72.5	3.65			3.65

ตารางที่ ข.6.7 น้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์อินเดีย ที่อุณหภูมิ 30°C (No.7)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	77.7	6.23	6.25	6.25	6.24
Mud filtrate	77.1	8.07	7.98	8.17	8.07
Mud cake	78.2	3.90			3.90

ตารางที่ ข.6.8 น้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์อินเดีย ที่อุณหภูมิ 60°C (No.8)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	75.3	6.07	6.02	6.07	6.05
Mud filtrate	75.3	7.68	7.53	7.44	7.55
Mud cake	76.2	3.65			3.65

ตารางที่ ข.6.9 น้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์อินเดีย ที่อุณหภูมิ 90°C (No.9)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	79.3	5.79	5.73	5.79	5.77
Mud filtrate	80.8	7.16	7.15	7.15	7.15
Mud cake	77.8	3.44			3.44

ตารางที่ ข.6.10 น้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์จีน ที่อุณหภูมิ 30°C (No.10)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	75.8	17.33	17.24	17.38	17.32
Mud filtrate	75.4	18.44	18.42	18.44	18.43
Mud cake	76.3	13.64			13.64

ตารางที่ ข.6.11 น้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์จีน ที่อุณหภูมิ 60°C (No.11)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	79.3	15.48	15.29	15.34	15.37
Mud filtrate	78	17.24	17.12	17.29	17.22
Mud cake	77.2	12.33			12.33

ตารางที่ ข.6.12 น้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์จีน ที่อุณหภูมิ 90°C (No.12)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	80.5	15.19	15.06	15.23	15.16
Mud filtrate	76.9	16.40	16.38	16.15	16.31
Mud cake	77.8	12.14			12.14

ตารางที่ ข.6.13 น้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์สระบุรี ที่อุณหภูมิ 30°C (No.13)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	78.5	18.24	18.36	18.28	18.29
Mud filtrate	74.7	19.14	19.19	19.2	19.18
Mud cake	75.6	16.17			16.17

ตารางที่ ข.6.14 น้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์สระบุรี ที่อุณหภูมิ 60°C (No.14)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	78.2	17.75	17.52	17.55	17.61
Mud filtrate	73	19.02	18.98	18.94	18.98
Mud cake	72	15.73			15.73

ตารางที่ ข.6.15 น้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์สระบุรี ที่อุณหภูมิ 90°C (No.15)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	77.4	16.38	16.54	16.49	16.47
Mud filtrate	73.3	18.44	18.53	18.49	18.49
Mud cake	71.4	14.87			14.87

ตารางที่ ข.6.16 น้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์ลพบุรี ที่อุณหภูมิ 30°C (No.16)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	79.4	5.05	5.02	5.06	5.04
Mud filtrate	74.6	6.09	6.11	6.02	6.07
Mud cake	75.6	4.05			4.05

ตารางที่ ข.6.17 น้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์ลพบุรี ที่อุณหภูมิ 60°C (No.17)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	78	4.84	4.77	4.79	4.80
Mud filtrate	72	5.55	5.43	5.50	5.49
Mud cake	71.4	3.51			3.51

ตารางที่ ข.6.18 น้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์ลพบุรี ที่อุณหภูมิ 90°C (No.18)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	79.4	4.45	4.44	4.41	4.43
Mud filtrate	73	5.21	5.30	5.24	5.25
Mud cake	72	3.24			3.24

ตารางที่ ข.6.19 น้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์กาญจนบุรี ที่อุณหภูมิ 30°C (No.19)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	71.9	6.24	6.31	6.26	6.27
Mud filtrate	73.6	7.77	7.43	7.49	7.56
Mud cake	73.9	5.45			5.45

ตารางที่ ข.6.20 น้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์กาญจนบุรี ที่อุณหภูมิ 60°C (No.20)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	74	6.13	6.1	6.11	6.11
Mud filtrate	72.1	7.13	7.16	7.2	7.16
Mud cake	76.3	4.75			4.75

ตารางที่ ข.6.21 น้ำโคลนชุดเจาะที่ผสมเบนโทไนต์กาญจนบุรี ที่อุณหภูมิ 90°C (No.21)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°F)	#1	#2	#3	ค่าเฉลี่ย $\Omega.m$
		$\Omega.m$			
Mud	79	5.69	5.72	5.75	5.72
Mud filtrate	73.8	6.4	6.35	6.27	6.34
Mud cake	72.5	4.21			4.21

ประวัตินักวิจัย

นางบัณฑิตา ธีระกุลสถิตย์ เกิดวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2518 ที่ จังหวัดนครพนม ได้สำเร็จปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และชั้นปริญญาเอก สาขาวิชาธรณีวิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

