



## รายงานการวิจัย

ประสิทธิภาพของน้ำโคลนขุดเจาะผสมด้วยวัสดุประเภท  
ลิกโนเซลลูโลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร  
(Efficiency of Drilling Mud Mixing with  
Lignocellulosic Materials from Agricultural Waste)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



## รายงานการวิจัย

ประสิทธิภาพของน้ำโคลนขุดเจาะผสมด้วยวัสดุประเภท  
ลิกโนเซลลูโลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร  
(Efficiency of Drilling Mud Mixing with  
Lignocellulosic Materials from Agricultural Waste)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิตา อีระกุลสถิตย์

สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี  
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2560

## บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมด้วยผงชานอ้อย ชังข้าวโพด และฟางข้าว เป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในด้านการซึมผ่านของน้ำโคลนและความหนืด โดยน้ำโคลนขุดเจาะผสมด้วยอัตราความเข้มข้นที่ 1 3 และ 5 โดยน้ำหนักของผงของสารเติมแต่ง ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 80 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองตามขั้นตอนมาตรฐาน API RP13B-1 คุณสมบัติทางเคมีทำการวิเคราะห์หาธาตุและแร่ประกอบด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (XRF) และเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ธาตุประกอบในน้ำโคลนขุดเจาะก่อนการผสม ประกอบด้วย แมกนีเซียมออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ ซิลิกอนไดออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ ไอรอนออกไซด์ สตอนเนียมออกไซด์ โรเดียมออกไซด์ และแบเรียมออกไซด์ แร่ประกอบของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมสารเติมแต่งที่อัตราความเข้มข้น ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ประกอบด้วย แร่แบไรต์ เคโอลิไนต์ มอนมอริลลโรไนต์ แคลไซต์ ยิปซัม รูไทล์ และเฮมาไทท์ ส่วนแร่ทุเบอโมไรท์ในชานอ้อย แร่แมกนีไซต์และเพอริเคลสในชังข้าวโพดและฟางข้าว ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านวิทยากระแสและควบคุมการสูญเสีย น้ำได้ดี หลังจากผสมสารเติมแต่ง พบว่าสัดส่วนความเข้มข้นของสารเติมแต่งและอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของธาตุและแร่เพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลต่อคุณสมบัติวิทยากระแสได้ ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าชิ้นส่วนของสารเติมแต่งเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างแร่แบไรต์และแร่เบนโทไนต์ ชิ้นส่วนเหล่านี้จะกระจายตัวอยู่บนพื้นผิวของแผ่นโคลน เนื่องจากไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ น้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมด้วยผงชังข้าวโพดนั้น สามารถผสมกันได้ดีกว่าน้ำโคลนที่ผสมด้วยผงฟางข้าวและชานอ้อย ผลการทดสอบการซึมผ่านของน้ำโคลนตามแบบ เอ พี ไอ พบว่าน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมผงชานอ้อย ชังข้าวโพดและฟางข้าวจะมีประสิทธิภาพดีกว่าน้ำโคลนฐานเบนโทไนต์ การสูญเสียน้ำและความหนาของแผ่นโคลนจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารเติมแต่งและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น สรุปได้ว่าน้ำโคลนที่ผสมฟางข้าวไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำโคลนได้ เนื่องจากมีปริมาณของแข็งสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนดไว้ น้ำโคลนที่ผสมผงชานอ้อยมีประสิทธิภาพดีกว่าน้ำโคลนที่ผสมผงชังข้าวโพดและฟางข้าว ในทางด้านวิทยากระแสของน้ำโคลนและทางด้านการสูญเสียน้ำในน้ำโคลนขุดเจาะ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนขุดเจาะผสมสารเติมแต่งทั้งสามชนิดมีค่าต่ำกว่าน้ำโคลนมาตรฐาน ในด้านการเปรียบเทียบด้านราคาของชานอ้อย ชังข้าวโพด และฟางข้าวมีราคาที่ถูกกว่าสารเติมแต่งที่เพิ่มคุณสมบัติการควบคุมการสูญเสียน้ำและความหนืด ดังนั้นชานอ้อยและชังข้าวโพดจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถผสมกับน้ำโคลนขุดเจาะได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพน้ำโคลนขุดเจาะได้

## Abstract

This research objective is to study the physical and chemical properties of drilling mud mixed with powders of sugarcane bagasse, corn cob and rice straw as additives for enhancement the filtration loss and viscosity. Drilling mud was mixed with all additives in concentration of 1, 3 and 5% by weight and examined at 30, 60 and 80°C based on the API RP 13B-1 standard. Chemical properties, as the element and mineral compositions of the additives were determined by X-ray fluorescence (XRF) and X-ray diffraction (XRD), respectively. The elemental compositions of the drilling mud before mixing included MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SrO, Rh<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and BaO. The minerals in the drilling mud after mixing with the three additives at concentrations of 5% by weight included barite, kaolinite, montmorillonite, quartz, calcite, gypsum, rutile, and hematite. Tobermorite in sugarcane bagasse, and magnesite and periclase in corn cob and rice straw were affected to the rheological and filtration control improvement of drilling mud. After mixing with all three additives, the additive's concentration and temperature results the slightly change the element and minerals compositions. Results analyzed by electron microscopy found particles of these additives inserted between barite and bentonite, with heterogeneous distribution on the surface of the filter mud cake. Drilling mud with corn cob powder mixed better than the other two additives. API filtration test results indicated drilling mud mixed with sugarcane bagasse, corn cob and rice straw performed better than water-based bentonite mud. Filtration loss and mud cake thickness increased with the addition of additives and increasing temperature. Rice straw did not improve drilling mud property because of a higher solid content than the specified standards. Sugarcane bagasse

showed higher potential than corn cob and rice straw in enhancing the rheological properties and filtration loss in drilling mud with pH value lower than water-based drilling mud. Cost comparisons determined that additives of sugarcane bagasse and corn cob were cheaper than a fluid loss control agent and viscosifier. Therefore, sugarcane bagasse and corn cob are suitable additives in water-based drilling mud for the enhancement of filtration loss and viscosity.



## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการอุดหนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ 2560 คณะผู้ทำวิจัยต้องขอขอบคุณบริษัทไทยนิปปอน เคมิคอล อินดัสทรี จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างแร่เบนโทไนต์ การวิเคราะห์ทั้งหมดจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้หากขาดบุคลากรฝ่ายวิเคราะห์ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่คอยให้ความรู้และการฝึกอบรมในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ เป็นอย่างดี และขอขอบคุณ คุณมัลลิกา หงวนไธสง ที่ช่วยในการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่าง คุณกรกรินทร์ ศิริเถียร ที่ช่วยเตรียมและจัดทำเอกสารรายงาน และบุคคลอื่นๆที่เกี่ยวข้องที่ยังไม่ได้กล่าวถึง ทางผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัย

กันยายน 2560

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

# สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ .....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย) .....	ข
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) .....	ค
สารบัญ .....	จ
สารบัญตาราง .....	ซ
สารบัญรูป .....	ฅ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของ โครงการวิจัย .....	3
1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของ โครงการวิจัย .....	4
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล .....	6
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	9
2.1 วัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic Materials) .....	9
2.2 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร .....	10
2.2.1 ชังข้าวโพด (Corn Cob) .....	10
2.2.2 ฟางข้าว (Rice straw) .....	11
2.2.3 ชานอ้อย (Bagasse) .....	12
2.3 วัสดุที่ใช้เป็นสารเติมแต่งในน้ำโคลนขุดเจาะ .....	13
2.4 การวิเคราะห์ทางเคมี .....	13
2.5 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง .....	14

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์.....	22
3.1 วัตถุประสงค์.....	22
3.2 การเตรียมตัวอย่าง.....	22
3.2.1 การเตรียมตัวอย่างวิเคราะห์ทางเคมีของเบนโทไนต์และน้ำโคลน.....	25
3.2.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเบนโทไนต์และน้ำโคลน.....	25
3.3 เครื่องมือและการวิเคราะห์.....	26
3.3.1 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกโตรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD).....	26
3.3.2 เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วย เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF).....	27
3.3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM).....	28
3.3.4 เครื่องวิเคราะห์ความหนาแน่น (Mud balance).....	29
3.3.5 เครื่องวิเคราะห์ความหนืด (Viscometer).....	29
3.3.6 เครื่องวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity meter).....	30
3.3.7 เครื่องวิเคราะห์การซึมผ่าน (Filter Press).....	31
3.3.8 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง (Solid content).....	32
3.3.9 เครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH meter).....	33
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	34
4.1 บทนำ.....	34
4.2 คุณสมบัติทางเคมี.....	34
4.2.1 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำโคลนเบนโทไนต์และสารเติมแต่งของน้ำโคลน.....	34
4.3 คุณสมบัติทางกายภาพ.....	39
4.3.1 คุณสมบัติในการไหลและค่าพารามิเตอร์.....	39
4.3.2 คุณสมบัติการไหลของน้ำโคลน.....	48



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.3 คุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำโคลน.....	48
4.3.4 ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำโคลน.....	57
4.3.5 สภาพความต้านทานของน้ำโคลน.....	59
4.3.6 ความหนาแน่นของน้ำโคลน.....	61
4.3.7 ปริมาณของของแข็งในน้ำโคลน.....	64
4.3.8 คุณสมบัติทางสัณฐานวิทยา.....	66
4.4 การวิเคราะห์ต้นทุน.....	69
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	71
5.1 บทนำ.....	71
5.2 สรุปผลการศึกษา.....	71
5.2.1 คุณสมบัติทางเคมี.....	71
5.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ.....	72
5.2.3 การวิเคราะห์ต้นทุน.....	73
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	85
เอกสารอ้างอิง.....	86
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง.....	88
ประวัตินักวิจัย.....	101

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สถิติการผลิตข้าวโพดของประเทศไทย.....	11
2.2	ประเภทและข้อดีของน้ำโคลนขุดเจาะประเภทต่างๆ .....	17
2.3	หน้าที่และคุณสมบัติของน้ำโคลนขุดเจาะและสารเติมแต่งชนิดต่างๆ .....	18
3.1	ส่วนประกอบของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมสารเติมแต่ง.....	23
3.2	ส่วนผสมของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมผงชานอ้อย ฟางข้าว และขังข้าวโพดตามสัดส่วน น้ำหนัก .....	24
4.1	องค์ประกอบของน้ำโคลนเบนโทไนต์และสารเติมแต่งก่อนผสม และน้ำโคลนที่ผสมด้วย สารเติมแต่งที่อัตราความเข้มข้น 5 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้ วิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์.....	36
4.2	แร่ธาตุของน้ำโคลนที่ผสมด้วยสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 5% น้ำหนักต่อน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ .....	37
4.3	ต้นทุนสารเคมีที่ใช้ในการขุดเจาะน้ำโคลน.....	70
5.1	สรุปการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ โคลนที่ผสมกับผงชานอ้อย ขังข้าวโพด และฟางข้าว .....	75
ก1	วิทยากระแสน้ำโคลนตัวอย่าง .....	90
ก2	ผลการทดลองแรงเฉือนและแรงกั้นของน้ำโคลนเบนโทไนต์ .....	91
ก2-1	ความหนืดของน้ำโคลนเบนโทไนต์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส .....	91
ก2-2	ความหนืดของน้ำโคลนเบนโทไนต์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส .....	92
ก2-3	ความหนืดของน้ำโคลนเบนโทไนต์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส .....	92
ก-3	ค่าเฉลี่ยปริมาตรการสูญเสียน้ำของน้ำโคลนขุดเจาะ .....	93
ก4	ความเป็นกรดต่างของน้ำโคลนขุดเจาะ.....	94
ก5	ปริมาณของแข็งของน้ำโคลนขุดเจาะ .....	97

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนภูมิแสดงสรุปขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	8
2.1	โครงสร้างทั่วไปของลิกโนเซลลูโลส.....	9
3.1	เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยวิธีการหักเหแสง Bruker .....	26
3.2	เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วย X-ray Fluorescence (ED) Horiba.....	27
3.3	เครื่องวิเคราะห์ขนาด รูปร่าง และการกระจายตัว JEOL.....	28
3.4	เครื่องวิเคราะห์ความหนาแน่น.....	29
3.5	เครื่องวิเคราะห์ความหนืด จุดคราก และ gel strength fann.....	30
3.6	เครื่องวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้า fann.....	31
3.7	เครื่องวิเคราะห์การซึมผ่าน fann.....	32
3.8	เครื่องวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง fann.....	33
3.9	เครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง OAKTON.....	33
4.1	องค์ประกอบของสารเติมแต่งก่อนผสม โดยใช้วิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์.....	35
4.2	องค์ประกอบของสารเติมแต่งหลังผสม โดยใช้วิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์.....	35
4.3	แร่ธาตุของสารเติมแต่งหลังผสม โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์.....	37
4.4	เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของน้ำโคลนที่ผสมด้วยซังข้าวโพด 5% ที่ 80°.....	38
4.5	เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของน้ำโคลนที่ผสมด้วยขานอ้อย 5% ที่ 80°C.....	38
4.6	เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของน้ำโคลนที่ผสมด้วยฟางข้าว 5% ที่ 80°C.....	39
4.7	จุดที่สอดคล้องกันของน้ำโคลนที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก ด้วยความสัมพันธ์เชิงเส้น	40
4.8	จุดที่สอดคล้องกันของน้ำโคลนที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก.....	40
4.9	จุดที่สอดคล้องกันของน้ำโคลนที่ผสมกับผงขานอ้อย (SCB) ที่อุณหภูมิ (A) 30 (B) 60 และ 80°C .....	42
4.10	จุดที่สอดคล้องกันของน้ำโคลนที่ผสมกับผงฟางข้าว ที่อุณหภูมิ (A) 30 (B) 60 และ (C) 80°C .....	43

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 จุดที่สอดคล้องกันของน้ำโคลนที่ผสมกับผงซังข้าวโพด ที่อุณหภูมิ (A) 30 (B) 60 และ (C) 80°C .....	44
4.12 ความหนืดของน้ำ โคลนที่ผสมกับผงชานอ้อย (A) ค่าความหนืดปรากฏ (B) ค่าความหนืดพลาสติก และ (C) จุดคราก .....	45
4.13 ความหนืดของน้ำ โคลนที่ผสมกับผงฟางข้าว (A) ค่าความหนืดปรากฏ (B) ค่าความหนืดพลาสติก และ (C) จุดคราก.....	46
4.14 ความหนืดของน้ำ โคลนที่ผสมกับผงซังข้าวโพด (A) ค่าความหนืดปรากฏ (B) ค่าความหนืดพลาสติก และ (C) จุดคราก.....	47
4.15 ปริมาณการสูญเสียในน้ำโคลนที่ผสมด้วยสารเติมแต่งที่อุณหภูมิ 30°C .....	49
4.16 ปริมาณการสูญเสียในน้ำโคลนที่ผสมด้วยสารเติมแต่งที่อุณหภูมิ 60°C.....	49
4.17 ปริมาณการสูญเสียในน้ำโคลนที่ผสมด้วยสารเติมแต่งที่อุณหภูมิ 80°C.....	50
4.18 การสูญเสียของน้ำโคลนที่ผสมด้วยสารเติมแต่ง (A) 1% (B) 3% และ (C) 5% ที่อุณหภูมิ 30°C .....	51
4.19 การสูญเสียของน้ำโคลนที่ผสมชานอ้อย (A) 1% (B) 3% และ (C) 5% ที่อุณหภูมิ 30°C.....	52
4.20 การสูญเสียของน้ำโคลนที่ผสมฟางข้าว (A) 1%, (B) 3% และ (C) 5% ที่อุณหภูมิ 30°C.....	53
4.21 การสูญเสียของน้ำโคลนที่ผสมซังข้าวโพด (A) 1% (B) 3% และ (C) 5% ที่อุณหภูมิ 30°C .....	54
4.22 ความหนาของผนังชั้นโคลนของ (A) ชานอ้อย (B) ซังข้าวโพด และ (C) ฟางข้าว ที่ผสมในโคลน ที่อุณหภูมิ 30, 60 และ 80°C .....	56
4.23 ค่า pH ของน้ำโคลนที่ผสมสารเติมแต่ง .....	57
4.24 ค่า pH ของน้ำโคลนที่ผสมสารเติมแต่ง ที่อุณหภูมิ (A) 30°C (B) 60°C และ (C) 80°C .....	58
4.25 สภาพความต้านทานของน้ำโคลนที่ผสมสารเติมแต่ง ที่อุณหภูมิ 30°C 60°C และ 80°C .....	59
4.26 สภาพความต้านทานของน้ำโคลนที่ผสม (A) ชานอ้อย (B) ฟางข้าว และ (C) ซังข้าวโพด ที่อุณหภูมิ 30°C 60°C และ 80°C.....	60
4.27 ความหนาแน่นของน้ำโคลนที่ผสมกับชานอ้อย ที่อุณหภูมิ 30°C 60°C และ 80°C.....	61
4.28 ความหนาแน่นของน้ำโคลนที่ผสมกับฟางข้าว ที่อุณหภูมิ 30°C 60°C และ 80°C.....	62

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.29 ความหนาแน่นของน้ำโคลนที่ผสมกับซังข้าวโพด ที่อุณหภูมิ 30°C 60°C และ 80°C .....	62
4.30 30 ความหนาแน่นของน้ำโคลนที่ผสมกับสารเติมแต่งต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ (A) 30°C (B) 60°C และ (C) 80°C .....	63
4.31 ปริมาณของแข็งของน้ำโคลนที่ผสมสารเติมแต่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30°C 60°C และ 80°C ..	64
4.32 ปริมาณของแข็งของน้ำโคลนที่ผสม (A) ผงชานอ้อย (SGB) (B) ผงฟางข้าว และ(C) ผงซังข้าวโพด ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 80 องศาเซลเซียส .....	65
4.33 พื้นผิวของซังข้าวโพด.....	66
4.34 พื้นผิวของฟางข้าว .....	67
4.35 พื้นผิวของชานอ้อย .....	67
4.36 พื้นผิวของ โคลนที่ผสมซังข้าวโพด 5% ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	68
4.37 พื้นผิวของ โคลนที่ผสมฟางข้าว 5% ที่ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส .....	68
4.38 พื้นผิวของ โคลนที่ผสมชานอ้อย 5% ที่ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส .....	69
ก1 XRD of sugarcane bagasse. It cannot analyze by X-ray diffractometer due to they are amorphous material.....	98
ก2 XRD of rice straw. It cannot analyze by X-ray diffractometer due to they are amorphous material .....	98
ก3 XRD of corn cob. It cannot analyze by X-ray diffractometer due to they are amorphous material .....	99
ก4 XRD of barite.....	99
ก5 XRD of bentonite.....	100

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$\gamma$	=	shear rate
$\gamma_p$	=	yield point
$n$	=	flow behavior index
$k$	=	fluid consistency index
$\mu_p$	=	plastic viscosity
$\mu_a$	=	apparent viscosity
$\tau$	=	shear stress
$\tau_0$	=	yield stress
$\phi_i$	=	viscometer dial reading
$\phi_{300}$	=	viscometer dial reading at 300 rpm
$\phi_{600}$	=	viscometer dial reading at 600 rpm
$Gel_{10}$	=	10 minutes gel strength
$Gel_{in}$	=	initial gel strength
gm	=	gram
kg	=	kilogram
ml	=	milliliter
N	=	range extension factor of the torque spring of the VG meter
rpm	=	rotational speed
Temp.	=	temperature
% w/w	=	percentage of weight by weight

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การสูญเสียของน้ำโคลน (Lost circulation) เข้าไปในชั้นหินในระหว่างการขุดเจาะน้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ การเกิดผนังหลุมพัง การซึมผ่านชั้นหินของน้ำโคลนมากเกินไป การไม่นำพาเศษชั้นหินขึ้นมาปากหลุม เป็นต้น ซึ่งปัญหาเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาและมีผลกระทบต่อ การขุดเจาะปิโตรเลียมโดยใช้น้ำเป็นส่วนผสมหลักของน้ำโคลน (Water base mud) ดังนั้นจึงมีการ แก้ไขปัญหาที่ระบบน้ำโคลน ตัวอย่างเช่น การเพิ่มความเข้มข้นของ เบนโทไนต์ หรือโพลิเมอร์ ซีเอ็มซี (Carboxymethyl cellulose; CMC) เบนโทไนต์ (Bentonite) และโพลิโอออนิก เซลลูโลส (Polyanionic cellulose; PAC) กวักกัม (Guar gum) แชนแทนกัม (Xanthane gum) เป็นต้น ซึ่งสารเติม แต่งทางการค้าเหล่านี้มีราคาค่อนข้างแพงและต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศที่มาจากธรรมชาติ ส่งผล ทำให้ต้นทุนในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมสูงขึ้น ดังนั้นในการทำวิจัยครั้งนี้มองหาวัสดุเหลือใช้ทาง การเกษตรที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสารเติมแต่งที่กล่าวมาข้างต้น ได้แก่ กลุ่มวัสดุประเภทลิกโน เซลลูโลส (lignocellulosic Materials) จะมีพบได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว ชัง ข้าวโพด และชานอ้อย โดยนำมาผสมกับน้ำโคลนมาตรฐานที่มีเบนโทไนต์เป็นส่วนผสมหลัก เพื่อ ช่วยลดปัญหาการสูญเสียของน้ำโคลนและเพิ่มประสิทธิภาพทางวิทยากระแส (rheology) ของน้ำโคลน เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิตปิโตรเลียม โดยมีการนำวัสดุราคาถูกหรือเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เหล่านี้ที่สามารถหาได้ง่ายในชุมชนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมนำมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า ของสินค้าเกษตรต่อไป ประเทศไทยมีปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเกิดขึ้นในแต่ละปีเป็น จำนวนมาก และมีความหลากหลาย เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย กากมะพร้าว ชังข้าวโพด ต้นมัน ลำปะลั้ เป็นต้น ซึ่งมีหน่วยงานและองค์กรหลายแห่งได้ให้ความสนใจที่จะนำวัสดุเหลือใช้ เหล่านี้มาแปรรูปให้เกิดประโยชน์ เช่น ทำเป็นอาหารสัตว์ การทำปุ๋ยหมัก การผลิตพลังงาน เป็นต้น แต่กระนั้นก็ยังมีความจำเป็นต้องกำจัดปริมาณวัสดุเหลือใช้จำนวนมากโดยวิธีการเผาทิ้ง ทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่ก็มีความจำเป็นต้องกำจัดปริมาณวัสดุเหลือใช้จำนวนมากโดยวิธีการเผาทิ้ง

ซึ่งเป็นวิธีที่เกษตรกรไทยนิยมมากที่สุดและได้ปฏิบัติมาเป็นเวลานาน มักก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ บางครั้งควันเป็นปริมาณมากอาจทำให้ทัศนวิสัยการจราจรลดลงไปและก่อให้เกิดอุบัติเหตุบ่อยครั้ง ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เหลือนี้มาคัดแปลงเพื่อใช้เป็นส่วนผสมของการผลิตน้ำโคลนขุดเจาะในอุตสาหกรรมการขุดเจาะปิโตรเลียม โดยในการนำฟางข้าว ชังข้าวโพด และขานอ้อย ซึ่งเป็นวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสมีองค์ประกอบหลักคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ที่จะมีคุณสมบัติในการลดปัญหาการสูญเสียโคลนและเพิ่มประสิทธิภาพทางวิทยาการไหลของน้ำโคลน ช่วยลดต้นทุนการผลิตปิโตรเลียมและลดการนำเข้าสารเติมแต่งราคาแพงจากต่างประเทศ และเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

งานวิจัยจะมุ่งไปที่การศึกษาการป้องกันการสูญเสียโคลนประเภทที่มีน้ำเป็นหลัก (water base mud) และวิทยาการระแส (rheology) ของน้ำโคลนที่ใช้ชังข้าวโพดเป็นสารเติมแต่ง โดยวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำโคลนขุดเจาะที่ใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นสารเติมแต่ง
2. เพื่อหาสัดส่วนของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นสารเติมแต่งในน้ำโคลนขุดเจาะ
3. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำโคลนขุดเจาะที่ใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นสารเติมแต่ง
4. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำโคลนขุดเจาะที่ใช้วัสดุเหลือใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่างๆ กับ วัสดุสารเติมแต่งที่ใช้ในอุตสาหกรรมการขุดเจาะปิโตรเลียม
5. เพื่อช่วยลดปัญหาการกักขะที่เกิดจากกากวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตการเกษตรในท้องถิ่น



### 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นที่ทำการศึกษาคูณสมบัติการสูญเสีย น้ำโคลนซึมผ่านและวิทยากระแสของน้ำโคลนประเภทที่มีน้ำเป็นหลัก (water base mud) โดยใช้วัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสจากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว ช้างข้าวโพด และชานอ้อย เป็นสารเติมแต่ง ซึ่งตัวอย่างวัสดุเหล่านี้สามารถนำมาจากเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส และคุณสมบัติของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส จะทำการทดสอบตามมาตรฐานของสถาบันปิโตรเลียมของประเทศสหรัฐอเมริกา หรือ เอพีไอ (The America Petroleum Institute, API) ซึ่งจะใช้มาตรฐาน API RP 13B (Recommended Practice Standard Procedure for field Testing Water-Base Drilling Fluids) เป็นหลักปฏิบัติในการทดสอบน้ำโคลนขุดเจาะ โดยจะทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำโคลน ได้แก่ การหาค่าความถ่วงจำเพาะ (specific density) ความหนาแน่น (density) ความหนืด (viscosity) ความต้านทาน (resistivity) ปริมาณทราย (sand content) ปริมาณของแข็ง (solid content) การซึมผ่านของชั้นหิน (filtration) เป็นต้น และทำการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของน้ำโคลน เช่น ความเป็นกรด-ด่าง การวิเคราะห์ส่วนประกอบของวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส เบนโทไนต์ และแบไรต์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักในน้ำโคลน ได้แก่ การวิเคราะห์ชนิดของแร่โดยวิธี XRD การหาปริมาณธาตุโดยวิธี XRF การศึกษาโครงสร้างของแร่ดินเหนียวโดยวิธี SEM และ การวิเคราะห์หาชนิดของสารประกอบอินทรีย์ของตัวอย่างวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยเครื่องมือวิเคราะห์ High Performance Liquid Chromatograph (HPLC)

ในการทดสอบยังศึกษาคูณสมบัติของน้ำโคลนผสมวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรแต่ละชนิดที่สัดส่วนร้อยละ 3 ร้อยละ 5 และร้อยละ 10 ของปริมาตรของน้ำโคลนมาตรฐาน และทำการศึกษาที่อุณหภูมิ ที่ 30 60 และ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีจะทำการเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำโคลนทั้งก่อนและหลังการเติมวัสดุวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรแต่ละชนิด เปรียบเทียบกับสารซีเอ็มซี กัวกัม แซนแทนกัม และ PAC ซึ่งเป็นสารเติมแต่งที่นิยมใช้ในการเป็นตัวควบคุมการสูญเสีย น้ำโคลนให้แก่ชั้นหินในกระบวนการขุดเจาะปิโตรเลียม

ในการทดสอบครั้งนี้จะไม่คำนึงถึงปัจจัยของความดัน โดยจะทำการทดสอบที่สภาวะความดันคงที่ และการทดสอบเป็นระดับห้องปฏิบัติการไม่ใช่สภาวะของหลุมเจาะจริง โดยจะทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุและน้ำโคลน ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีธรณี ศูนย์เครื่องมือและวิทยาศาสตร์ 7 และทดสอบคุณสมบัติทางเคมี ณ อาคารศูนย์เครื่องมือและวิทยาศาสตร์ 10 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

#### 1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชากรมากกว่าร้อยละ 60 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม เช่น การทำนา การปลูกข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย เป็นต้น ซึ่งในการทำ การเกษตรเหล่านี้ จะเห็นว่าปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเกิดขึ้นในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก และมีความหลากหลาย เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย กากมะพร้าว ชังข้าวโพด ต้นมันสำปะหลัง เป็นต้น ซึ่งมีหน่วยงานและองค์กรหลายแห่งได้ให้ความสนใจที่จะนำวัสดุเหลือใช้เหล่านี้มาแปรรูปให้เกิด ประโยชน์ เช่น ทำเป็นอาหารสัตว์ การทำปุ๋ยหมัก การผลิตพลังงาน การผลิตเอทานอล การเผาไหม้ เพื่อเป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น แต่กระนั้นก็ยังมียังมีปริมาณวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรเหล่านี้จำนวนมากซึ่ง ทิ้งไว้เปล่าประโยชน์ ซึ่งทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่มีความจำเป็นต้องเผาทิ้ง ซึ่งการกำจัดปริมาณ วัสดุเหลือใช้จำนวนมากโดยวิธีการเผาเป็นวิธีที่เกษตรกรไทยนิยมมากที่สุดและได้ปฏิบัติมาเป็น เวลานาน มักก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในการนำฟางข้าว ชังข้าวโพด และ ชานอ้อย ซึ่งเป็นวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสมีองค์ประกอบหลักคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน ในปริมาณที่แตกต่างกันตามชนิดของวัสดุที่เป็นผลพลอยได้ ยกตัวอย่างเช่น ฟางข้าว (rice straw) ประกอบด้วยเคมีอินทรีย์ หลักๆ ได้แก่ เซลลูโลสร้อยละ 37 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 24 และ ลิกนินร้อยละ 14 และส่วนอื่นๆ ได้แก่ สารสกัดและเถ้า ร้อยละ 25 ส่วนชังข้าวโพด (corn cob) ประกอบด้วย เซลลูโลส ร้อยละ 45 เฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 35 และ ลิกนิน ร้อยละ 15 และชานอ้อย (bagasse) ที่เป็นส่วนเส้นใยของลำต้นที่ทำการสกัดน้ำอ้อยออกไปแล้ว ประกอบด้วย ความชื้น (moisture) ร้อยละ 46 ถึง 52 เส้นใย (fiber) ร้อยละ 43 ถึง 52 และของแข็งที่ละลายได้ (brix) ร้อยละ 2 ถึง 6 (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาการผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, 2541) โดย ประกอบด้วยเซลลูโลสร้อยละ 45.5 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 27 และลิกนินร้อยละ 21.1 และอื่นๆ ร้อย ละ 6.9 (กรมวิชาการเกษตร, 2557) วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเหล่านี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ ได้หลายส่วน เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้า ผลิตเยื่อกระดาษ (pulp) เป็น วัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล และใช้ทำปุ๋ยหมักและวัตถุดิบดิน เป็นต้น ใน อุตสาหกรรมปิโตรเลียมได้มีการนำเอาชานอ้อยมาสังเคราะห์สาร ซีเอ็มซี (carboxymethylcellulose; CMC) ซึ่งทำได้โดยการนำเซลลูโลสมาทำปฏิกิริยากับ โซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดอะมิโนคลอโร แอซีติก ซึ่งสารซีเอ็มซี ที่สังเคราะห์ได้จากชานอ้อยมีคุณสมบัติคือเป็นสารที่เพิ่มความหนืดและช่วย ในการยึดเกาะและละลายได้ในน้ำที่สามารถใช้เป็นส่วนผสมในน้ำโคลนได้ ในการทำวิจัยครั้งนี้จึง เล็งเห็นประโยชน์ของวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรนำมาใช้งานกับ

น้ำโคลนขุดเจาะ คำนึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุเหล่านี้ และคุณสมบัติของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส โดยจะทำการทดสอบตามมาตรฐานของสถาบันปิโตรเลียมของประเทศสหรัฐอเมริกา หรือ เอพีไอ (The America Petroleum Institute, API)

คุณสมบัติหลักของน้ำโคลนขุดเจาะในอุตสาหกรรมสำรวจปิโตรเลียมโดยปกติจะใช้วิธีการเจาะแบบหมุน โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายหลัก (water-base mud) คือ ช่วยพาเศษหินและดินขึ้นจากหลุมเจาะ ลดความเสียหายของผนังหลุมและชั้นหิน ควบคุมแรงดันกั้นหลุมและชั้นหิน ช่วยแยกของไหลออกจากชั้นหิน ระบายความร้อนและหล่อลื่นให้กับอุปกรณ์ขุดเจาะ ช่วยในการรับน้ำหนักของอุปกรณ์ขุดเจาะ เพิ่มอัตราการเจาะ และควบคุมการกัดกร่อนของโลหะ เป็นต้น การเติมสารเติมแต่งในน้ำโคลน (mud additives) เป็นการเพิ่มคุณสมบัติของน้ำโคลนตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ซึ่งจะใช้วิธีการเติมสารบางชนิดลงไปผสมกับน้ำโคลนที่มีส่วนผสมหลัก คือ แบไรต์ และเบนโทไนต์ และน้ำ ปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในขณะการขุดเจาะน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ คือ การสูญเสียน้ำโคลน (lost circulation) เข้าไปในชั้นหินในระหว่างการขุดเจาะ การเกิดผนังหลุมพัง การซึมผ่านชั้นหินของน้ำโคลนมากเกินไป การไม่นำพาเศษหินขึ้นมาปากหลุม เป็นต้น ซึ่งปัญหาเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาและมีผลกระทบต่อการทำงานขุดเจาะปิโตรเลียมโดยใช้น้ำเป็นส่วนผสมหลักของน้ำโคลน การแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการขุดเจาะจะมีการควบคุมคุณสมบัติตามสถานะของหลุมเจาะ ธรณีวิทยาและโครงสร้างธรณีวิทยา โดยการการเติมสารเติมแต่งแต่ละชนิดจะเติมตามคุณสมบัติที่ต้องการตามชนิดที่สารนั้นๆ เช่น วัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส มีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับสารเติมแต่งบางชนิดที่ใช้กับน้ำโคลนขุดเจาะ ยกตัวอย่างเช่น สารต่างๆ ดังต่อไปนี้

- สารเพิ่มความหนืด (viscosifiers) ได้แก่ สารโพลีไอออนิก เซลลูโลส (polyanionic cellulose) โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) โซเดียมคาร์บอกซิเมทิล เซลลูโลส (sodium carboxymethyl cellulose) ไฮดรอกซีเอทิล เซลลูโลส (hydroxyethyl cellulose)
- สารเติม Thinners and Dispersants ได้แก่ เทนินิน (tannins) ลิกไนต์ (lignite) และ โครม ลิกโกซัลโฟเนต (chrome ligosulfonates)

- สารลดการซึมผ่านของน้ำโคลน (filtration reducers) ได้แก่ ซีเอ็มซี (CMC, Carboxymethyl cellulose) ลิกไนต์ (lignite) โพลีไอออนิก เซลลูโลส (polyanionic cellulose) และโครมลิคโกซัลโฟเนต (chrome ligosulfonates)
- วัสดุช่วยลดการสูญเสียโคลน (lost circulation materials) ได้แก่ เส้นใย (fibrous) ไม้เลื่อย (sawdust) แกลบ ไมกา (mica) และไดอะโตไมคัส เอิร์ท (diatomaceous earth) เป็นต้น

### 1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

การวิจัยแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ตามแสดงในรูปที่ 2 โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอน ดังนี้

#### ขั้นตอนที่ 1 การค้นคว้าและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ค้นคว้าและศึกษาวารสาร รายงาน และสิ่งตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุประเภทลิกไนต์ เซลลูโลส และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว ชังข้าวโพด และชานอ้อย และน้ำโคลนที่ผสมสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับวัสดุประเภทลิกไนต์ เซลลูโลส รวมถึงการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรไปใช้ประโยชน์อุตสาหกรรมอื่นๆ เพื่อที่จะได้ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิจัย

#### ขั้นตอนที่ 2 การเก็บและจัดเตรียมตัวอย่างผงชานอ้อย ฟางข้าว และชังข้าวโพด

เตรียมตัวอย่างวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว ชังข้าวโพด มาจากจังหวัดชัยภูมิ และชานอ้อย จากจังหวัดนครราชสีมา โดยนำตัวอย่างฟางข้าว ชังข้าวโพด และชานอ้อย มาทำการอบไล่ความชื้น การบดด้วยเครื่องบด (Grinding Machine) และทำการคัดแยกขนาดด้วยเครื่องตระแกรงร่อน (Sieve machine) เพื่อให้ได้ผงตัวอย่างขนาด 200 เมช ซึ่งตัวอย่างที่ได้จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยส่วนหนึ่งนำไปทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและอีกส่วนนำไปผสมน้ำโคลนเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพต่อไป

### ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของผงขานอ้อย ฟางข้าว ชังข้าวโพด และน้ำโคลนผสมฟางข้าว ชังข้าวโพด และขานอ้อย

ทำการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่างโดยใช้เครื่องมือวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) การวิเคราะห์ชนิดและส่วนประกอบของแร่โดยใช้เครื่องมือเอกซเรย์ดิฟแฟกชัน (X-ray Diffraction, XRD) การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุหลักและธาตุรองโดยใช้เครื่องมือเรืองเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF) ในการทดสอบครั้งนี้จะทำการทดสอบทั้งน้ำโคลนและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว ชังข้าวโพด ขานอ้อย และน้ำโคลนผสมฟางข้าว ชังข้าวโพด และขานอ้อย ซึ่งการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่างเหล่านี้ จะทำการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีธรณีและห้องปฏิบัติการเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

### ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำโคลน และน้ำโคลนผงขานอ้อย ฟางข้าว และชังข้าวโพด

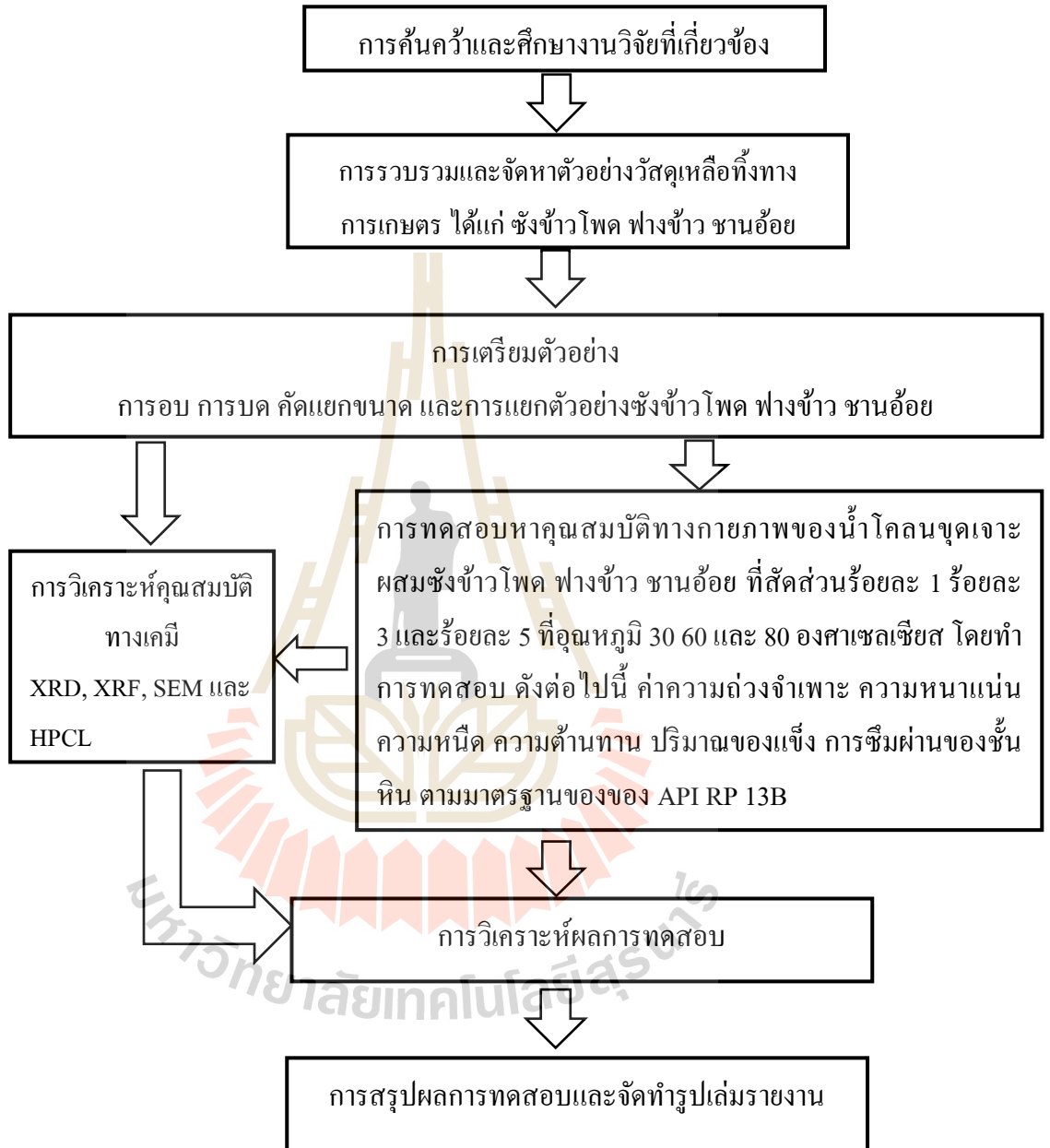
ทำการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น ความหนืด ความต้านทาน ปริมาณของแข็ง และการซึมผ่านของชั้นหิน ตามมาตรฐานของของ API RP 13B, 1976 และการตรวจสอบโครงสร้างของแร่ โดยใช้เครื่องมืออิเล็กตรอนไมโครสโคป (Scanning Electron Microscope, SEM) โดยทำการทดสอบทั้งตัวอย่างน้ำโคลน และน้ำโคลนผสมผงขานอ้อย ฟางข้าว และชังข้าวโพด ทำการทดสอบคุณสมบัติในตัวอย่างน้ำโคลนผสมผงตัวอย่างในช่วงอุณหภูมิ 30-80 องศาเซลเซียส และทำการทดสอบคุณสมบัติของน้ำโคลนที่มีอัตราส่วนของแบไรต์และเบนโทไนต์ กับวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสที่แตกต่างกัน คือร้อยละ 1 ร้อยละ 3 และร้อยละ 5 ซึ่งการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำโคลน ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 80 องศาเซลเซียส ได้ทำการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมปิโตรเลียมและเทคโนโลยีธรณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

### ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลและนำผลการทดสอบทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีมาทำการวิเคราะห์ผล

### ขั้นตอนที่ 6 สรุปผลการทดลอง

รวบรวมข้อมูลทั้งหมดเพื่อเขียนสรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่มรายงาน



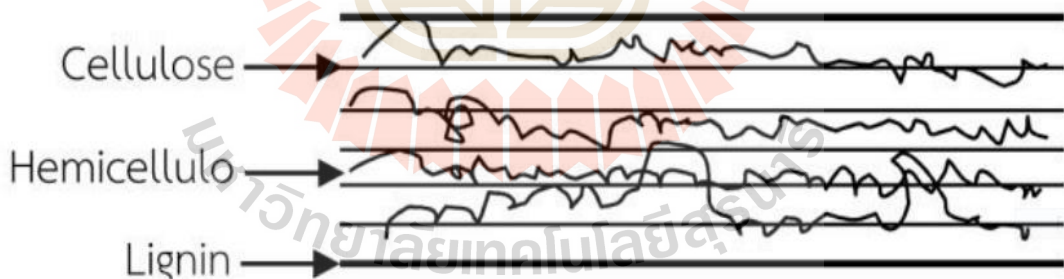
รูปที่ 1.1 แผนภูมิแสดงสรุปขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

## บทที่ 2

### การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 วัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic Materials)

Cheng (2009) ได้สรุปวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส ประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยเซลลูโลสเป็นสายโพลีแซคคาไรด์ของน้ำตาล D-glucose เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\beta$ -1,4 glycosidic ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสมากกว่า 10,000 หน่วย ส่วนเฮมิเซลลูโลสเป็นโพลีแซคคาไรด์ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิดเชื่อมต่อกันเป็นโซ่สาขา ได้แก่ น้ำตาลเฮกโซส (กลูโคส กาแลคโตส และแมนโนส) และน้ำตาลเพนโตส (ไซโลส และอะราบิโนส) สำหรับลิกนินเป็นสารอินทรีย์โพลีเมอร์ของฟีนิลโพรเพน (phenylpropane) มากกว่า 10,000 หน่วย และเป็นองค์ประกอบหลักในผนังเซลล์ของพืช ทำหน้าที่ห่อหุ้มเส้นใยของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเข้าด้วยกันซึ่งทนต่อการย่อยสลายมาก



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทั่วไปของลิกโนเซลลูโลส (Cheng, 2009)

เฮมิเซลลูโลส  $[C_5(H_2O)_4]_n$  หรือ  $[C_6(H_2O)_5]_n$  ประกอบด้วยพอลิแซคคาไรด์ที่มีความซับซ้อนเป็น โครงสร้างที่เหมือนกับเซลลูโลส เพราะว่ามีสายโซ่หลักต่อกันด้วยหน่วยของ 1,4-  $\beta$ -D-pyranosyl แต่ มี ระดับการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerization; DP) ต่ำกว่าเซลลูโลส คือ ประมาณ 50-300 มีโครงสร้างที่เป็นสายกิ่งมาก ขณะที่เซลลูโลสเป็น โฮโมพอลิเมอร์ (homopolymer) เส้นตรงซึ่งจะแตกต่างกันเล็กน้อยในแต่ละชนิด เฮมิเซลลูโลสเป็นเฮเทอโรพอลิ

แซ็กคาไรด์ (heteropolysaccharide) ไม่เป็นผลึก (non-crystalline) โดยธรรมชาติจะมีโครงสร้างเป็นแบบ amorphous ซึ่งพอลิแซ็กคาไรด์นี้เชื่อมกันด้วยแรงนอนโคเวเลนต์ (แรงของพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์ เป็นต้น) กับเซลลูโลส พอลิแซ็กคาไรด์ของผนังเซลล์พืชที่สกัดด้วยด่างเจือจาง พอลิแซ็กคาไรด์ในเฮมิเซลลูโลส ประกอบด้วย 2 ชนิด คือ  $\beta$ -(1,4)-xylan เป็นแกนหลัก และกาแล็กโทกลูโคแมนแนน ซึ่ง 2 ส่วนนี้มีความสามารถในการละลายใน ด่างเจือจาง (KOH) แต่กลูโคแมนแนนซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของเฮมิเซลลูโลสในไม้เนื้ออ่อน ไม่ละลายในสภาวะนี้ และยังคงจับอยู่กับเส้นใยเซลลูโลส

ลิกนิน ( $C_{10}H_{12}O_4$ )<sub>n</sub> พบในผนังเซลล์พืชชั้นสูง (ทั้งพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและพืชใบเลี้ยงคู่) เฟิร์น และมอส มีปริมาณมากในส่วนของเนื้อเยื่อบริเวณท่อลำเลียง โดยเฉพาะส่วนที่มีการลำเลียงของเหลว ลิกนินไม่พบในมอส ไลเคนส์ และสาหร่าย ซึ่งไม่มีเทรคีด (tracheids) ลิกนินทำให้เนื้อเยื่อไม่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นโดยกระบวนการลิกนิฟิเคชัน (lignifications) พบในต้นไม้ใหญ่ที่สูงหลายร้อยฟุต ซึ่งกระบวนการลิกนิฟิเคชัน คือกระบวนการเจริญเพิ่มจำนวนลิกนินเพื่อเติมเต็มช่องว่างระหว่างเส้นใยเซลลูโลสและสายเฮมิเซลลูโลสของผนังเซลล์พืช ลิกนินเป็นสาร อะโรมาติกโพลีเมอร์ (aromatic polymer) ที่มีมากที่สุดบนพื้นโลก มีโมเลกุลที่ซับซ้อนมากรูปร่างเป็น amorphous

## 2.2 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2557) ได้รายงานถึงสถิติชนิดของพืชเศรษฐกิจที่สำคัญที่ปลูกในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2557 ดังต่อไปนี้

### 2.2.1 ชังข้าวโพด (Corn Cob)

ชังข้าวโพด คือ ส่วนที่เหลือจากการกะเทาะเอาเมล็ดข้าวโพดออก ข้าวโพดถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทยซึ่งมีการปลูกกันอย่างแพร่หลายในทุกภูมิภาคของประเทศ เช่น เพชรบูรณ์ ลพบุรี นครสวรรค์ สระบุรี พิษณุโลก พิจิตร สุโขทัย ปราจีนบุรี แพร่ น่าน เชียงราย และเชียงใหม่ นครราชสีมา ศรีสะเกษ อุบลราชธานี ขอนแก่น ชัยภูมิ สงขลา สุราษฎร์ธานี และ นครศรีธรรมราช จากสถิติทางการเกษตร เมื่อปี พ.ศ. 2557 โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ประเทศไทยมีผลผลิตข้าวโพดรวมประมาณ 5.09 ล้านตัน (ตารางที่



1) จากพื้นที่ เพาะปลูก รวมทั้งหมดประมาณ 7.4 ล้านไร่ จากรายงานเกี่ยวกับผลการศึกษการประเมินศักยภาพพลังงานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร พบว่า ปริมาณซังข้าวโพดทั่วประเทศโดยประมาณคือ 1.39 ล้านตันต่อปี ซึ่งนับได้ว่าเป็นปริมาณมหาศาล หากมีปริมาณขยะเกษตรกรบางรายก็จะกำจัดโดยการเผา ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและเร็ว แต่ผลเสียคือทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศจำนวนไม่น้อย ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดภาวะโลกร้อนหรือเกิดภาวะเรือนกระจก

**ตารางที่ 2.1** สถิติการผลิตข้าวโพดของประเทศไทย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2557)

รายการ	2554	2555	2556	2557	+/- (%) 2556/57
การผลิต (ล้านตัน)	5.02	4.94	50.6	1.59	0.59
พื้นที่เพาะปลูก (ล้านไร่)	7.40	7.53	7.54	7.40	-1.86
ผลผลิตเฉลี่ย (กก/ไร่)	673	657	671	676	0.74
การใช้ (ล้านตัน)	4.36	4.67	4.78	4.90	2.51
สต็อก	0.55	0.50	0.36	-	-

### 2.2.2 ฟางข้าว (Rice straw)

การสำรวจข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษพบว่าประเทศไทยมี ปริมาณฟางข้าวที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวสูงถึงประมาณ 50 ล้านตัน เนื่องจากการทำนาปรังปี ละ 2 -3 ครั้ง แม้ว่าจะนำฟางข้าวมาทำเป็นปุ๋ย หลังคา อาหารสัตว์ และเส้นใยในอุตสาหกรรมกระดาษ ก็ยังมีฟางข้าวเหลือใช้อีกจำนวนมาก ดังนั้นหากสามารถเพิ่มมูลค่าจากการใช้ประโยชน์ ของฟางข้าวได้ จะสร้างรายได้ ให้กับเกษตรกรอีกทางหนึ่ง ฟางข้าว ประกอบด้วยเคมีอินทรีย์ หลักๆ ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) ประมาณร้อยละ 37 เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) ประมาณร้อยละ 24 และลิกนิน (lignin) ประมาณร้อยละ 14 และส่วนอื่นๆ ได้แก่ สารสกัดและเถ้า ประมาณ 25% (Matthew, 2000) โดยเซลลูโลสทำหน้าที่เป็นส่วนของโครงสร้าง เฮมิเซลลูโลสทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ แทรกอยู่ระหว่างไมโครไฟบริลของเซลลูโลส (cellulose microfibrils) ส่วนลิกนินเป็นส่วนเปลือกด้านนอกมี ทำหน้าที่ รวมมัดของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเข้าด้วยกัน หากมีสัดส่วนของเซลลูโลสมากจะทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงมาก ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ แบบอสัณฐาน (amorphous)

ฟางข้าวเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอลที่ผลิตจากเซลลูโลส (cellulosic ethanol) เนื่องจากองค์ประกอบของฟางข้าวประกอบด้วย ลิกโนเซลลูโลส (lignocellulosic material) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ ประเภทคาร์โบไฮเดรต ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์ พืชที่เกิดขึ้นจากหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวหรือพอลิเมอร์ ของน้ำตาลกลูโคส ดังนั้นเอทานอลที่ผลิตจากเซลลูโลสจากฟางข้าวจึงมี คุณสมบัติ และลักษณะทางเคมี เช่นเดียวกับเอทานอลที่ผลิตจากวัตถุดิบประเภทน้ำตาลและแป้ง

### 2.2.3 ชานอ้อย (Bagasses)

อ้อยเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ผลิตน้ำตาลทรายในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลทราย ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายจะเริ่มตั้งแต่ น้ำอ้อยเข้าชั่งน้ำหนัก แล้วเทลงสะพานอ้อยเพื่อนำสู่มัดตัดและเครื่องตีอ้อยให้เป็นฝอยต่อจากนั้นจึงนำอ้อยมาหีบเพื่อสกัดเอาน้ำอ้อยออกมา ส่วนที่เหลือจากการสกัดน้ำอ้อยในขั้นตอนนี้ เรียกว่า ชานอ้อย ซึ่งชานอ้อยเป็นส่วนเส้นใยของลำต้นที่ทำการบีบคั้นน้ำออกไปแล้ว จะประกอบไปด้วยความชื้น (moisture) ร้อยละ 46-52 เส้นใย (fiber) ร้อยละ 43-52 และของแข็งที่ละลายได้ (brix) ร้อยละ 2-6 (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาการผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, 2541) ชานอ้อยมีส่วนประกอบของ lignocellulosic materials มีการสะสมของลิกนิน (lignin) และเซลลูโลส (cellulose) ที่อยู่ในรูปของผลึก (crystalline cellulose) ส่วนของเยื่อใยของชานอ้อยส่วนใหญ่จะประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) ประมาณร้อยละ 47 เพนโทเฟน (pentophan) ประมาณร้อยละ 25.1 และลิกนิน (lignin) ประมาณร้อยละ 19.5 ส่วนของเซลลูโลสจะเป็นโพลิเมอร์ (polymer) ของ เบต้า กลูโคส ( $\beta$ -Glucose) ต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1-4 ไกลโคซิดิก ( $\beta$ , 1-4, Glycosidic bond) สูตรโครงสร้าง  $(C_6H_{10}O_5)_n$  ซึ่งจะพบอยู่ร่วมกับเพนโทเฟน และลิกนิน

การใช้ประโยชน์ของชานอ้อย สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายส่วน เช่น

- ใช้เป็นเชื้อเพลิง สำหรับผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้า
- ใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง
- ผลิตวัสดุก่อสร้างโดยอาศัยกาก เช่น ไม้อัดผิวเส้นใย และแผ่นฉนวนกันความร้อน
- ใช้ผลิตเยื่อกระดาษ (Pulp)
- ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล
- ใช้ทำปุ๋ยหมักและวัตถุดิบดิน

- การสังเคราะห์สาร ซีเอ็มซี (Carboxymethylcellulose; CMC) ซึ่งทำได้โดยการนำเซลลูโลสมาทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดอะมิโนคลอโรแอซิดิก สารซีเอ็มซี ที่สังเคราะห์ได้จากซานอ้อยมีคุณสมบัติคือเป็นสารที่เพิ่มความหนืดและช่วยในการยึดเกาะและละลายได้ในน้ำที่สามารถใช้เป็นส่วนผสมในน้ำโคลนได้

### 2.3 วัสดุที่ใช้เป็นสารเติมแต่งในน้ำโคลนขุดเจาะ

การลดปัญหาการขุดเจาะและปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำโคลนขุดเจาะที่สถานะของหลุมเจาะที่แตกต่างกัน สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของน้ำโคลนขุดเจาะโดยการเติมสารแต่งเติม (mud additives) ซึ่งการเติมสารแต่งเติมในน้ำโคลนมาตรฐานขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานของน้ำโคลนที่สถานะต่างๆ ซึ่งจะใช้วิธีการเติมสารบางชนิดลงไปผสมกับน้ำโคลน ได้แก่ แบไรต์ และเบนโทไนต์ และน้ำ ซึ่งการเพิ่มสารตัวเติมแต่ละชนิดจะเติมตามคุณสมบัติตามที่ต้องการตามชนิดที่สารนั้นๆ เช่น วัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส มีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับสารเติมแต่งบางชนิดที่ใช้กับน้ำโคลนขุดเจาะ ยกตัวอย่างเช่นสารต่างๆ ดังต่อไปนี้

- สารเพิ่มความหนืด (viscosifiers) ได้แก่ สารโพลีไอออนิก เซลลูโลส (polyanionic cellulose) โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) โซเดียมคาร์บอกซิเมทิล เซลลูโลส (sodium carboxymethyl cellulose) ไฮดรอกซีเอทิล เซลลูโลส (hydroxyethyl cellulose)
- สารเพิ่ม Thinners and Dispersants ได้แก่ เทนนิน (tannins) ลิกไนต์ (lignite) และโครมลิคโกซัลโฟเนต (chrome lignosulfonates)
- สารลดการซึมผ่านของน้ำโคลน (filtration reducers) ได้แก่ ซีเอ็มซี (CMC, Carboxymethyl cellulose) ลิกไนต์ (lignite) โพลีไอออนิก เซลลูโลส (polyanionic cellulose) และโครมลิคโกซัลโฟเนต (chrome lignosulfonates)
- วัสดุช่วยลดการสูญเสียน้ำโคลน (lost circulation materials) ได้แก่ เส้นใย (fibrous) ขี้เลื่อย (sawdust) แกลบ ไมกา (mica) และไดอะตอมแมคคัส เอิร์ธ (diatomaceous earth) เป็นต้น

### 2.4 การวิเคราะห์ทางเคมี

เครื่องมือวิเคราะห์ High Performance Liquid Chromatography, HPLC เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ระเหย (non-volatile organic compounds)

หรือ กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่สามารถระเหยได้ปานกลาง (semi-volatile organic compounds) โดยตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง HPLC นี้จะต้องพิจารณาถึงความสามารถในการละลายของสารที่ต้องการวิเคราะห์กับตัวทำละลายอินทรีย์ผสมที่ใช้ก่อน กระบวนการแยกสารประกอบที่สนใจจะเกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส คือ เฟสอยู่กับที่ (column) กับเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) จะถูกแยกออกมาในเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งสารผสมที่อยู่ในตัวอย่างสามารถถูกแยกออกจากกันได้นั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการเข้ากันได้ดีของสารนั้นกับเฟสที่เคลื่อนที่ หรือเฟสที่อยู่กับที่สารประกอบตัวไหนที่สามารถเข้ากันได้ดีกับเฟสที่เคลื่อนที่ สารนั้นก็就会被แยกออกมาก่อน ส่วนสารที่เข้ากันได้ไม่ดีกับ เฟสที่เคลื่อนที่หรือเข้ากันได้ดีกับเฟสอยู่กับที่ก็จะถูกแยกออกมาทีหลัง โดยสารที่ถูกแยกออกมาได้นี้จะถูกตรวจวัดสัญญาณด้วยตัวตรวจวัดสัญญาณที่บันทึกได้จากตัวตรวจวัดจะมีลักษณะเป็นพีค ซึ่งเรียกว่า โครมาโตแกรม

การวิเคราะห์ส่วนประกอบของน้ำโคลนผสมวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ การวิเคราะห์ชนิดของแร่ดินเหนียวโดยวิธี XRD การหาปริมาณธาตุองค์ประกอบโดยวิธี XRF และการศึกษาโครงสร้างของแร่โดยวิธี SEM เป็นต้น

## 2.5 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

เอก ลิปิสวัสดิ์ (2553) ได้สรุปคุณสมบัติของน้ำโคลนและสารตัวเติมเพื่อลดปัญหาการขุดเจาะ โดยการเติมสารแต่งเติม (Mud additives) เป็นการเพิ่มคุณสมบัติของน้ำโคลนตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ซึ่งจะใช้วิธีการเติมสารบางชนิดลงไปผสมกับน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของแร่ดินเหนียว ได้แก่ แบไรต์ และเบนโทไนต์ และน้ำ ซึ่งการเพิ่มสารตัวเติมแต่ละชนิดจะเติมตามคุณสมบัติตามที่ต้องการตามชนิดที่สารนั้นๆ กำหนดไว้ดังนี้

- สารเพิ่มน้ำหนักของวัสดุ (Weight materials) ได้แก่ แบไรต์ (Barite, BaSO<sub>4</sub>) แคลเซียมคลอไรด์ เหล็กออกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนต และสารประกอบเหล็ก (Lead compounds) เช่น กาลีนา ลีดซัลไฟด์
- สารเพิ่มความหนืด (Viscosifiers) ได้แก่ เบนโทไนต์ (Bentonite) โพลีไอออนิก เซลลูโลส (Polyanionic cellulose) โพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) โซเดียมคาร์บอกซิเมทิล เซลลูโลส (Sodium carboxymethyl cellulose) ไฮดรอกซีเอทิล เซลลูโลส (Hydroxyethyl cellulose)
- สารเพิ่มความเป็นด่าง (Alkalinity) และการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH control) ได้แก่ โซดาไฟ (Caustic soda) ปูนขาว (Lime, calcium hydroxide)

- แบคกิ้ง โซดา (Soda bicarbonate) ฟอสเฟต (Phosphates) และ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide or caustic potash)
- สารเพิ่ม Thinners and Dispersants ได้แก่ เทนินิน (Tannins) ลิกไนต์ (Lignite) และ โครมลิคโกซัลโฟเนต (Chrome Ligosulfonates)
  - สารลดการซึมผ่านของน้ำโคลน (Filtration reducers) ได้แก่ ซีเอ็มซี (CMC, Carboxymethyl cellulose) ลิกไนต์ (Lignite) (Bentonite) โพลีไอออนิกเซลลูโลส (Polyanionic cellulose) และ โครมลิคโกซัลโฟเนต (Chrome Ligosulfonates)
  - การลดการสูญเสียโคลน (Lost circulation materials) ได้แก่ เส้นใย (Fibrous) ขี้เลื่อย (sawdust) แกลบ ไมกา (Mica) และไดอะโตแมคีสเอิร์ท (Diatomaceous earth)
  - สารลดการกัดกร่อน (Corrosion inhibitors) ได้แก่ ซิงค์คาร์บอเนต (Zinc carbonates) โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfates) และโซดาไฟ
  - Flocculates ได้แก่ โพลีอะคริลาไมน์ (Poly acylimine) และ เบนโทไนต์ เอทเทนเดอร์ (Bentonite extenders)
  - สารลดแรงตึงผิว (Surfactants) ได้แก่ ผงซักฟอก (Detergent) และ Amine and sulfonates
  - สารลดการบวมของหินดินดาน (Shale inhibitors) ได้แก่ เกลือแกง (Sodium chloride) โปแตสเซียมลิกไนต์ (Potassium lignite) โปแตสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride) และแอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium sulfate) เป็นต้น
  - สารหล่อลื่น (Lubricants) ได้แก่ แกรไฟต์ (Graphite) และสารหล่อลื่นสังเคราะห์ (Synthetic lubricants)

Jacob and Bari-Agara (2014) ได้ศึกษาคุณสมบัติของน้ำโคลนที่ผสมด้วยเซลลูโลสจากชังข้าวโพด โดยการเปรียบเทียบกับสาร โพลีแอนไอออนิกเซลลูโลส (Polyanionic Cellulose; PAC) จากผลการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความหนาแน่น ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำโคลนที่ผสมด้วยเซลลูโลสจากชังข้าวโพดมีค่าสูงกว่าน้ำโคลนมาตรฐาน แต่ค่ากระแสวิทยาของไหลมีค่าต่ำกว่าน้ำโคลนมาตรฐาน นอกจากนี้ น้ำโคลนที่ผสมด้วยเซลลูโลสจากชังข้าวโพดช่วยลดการสูญเสียของไหลในน้ำโคลนที่ใช้น้ำเป็นส่วนผสมหลัก ใช้เป็นสารช่วยควบคุมการสูญเสียโคลนได้ดี มีค่าอยู่ระหว่าง 5.2 -5.8 ml แต่มีค่าต่ำกว่า PAC ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.6 ml

Ahmed-Haras et al., (2013) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงวิทยากระแสสำหรับน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมด้วยลิกนินชนิด Lignin Graft Copolymer (LGC) ที่สกัดจากของเปลือกของผลปาล์ม จากการศึกษาพบว่า LGC สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของเจล ความหนืด และความเป็นกรด-ด่าง ที่ความเข้มข้นเพียงเล็กน้อย ประมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักของ LGC และยังสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 200 °C

Liang and Ibrahim, (2013) ได้ทำการศึกษาการคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมด้วยลิกนินชนิด Lignin Graft Copolymer (LGC) ที่สกัดจากของเปลือกของผลปาล์ม โดยทำการทดสอบลักษณะของ LGC ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy และ and Differential Scanning Calorimetry (DSC) ในการทดสอบได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการซึมผ่านของน้ำโคลนที่ผสมด้วย LGC และน้ำโคลนที่ผสมสารเติมแต่งชนิด Ressinex II ที่ใช้ในอุตสาหกรรมขุดเจาะปิโตรเลียม การศึกษาพบว่าปริมาณของ LGC และ Ressinex II ที่ร้อยละ 0.7 ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการสูญเสียหน้าโคลนได้ดี และน้ำโคลนที่ผสมด้วย LGC และ Ressinex II สามารถใช้ในการขุดเจาะที่อุณหภูมิสูงถึง 190 °C

Anawe et al., (2014) ได้ทำการศึกษาผลของฟางข้าวและขี้เถ้าต่อคุณสมบัติของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมน้ำมันเป็นหลักตามสถานะอุณหภูมิที่แตกต่างกัน จากการทดสอบพบว่าฟางข้าวผสมน้ำโคลน ที่เพิ่มความเข้มข้นของฟางข้าวจาก 5 g เป็น 25 g ทำให้มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จาก 9.5 ppg เป็น 10 ppg และความหนืดที่ปรากฏของน้ำโคลนเพิ่มขึ้นจาก 55 cP เป็น 115 cP แต่ความหนืดที่ปรากฏของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมฟางข้าว 5 g จะมีแนวโน้มลดลงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งมีค่า 55 cP ที่ 60 °C เป็น 37.5 cP ที่อุณหภูมิ 100 °C

Okon et al., (2014) ได้ทำการทดสอบเพื่อประเมินน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมน้ำเป็นหลักโดยผสมฟางข้าว เพื่อประเมินคุณสมบัติทางการควบคุมการสูญเสียของไหลของน้ำโคลน โดยการทดลองได้มีการเปรียบเทียบคุณสมบัติของฟางข้าวและสารเติมแต่งที่ใช้ในอุตสาหกรรมขุดเจาะ ได้แก่ Sodium Carboxymethyl Cellulose (CMC) และ Polyanionic Cellulose (PAC) จากการทดสอบพบว่าน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมฟางข้าว 20 g ต่อน้ำโคลน 350 ml ทำให้การสูญเสียของไหลลดลง 64.89% เมื่อเปรียบเทียบกับ CMC และ PAC ที่ความเข้มข้น 10 g ต่อน้ำโคลน 350 ml โดยมีค่าการลดลงของการสูญเสียของไหล อยู่ที่ 62.77% และ 59.57% ตามลำดับ นอกจากนั้นฟางข้าวยังทำให้ความหนาของผนังโคลนลดลง 3.03% เมื่อเทียบกับความหนาผนังโคลนของ CMC และ PAC ที่มีค่าเท่ากับ 8.57% ดังนั้นฟางข้าวเป็นวัสดุที่สามารถควบคุมการสูญเสียของไหลของน้ำโคลนได้ดี

สามารถที่จะพัฒนาเป็นสารเติมแต่งในน้ำโคลน และสามารถใช้ได้ในการขุดเจาะระดับลึก ใช้ทดแทนสาร CMC และ PAC ได้

SIPE (2003) ได้สรุปประเภทและข้อดีของน้ำโคลนขุดเจาะประเภทต่างๆ (ตารางที่ 2.2) และสรุปหน้าที่และคุณสมบัติของน้ำโคลนสำหรับขุดเจาะน้ำมัน (ตารางที่ 2.3) ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 ประเภทและข้อดีของน้ำโคลนขุดเจาะประเภทต่างๆ

Drilling mud type	Advantages of using drilling mud	General properties
Prehydrated bentonite ผสมกับน้ำ	<ul style="list-style-type: none"> <li>-เพิ่มค่าความหนืด และลดปริมาณของแข็ง</li> <li>-ควบคุมการสูญเสียโคลน</li> <li>-Mud cake มีความบางและแข็งแกร่ง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-เติม Bentonite 75-100 kg/m<sup>3</sup></li> <li>-ทำการ hydrate ประมาณ 8-10 ชั่วโมง</li> <li>-ปรับค่า pH=9 โดยเติม โซดาไฟ (Caustic soda)</li> </ul>
Spud mud	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ทำความสะอาดหลุม</li> <li>- เพิ่มความหนืด</li> <li>- เพิ่มอัตราการเจาะ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เติม Bentonite 40-60 kg/m<sup>3</sup> ในน้ำจืด</li> <li>- ปรับค่า pH = 9-10 โดยเติม โซดาไฟ (Caustic soda)</li> <li>- บางครั้งเติม CMC-HV polymer เพื่อเพิ่มความหนืด ±20 cP</li> <li>- Fluid loss ±30 ml API</li> </ul>
Bentonite หรือ Lignosulphonate	<ul style="list-style-type: none"> <li>-เติม Bentonite เพื่อเพิ่ม Yield point และ gel strength</li> <li>-เติม Lignosulphonate เพื่อลดการสูญเสียโคลนและลด Yield point และ gel strength</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ความหนาแน่น &lt;1.2 kg/l</li> <li>- ความหนืด (Plastic viscosity, PV) ±20 cP</li> <li>- Yield point (YP) 8-12 lb/100 ft<sup>2</sup></li> <li>- Gels 2/4 cP</li> <li>- pH 9.5-10.5</li> </ul>
Gypsum หรือ Lignosulphonate	<ul style="list-style-type: none"> <li>-เติม Gypsum เพื่อเจาะในชั้นดินเหนียว ป้องกันการบวมของชั้นดินดาน หรือการละลายของชั้นเกลือ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ความหนาแน่น &lt;1.3 kg/l</li> <li>- PV ±20 cP</li> <li>- YP 10-15 lb/100 ft<sup>2</sup></li> <li>- Gels 8/12 cP</li> </ul>
Gypsum หรือ Lignosulphonate	<ul style="list-style-type: none"> <li>-เติม Lignosulphonate เพื่อลดการสูญเสียโคลนและลด Yield point และ gel strength และลดความหนืด</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pH 9.5-10.5</li> <li>- Ca<sup>++</sup> 600-1200 ppm</li> </ul>
Salt drilling mud	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้น้ำโคลนเจาะในชั้นเกลือ</li> <li>- เกลือมีคุณสมบัติเป็นพลาสติก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เติม แป้ง (Starch) ทดแทน โพลีเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic polymers)</li> </ul>

ตารางที่ 2.3 หน้าที่และคุณสมบัติของน้ำโคลนขุดเจาะและสารเติมแต่งชนิดต่างๆ

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)
อุ้มเศษหิน (Cuttings)	Plastic viscosity	- เพิ่มความหนืดของน้ำโคลน - ลดอัตราการขุดเจาะ	- ลดโดยการเติมน้ำ (แล้วตรวจสอบความหนาแน่นหรือทินเนอร์ (Thinner))
	Yield point	- เพิ่ม yield point และ gel strength - ลดอัตราการขุดเจาะ	- เพิ่มโดยการเติม Bentonite หรือ XC-polymer - ลดการเจือจาง (dilution)
	Gel strength		- ลดโดยการเติมทินเนอร์ (Thinner) - เพิ่มโดยการเติมน้ำ
ป้องกันและช่วยพยุงผนังหลุมเจาะโดย Mud cake ซึ่งช่วยลดการเปื้อนของชั้นหิน	Fluid loss	- ลดการสูญเสียน้ำโคลน - ลดอัตราการเจาะเล็กน้อย	- ลดโดยการเติม CMC หรือ แป้ง (Starch) - เพิ่มโดยการเติมน้ำ
	Solid content	- เพิ่ม Solid content - ลดอัตราการขุดเจาะ	- พยายามลดค่าต่างๆถ้าเป็นไปได้ โดยการกำจัด ดินเหนียว ทรายแป้ง ทราย และเศษหินที่ไม่ต้องการออกไป

#### มาตรฐานการทดสอบน้ำโคลนตามมาตรฐาน API (API Recommended Practice, 1997)

สถาบันปิโตรเลียมของสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดข้อปฏิบัติเกี่ยวกับมาตรฐานในการทดสอบด้านต่างๆ ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม หนึ่งในนั้นคือมาตรฐาน API RP13B, “Recommended Practice Standard Procedure for Field Testing Water-Based Drilling Fluids” ซึ่งเป็นหลักปฏิบัติในการทดสอบน้ำโคลนที่ใช้น้ำเป็นส่วนผสม (Water-based mud) ซึ่งจะมีข้อปฏิบัติเพื่อทดสอบคุณสมบัติต่างๆของน้ำโคลน (API Recommended Practice, 1997) โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา 3 ส่วนด้วยกัน คือ



### 1) การทดสอบคุณสมบัติด้านวิทยากระแส

การทดสอบคุณสมบัติด้านวิทยากระแสก็เพื่อวัดค่าความหนืด (viscosity) และค่าความแข็งแรงของเจล (gel strength) ซึ่งมีผลต่อการไหลของน้ำโคลนเจาะ โดยใช้ข้ออธิบายการต้านทานการไหลและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของของไหล คุณสมบัติด้านวิทยากระแสจะมีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของน้ำโคลนจากก้นหลุมเจาะและการนำเศษหินจากก้นหลุมเจาะขึ้นมาสู่ผิวดิน รวมถึงการแขวนลอยเศษหินเมื่อในช่วงการหยุดเจาะ

การคำนวณเกี่ยวกับคุณสมบัติด้านวิทยากระแส ในส่วนนี้จึงนำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติพื้นฐานของน้ำโคลนขุดเจาะและการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับการไหลของของไหล ค่าตัวแปรของน้ำโคลนขุดเจาะสามารถอธิบายโดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือน (shear stress,  $\tau$ ) และอัตราแรงเฉือน (shear rate,  $\gamma$ ) โดยทำการคำนวณจากค่าที่ทำการวัดได้จากเครื่องวัดความหนืด โดยสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\tau = 0.01066 \times \varphi_i \times N \quad (2.1)$$

$$\gamma = 1.703 \times \text{RPM} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $\tau$  = แรงเฉือน (shear stress) ; lbf/ft<sup>2</sup>,  $\gamma$  = อัตราแรงเฉือน (shear rate) ; sec<sup>-1</sup>,  $\varphi_i$  = ค่าที่อ่านได้ที่เครื่องวัดความหนืดที่รอบความเร็วที่สังเกต (viscometer dial reading), N = ค่าคงที่สปริงของเครื่องวัดความหนืด และ RPM = ความเร็วรอบ (rotational speed)

ความหนืดปรากฏ (apparent viscosity) เป็นค่าความหนืดที่วัดจากการอ่านค่าจากเครื่องวัดความหนืดที่อัตราแรงเฉือนของน้ำโคลนตามมาตรฐาน API โดยความหนืดมีหน่วยเป็นเซนติพอยส์ (cP) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านทานการไหลของของไหล เมื่อมีแรงมากระทำ โดยค่าความหนืดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3

ความหนืดพลาสติก (plastic viscosity) เป็นการวัดค่าความหนืดของของไหลเมื่อให้แรงกระทำเกินจุดคราก (yield point) ไปแล้ว ปัจจัยที่ผลต่อค่าความหนืดพลาสติกคือแรงเสียดทานเชิงกล (mechanical friction) ที่เกิดขึ้นอันได้แก่แรงเสียดทานระหว่างของแข็งในน้ำโคลน แรงเสียดทานระหว่างของแข็งและของเหลวในน้ำโคลน และแรงเสียดทานระหว่างของเหลวด้วยกันเอง จะเห็นได้ว่าค่าความหนืดพลาสติกนั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของของแข็งที่แขวนลอยในน้ำโคลน ความหนืดพลาสติกสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4

จุดคราก (yield point) เป็นอีกตัวแปรหนึ่งซึ่งแสดงถึงการต้านทานการไหลของของไหลของน้ำโคลน เป็นการวัดค่าแรงดึงดูดระหว่างมวลที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าเคมี (electro-chemical attractive forces) ของของไหลภายใต้สภาวะการไหล แรงดังกล่าวเป็นผลให้เกิดประจุลบเคลื่อนที่มาบริเวณพื้นผิวของอนุภาค โดยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติพื้นผิวของของแข็งในน้ำโคลน ปริมาณความ

เข้มข้นของของแข็ง และสภาพแวดล้อมที่เป็นกระแสไฟฟ้าเคมีของไอออนที่ปรากฏ ซึ่งค่าจตุรภาคอาจควบคุมได้โดยใช้สารเคมีเติมแต่ง (chemical additives) การควบคุมค่าจตุรภาคก็เพื่อรักษาค่าความหนืดของน้ำโคลนให้เหมาะสมสำหรับการเจาะนั่นเอง ค่าจตุรภาคสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.5

ความแข็งแรงของเจล (gel strength) เป็นการวัดคุณสมบัติโซโทรปิก (Thixotropic) ของน้ำโคลนเจาะภายใต้สภาวะสถิต (static condition) ซึ่งจะคล้ายคลึงกับจตุรภาค โดยค่าความแข็งแรงของเจลจะเป็นการวัดค่าแรงดึงดูดระหว่างมวลที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าเคมีระหว่างอนุภาคของแข็งค่าจตุรภาคและความแข็งแรงของเจลเป็นผลมาจากการจับตัวกันของอนุภาค (flocculation) ของของไหลที่มีคุณสมบัติโซโทรปิก ค่าความแข็งแรงของเจลวัดได้โดยเครื่องวัดความหนืดที่ความเร็วรอบ 3 รอบต่อนาที น้ำโคลนตัวอย่างจะถูกตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 10 วินาที และ 10 นาทีซึ่งจะถูกเรียกว่าค่าความแข็งแรงของเจลเริ่มต้น (Initial gel strength) และค่าความแข็งแรงของเจล ที่เวลา 10 นาที (10 Minutes gel strength) ตามลำดับ โดยอ่านค่าสูงสุดที่วัดได้ที่ความเร็วรอบ 3 รอบต่อนาที ค่าความแข็งแรงของเจล มีหน่วยเป็น lb/100 ft<sup>2</sup> (MI SWACO, 1998)

ค่าความหนืดปรากฏ ความหนืดพลาสติก และจตุรภาค ถูกคำนวณจากค่าที่อ่านจากเครื่องวัดความหนืดที่ความเร็วรอบ 300 และ 600 รอบต่อนาที โดยใช้สมการจาก API ดังนี้

$$\mu_a = \phi_{600} / 2 \quad (2.3)$$

$$\mu_p = \phi_{600} - \phi_{300} \quad (2.4)$$

$$\gamma_p = \phi_{300} - \mu_p \quad (2.5)$$

เมื่อ  $\mu_a$  = ค่าความหนืดปรากฏ ;  $\mu_p$  = ความหนืดพลาสติก ;  $\gamma_p$  = จตุรภาค ;  
lb/100 ft<sup>2</sup>

ค่าตัวแปรจากแบบจำลองพาวเวอร์ลอว์ (Power Law model) คือ ดัชนีพฤติกรรมการไหล (Flow behavior index, n) ดัชนีระดับความเข้มข้นของของไหล (Fluid consistency index, k) ค่าที่อ่านได้ที่เครื่องวัดความหนืดที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ( $\phi_{600}$ ) และค่าที่อ่านได้ที่เครื่องวัดความหนืดที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที ( $\phi_{300}$ ) สามารถคำนวณได้ตามสมการ (2.6) และ (2.7)

$$n = 3.322 \log (\phi_{600} / \phi_{300}) \quad (2.6)$$

$$k = 510\phi_{300} / 511n \quad (2.7)$$

## 2) การทดสอบคุณสมบัติการซึมผ่าน

การทดสอบคุณสมบัติการซึมผ่าน (filtration tests) ก็เพื่อจำลองการซึมผ่านของของไหลของน้ำโคลน และเพื่อวัดการสูญเสียในน้ำโคลนไปสู่ชั้นหินที่มีความซึมผ่านสูง ภายใต้สภาพของความดันภายในหลุมเจาะ (hydrostatic pressure) ที่มีค่ามากกว่าความดันจากชั้นหินใต้ดินที่ทา

การเจาะผ่าน การซึมผ่านของของไหลแบ่งออกเป็นสองประเภทคือ 1) เมื่อน้ำโคลนเจาะไม่มีการหมุนเวียน (static filtration) และไม่มีการรบกวนการเกิดชั้นผนังโคลนที่มีความซึมผ่านต่ำ (mud cake) และ 2) เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำโคลนเจาะ (dynamic filtration) และการเกิดชั้นผนังโคลนถูกรบกวนเนื่องจากการไหลของน้ำโคลน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบแบบกรณีน้ำโคลนเจาะไม่มีการหมุนเวียน (static filtration) เพื่อวัดคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำในน้ำโคลนเจาะตัวอย่างตามมาตรฐานของ API โดยใช้เครื่องมือการทดสอบคุณสมบัติการซึมผ่านตามมาตรฐาน

### 3) การทดสอบความเป็นกรด-ด่าง

การทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ก็เพื่อหาความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนของน้ำโคลนเจาะ เนื่องจากสภาพความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำโคลนเจ้านั้นจะมีผลต่อการกัดกร่อนอุปกรณ์ต่างๆ ภายในหลุมเจาะ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการควบคุมความเป็นกรด-ด่างของน้ำโคลนตามมาตรฐาน API

## บทที่ 3

### การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

#### 3.1 วัตถุประสงค์

เนื้อหาในบทนี้อธิบายถึงขั้นตอน วิธีการ ข้อปฏิบัติ โดยมีขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง การจัดเตรียมตัวอย่างน้ำโคลนจุดเจาะที่ผสมผงชานอ้อย ฟางข้าว และซังข้าวโพด เป็นสารเติมแต่ง การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ก่อนการเตรียมเข้าสู่การทดลองและ การใช้เครื่องมือวิเคราะห์เคมี

#### 3.2 การเตรียมตัวอย่าง

ส่วนประกอบของน้ำโคลนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยแร่เบนโทไนต์ แร่แบไรต์ ผงชานอ้อย ผงฟางข้าว ผงซังข้าวโพด โดยทำการนำเอาผงสารเติมแต่งทั้ง 3 ชนิดผ่านการร่อนตะแกรงให้มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมโครเมตร (เบอร์ 200) ในการนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ด้วยเครื่องมือหาธาตุประกอบโดยวิธีการเรืองแสง (X-ray fluorescence) หาแร่ประกอบโดยใช้เครื่องมือหาองค์ประกอบแบบวิธีการหักเหแสงของผลึก (X-ray diffraction) และหารูปร่างลักษณะพื้นฐานวัตถุในระดับจุลภาค (Scanning Electron Microscope)

น้ำโคลนที่ใช้ในการทดสอบ เป็นส่วนผสมถูกเตรียมโดยผสมเบนโทไนต์ จำนวน 60 กรัม ลงในน้ำ 1000 มิลลิลิตร และเติมแบไรต์ (barite) จำนวน 100 กรัม ลงไปเพื่อใช้ควบคุมน้ำหนักน้ำโคลน ค่อยๆ ผสมผงสารเติมแต่งทั้ง 3 ชนิด ตามสัดส่วนน้ำหนัก ดังตารางที่ 3.1 จากนั้นทำการตีส่วนผสมดังกล่าวเป็นเวลา 15 นาที โดยใช้เครื่องผสม Hamilton Beach โดยทดสอบในช่วงอุณหภูมิ 30 60 และ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นไปตามการเตรียมตัวอย่างน้ำโคลนเพื่อใช้ทดสอบภายในห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน API RP13B เพื่อใช้เป็นทดสอบความหนืดและคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของของไหล การทดลองทั้งหมดได้ทำการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการของไหลในการเจาะของสาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมสารเติมแต่ง

No.	Temperature (°C)	Base	Additives		
			SCB (%w/w)	Corn cob (%w/w)	Rice straw (%w/w)
1	30	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	-	-
2	60	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	-	-
3	80	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	-	-
4	30	100 g of barite and 60 g of bentonite	1	-	-
5	30	100 g of barite and 60 g of bentonite	3	-	-
6	30	100 g of barite and 60 g of bentonite	5	-	-
7	60	100 g of barite and 60 g of bentonite	1	-	-
8	60	100 g of barite and 60 g of bentonite	3	-	-
9	60	100 g of barite and 60 g of bentonite	5	-	-
10	80	100 g of barite and 60 g of bentonite	1	-	-
11	80	100 g of barite and 60 g of bentonite	3	-	-
12	80	100 g of barite and 60 g of bentonite	5	-	-
13	30	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	1	-
14	30	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	3	-
15	30	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	5	-
16	60	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	1	-
17	60	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	3	-
18	60	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	5	-
19	80	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	1	-
20	80	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	3	-

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมสารเติมแต่ง (ต่อ)

No.	Temperature (°C)	Base	Additive (%w/w)		
			SCB (%w/w)	Corn cob (%w/w)	Rice straw (%w/w)
21	80	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	5	-
22	30	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	-	1
23	30	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	-	3
24	30	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	-	5
25	60	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	-	1
26	60	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	-	3
27	60	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	-	5
28	80	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	-	1
29	80	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	-	3
30	80	100 g of barite and 60 g of bentonite	-	-	5

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมของน้ำโคลนขุดเจาะที่ผสมผงขานอ้อย ฟางข้าว และชังข้าวโพดตามสัดส่วน น้ำหนักในหน่วยกรัม

Composition of mud	Bentonite mud	Bentonite+1% additives	Bentonite+3% additives	Bentonite+5% additives
Water (grams)	1000	1000	1000	1000
Barite (grams)	100	100	100	100
Bentonite (grams)	60	60	60	60
Sugarcane bagasse (grams)	-	11.6	34.8	58.0
Corn cob (grams)	-	11.6	34.8	58.0
Rice straw (grams)	-	11.6	34.8	58.0

### 3.2.1 การเตรียมตัวอย่างวิเคราะห์ทางเคมีของ เบนโทไนด์ และน้ำโคลน

ในการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างของน้ำโคลนเบนโทไนด์ และตัวอย่างน้ำโคลนที่ผสมผงชานอ้อย ฟางข้าว และชังข้าวโพด สามารถจำแนกวิธีการทดสอบออกเป็น 2 วิธีทดสอบ ดังต่อไปนี้

การทดสอบคุณสมบัติทางเคมี ชนิดและส่วนประกอบของแร่ โดยใช้เครื่องมือเอกซเรย์ดิฟแฟกชัน (X-ray Diffraction, XRD) และหาปริมาณธาตุหลักและธาตุรอง โดยใช้เครื่องมือเรืองเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF) ในการทดสอบจะทำการทดสอบทั้งน้ำโคลนเบนโทไนด์ และน้ำโคลนที่ผสมชานอ้อย ฟางข้าว และชังข้าวโพด ซึ่งการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่างเหล่านี้ จะทำการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมปิโตรเลียม และห้องปฏิบัติการเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

### 3.2.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเบนโทไนด์ และน้ำโคลน

ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำโคลน ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific density) ความหนาแน่น (Density) ความหนืด (Viscosity) ความต้านทาน (Resistivity) ปริมาณของแข็ง (Solid content) การแพร่ผ่านของชั้นหิน (Filtration) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตามมาตรฐานของของ API RP 13B และหารูปปร่างลักษณะสัณฐานวัตถุในระดับจุลภาค (Scanning Electron Microscope, SEM) โดยทำการทดสอบตัวอย่างน้ำโคลนเบนโทไนด์ และน้ำโคลนที่ผสมผงชานอ้อย ฟางข้าว และชังข้าวโพด โดยทำการทดสอบคุณสมบัติในตัวอย่างน้ำโคลน ในช่วงอุณหภูมิ 30 60 และ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำโคลน ทำการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมปิโตรเลียม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

### 3.3 เครื่องมือและการวิเคราะห์

#### 3.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)

ตัวอย่างสารเคมีจำนวน 30 ตัวอย่าง ทั้งก่อนและหลังทำการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหาโครงสร้างผลึกในผงตัวอย่าง โดยตัวอย่างปริมาณ 1 ถึง 1.5 กรัมของแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาบีบอัดให้พอดีและผิวหน้าเรียบกับที่ใส่สารตัวอย่าง (holder) โดยกระจกบาง ก่อนจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bruker (รุ่น D2 Phaser) X-ray Diffractometer (รูปที่ 3.1) โดยจะใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 10 นาทีต่อตัวอย่าง ภายใต้การใช้งานสภาวะดังต่อไปนี้ หลอดทองแดงขนาด 0.4x12 มิลลิเมตร ที่มีกระแส 10 มิลลิแอมแปร์ และกำลัง 30 กิโลวัตต์ มีมุมในการวิเคราะห์ ( $2\theta$ ) เริ่มจาก 5 ถึง 60 องศา เวลาในการเปลี่ยน 0.2 วินาที โดยมุม ( $2\theta$ ) จะเพิ่มทีละ 0.02 องศา โดยผลลัพธ์ของการวิเคราะห์จะถูกแสดงออกมาเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของแสง (intensity) กับองศาที่วัดเปลี่ยนแปลงไป ( $2\theta$ ) หลังจากนั้นจะถูกนำมาวิเคราะห์หาชนิดของผลึกโดยโปรแกรมสำเร็จในเครื่องและทำการหาปริมาณโดยใช้โปรแกรม Topas โดยผลที่ออกมาจะแสดงในหน่วยร้อยละของปริมาณผลึกที่วัดได้



รูปที่ 3.1 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยวิธีการหักเหแสง Bruker (รุ่น D2 Phaser)



### 3.3.2 เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วย เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF)

ตัวอย่างสารเคมีจำนวน 30 ตัวอย่าง ทั้งก่อนและหลังทำการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหา ส่วนประกอบทางเคมี โดยตัวอย่างปริมาณ 0.5 ถึง 1 กรัมของแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาบีบอัดให้ พอดีและผิวหน้าเรียบกับที่ใส่สารตัวอย่าง (holder) โดยกระบอกบาง ก่อนจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Horiba (รุ่น XGT 5200) X-ray Fluorescence Spectrometer (รูปที่ 3.2) โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์ 200 วินาทีต่อตัวอย่าง ภายใต้การใช้งานหลอดเอกซเรย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร ที่มี กระแส 1 มิลลิแอมแปร์ และกำลัง 30 กิโลวัตต์ โดยผลลัพธ์ของการวิเคราะห์จะถูกแสดงออกมา เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของแสง (intensity) กับพลังงานที่คาย ออกมาในหน่วยของกิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) หลังจากนั้นจะถูกนำมาวิเคราะห์โดยโปรแกรมใน เครื่องเพื่อหาเป็นปริมาณสารประกอบในหน่วยร้อยละต่อไป



รูปที่ 3.2 เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วย X-ray Fluorescence (ED) Horiba

### 3.3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

ตัวอย่างสารเคมีจำนวน 30 ตัวอย่าง ทั้งก่อนและหลังทำการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหา ลักษณะพื้นผิว ขนาด รูปร่าง และการกระจายตัว โดยตัวอย่างใช้ปริมาณเพียงเล็กน้อยไม่ถึง 1 กรัม แต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาติดลงบนแท่งโลหะและเคลือบทองเป็นการทำให้ตัวอย่างนำไฟฟ้า จากนั้นจะนำเอาตัวอย่างเข้าเครื่อง ก่อนทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง JEOL (รุ่น JSM-6010LV) ตามรูปที่ 3.3 ต้องปรับให้เป็นระบบสุญญากาศ (high vacuum mode) เพื่อไล่ความชื้น จึงทำให้ได้รายละเอียดที่ดี กำลังขยายสูง และภาพที่คมชัด โดยอาศัยหลักการการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก หรือที่เรียกว่าเลนส์แม่เหล็กทำให้ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้ามากระทบกับชิ้นงาน เกิดอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนต่อชิ้นงาน เนื่องจากลำอิเล็กตรอนที่วิ่งมากระทบชิ้นงานมีพลังงานสูง ทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชิ้นงาน ใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 20 นาทีต่อตัวอย่าง ผลที่ได้จะออกมาเป็นภาพ ตามกำลังขยายที่ตั้งไว้



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

### 3.3.4 เครื่องวิเคราะห์ความหนาแน่น (Mud balance)

ตัวอย่างสารเคมีจำนวน 30 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหาความหนาแน่น (density) ของน้ำโคลนขุดเจาะเบนโทไนต์ โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาใส่ไว้ในถ้วยใส่จนเต็ม และปิดฝา เช็ดน้ำโคลนที่ล้นออกมาจากรูเล็กๆที่ฝาและรอบ ๆ ถ้วยด้วยให้หมด วางคาน Mud balance ตามรูปที่ 3.4 ลงบนที่รับคาน และถ่วงดุลคานให้อยู่ในแนวระดับราบโดยเลื่อนตัวถ่วงตามคานสเกล อ่านความหนาแน่นตรงขอบของตุ้ม โดยความหนาแน่นที่ได้จะมีค่าเป็น กรัมต่อลบ.ซม. ( $\text{g/cm}^3$ )



รูปที่ 3.4 เครื่องวิเคราะห์ความหนาแน่น

### 3.3.5 เครื่องวิเคราะห์ความหนืด (Viscometer)

ตัวอย่างสารเคมีจำนวน 30 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหาความหนืด (viscosity) จุดคราก (yield point) และความแข็งแรงของเจล (gel strength) ของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเบนโทไนต์ การทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิทยากระแสในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Fann Viscometer) รุ่น 35SA (รูปที่ 3.5) ซึ่งมีความเร็วรอบ จำนวน 6 ความเร็วรอบ ได้แก่ 600, 300, 200, 100, 6 และ 3 รอบต่อนาที (rpm) เป็นชนิดแกนทรงกระบอกหมุน ค่าความหนืดที่อ่านได้จะสัมพันธ์กับความเร็วยรอบ (Rotational speed) โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูก

นำมาใส่ไว้ในกระบอกและเลื่อนกระบอกหมุนลงไปในน้ำโคลนถึงเส้นที่กำหนดไว้สำหรับการหาความหนืดทำได้โดยโยกแกนบังคับไปที่ความเร็ว 300 และ 600 รอบต่อนาที ส่วนการหาความแข็งแรงของเจล ทำได้โดยการปรับความเร็วเป็นที่ 3 6 100 200 300 และ 600 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 25 นาทีต่อตัวอย่าง โดยค่าความหนืดที่ได้จะมีค่าเป็น เซนติพอยส์ (Centipoises) ในการศึกษาได้ทำการทดสอบตามข้อปฏิบัติตามมาตรฐานของ API RP 13B, “Recommended Practice Standard Procedure for Field Testing Water-Based Drilling Fluids” ซึ่งเป็นหลักปฏิบัติในการทดสอบน้ำโคลนที่ใช้น้ำเป็นส่วนผสม (API Recommended Practice, 1985)



รูปที่ 3.5 เครื่องวิเคราะห์ความหนืด จุดคราก และ gel strength fann (รุ่น 35SA 115-Volt)

### 3.3.6 เครื่องวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity meter)

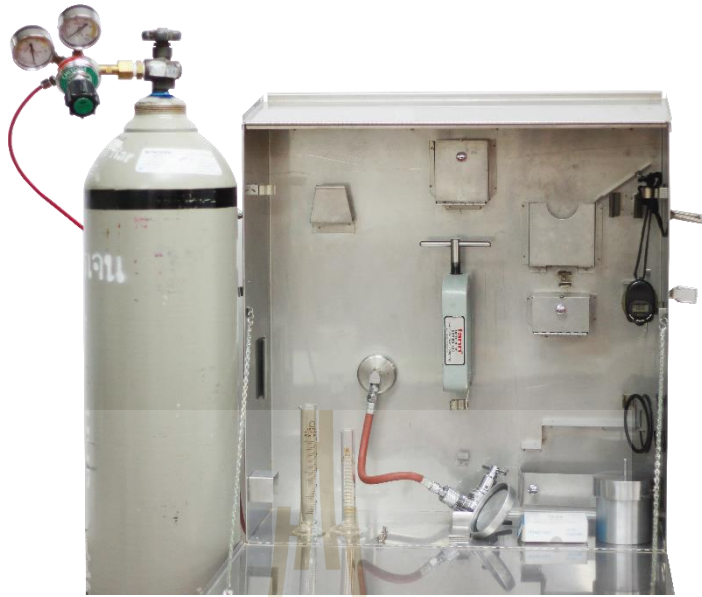
ตัวอย่างสารเคมีจำนวน 30 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนชุดเจาะ นำมาหาความต้านทานไฟฟ้า (resistivity) โดยใช้เครื่อง Resistivity meter (รูปที่ 3.6) ของน้ำโคลนชุดเจาะผสมเบนโทไนต์ โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาใส่ไว้ในหลอดวัด โดยไม่ให้มีฟองอากาศ ต่อหลอดวัดเข้ากับขั้ววัด จากนั้นปรับช่วงของการแสดงค่าให้เหมาะสม โดยก่อนการวัดความต้านทานไฟฟ้าต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือโดยการวัดความต้านทานของน้ำเกลือที่ทราบค่าแน่นอน มาเปรียบเทียบกับความต้านทานไฟฟ้าของน้ำโคลนชุดเจาะ ใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 15 นาทีต่อตัวอย่าง โดยค่าความหนืดที่ได้จะมีค่าเป็น โอห์ม-เมตร (ohm-meters)



รูปที่ 3.6 เครื่องวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้า fann (รุ่น 88C)

### 3.3.7 เครื่องวิเคราะห์การซึมผ่าน (Filter press)

ตัวอย่างสารเคมีจำนวน 30 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาทำการซึมผ่านของน้ำโคลนขุดเจาะผ่านตัวกรอง (filtration) ของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเบนโทไนต์ โดยทำการทดสอบคุณสมบัติการซึมผ่านโดยเครื่อง Baroid standard filter press rig laboratory รุ่น 821 (รูปที่ 3.7) โดยทำการวัดปริมาณการสูญเสียในน้ำโคลนผ่านกระดาษกรอง (Filtrate loss volume, มิลลิลิตร) และความหนาของชั้นผนังโคลน (Mud cake thickness, มิลลิเมตร) ภายใต้สภาวะสถิต เครื่องมือที่ใช้ทดสอบประกอบไปด้วยถ้วยใส่ของไหล (Fluid cup) ที่ถูกยึดโดยที่ยึดจับ กระดาษกรองและเครื่องมือกระบอกวัดความดันด้วยก๊าซไนโตรเจน (N<sub>2</sub> Cartridge pressurization) และหลอดแก้ว (Graduated cylinder) สำหรับรองรับน้ำที่ซึมผ่าน (Filtrate) ที่ผ่านกระดาษกรอง ในการทดสอบได้ทำการอัดก๊าซที่สู่กระบอกที่ความดัน  $100 \pm 5$  ปอนด์ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นก็จะทำการวัดปริมาณของน้ำที่ซึมผ่านกระดาษกรองนี้ออกมาเทียบกับเวลาที่ผ่านไปเพื่อตรวจวัดปริมาณการสูญเสีย น้ำออกจากน้ำโคลนที่เวลาต่างๆ ได้แก่ 1, 4, 9, 16, 25 และ 30 นาที ส่วนผนังโคลนทำการบรรยายลักษณะ ได้แก่ สี ผิวเนื้อ ความอ่อนตัว ความกว้าง และความหนา



รูปที่ 3.7 เครื่องวิเคราะห์การซึมผ่าน fann (รุ่น 300)

### 3.3.8 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง (Solid content)

ตัวอย่างสารเคมีจำนวน 30 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหาปริมาณของแข็ง (solid content) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง (รูปที่ 3.8) ของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเบนโทไนต์ โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาใส่ไว้ในกระบอกก้น 50 มิลลิเมตร เช็ดน้ำโคลนที่เกินออกให้หมดและหมุนกระบอกใส่น้ำโคลนเข้ากับกระบอกส่วนบน จากนั้นใส่กระบอกก้นเข้าไปในกล่องจนวน และปิดฝากล่องจนวนให้เข้าที่ วางหลอดวัดปริมาตรไว้ได้ที่ปล่อยน้ำของกล่องควบแน่น และเปิดเครื่องทำความร้อน ให้ความร้อนต่อน้ำโคลนจนกระทั่งน้ำหยุดกลั่นตัวออกมาหมดหรือจนกระทั่งไฟบอกเหตุที่ตัวควบคุมความร้อนดับ ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 20 นาทีต่อตัวอย่าง โดยปริมาณของแข็งที่ได้จะมีค่าเป็นร้อยละ



รูปที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง fann

### 3.3.9 เครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)

ตัวอย่างสารเคมีจำนวน 30 ตัวอย่าง สำหรับการผสมน้ำโคลนขุดเจาะ นำมาหาความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำโคลนขุดเจาะผสมเบนโทไนต์ ทำการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง OAKTON (รุ่น pH 700) ตามรูปที่ 3.9 โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาใส่ไว้ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้ววางหัววัดด้วยกระแสน้ำสะอาดแล้วเช็ดเบาๆ ให้แห้งด้วยกระดาษทิชชูแล้วจุ่มหัววัดลงในน้ำโคลนที่จะวัด จากนั้นคนน้ำโคลนรอบๆ หัววัด โดยการหมุนบีกเกอร์ ใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 10 นาทีต่อตัวอย่าง



รูปที่ 3.9 เครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง OAKTON (รุ่น pH 700)

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 4.1 บทนำ

บทนี้จะอธิบายการวิเคราะห์ข้อมูล ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง ตัวอย่างน้ำโคลนถูกทดสอบและวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ผลการทดลองและการอภิปรายผลมีดังต่อไปนี้

#### 4.2 คุณสมบัติทางเคมี

วัตถุประสงค์ของการทดสอบเหล่านี้คือการตรวจสอบองค์ประกอบและแร่ธาตุของน้ำโคลนทั้งก่อนและหลังผสมกับสารเติมแต่ง ขั้นตอนของวิธีการคือตรวจสอบคุณสมบัติการไหลและคุณสมบัติทางกายภาพ ผลการทดลองเหล่านี้นำไปสู่การกำหนดอัตราส่วนการผสมที่เหมาะสมที่สุดและอุณหภูมิของน้ำโคลนที่ผสมกับผงชานอ้อย ฟางข้าว และชังข้าวโพดเป็นสารเติมแต่ง

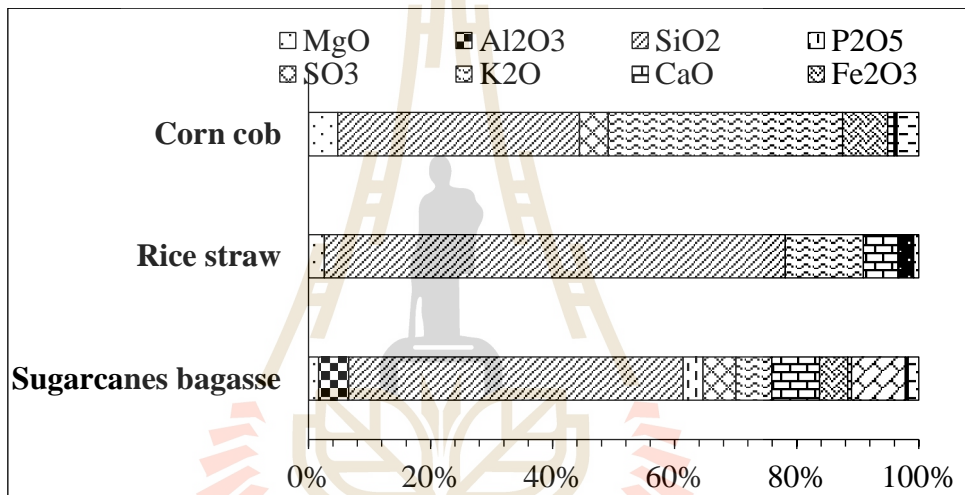
##### 4.2.1 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำโคลนเบนโทไนต์และสารเติมแต่งของน้ำโคลน

องค์ประกอบถูกตรวจสอบโดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ องค์ประกอบหลักก่อนที่จะผสมโคลนกับสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 5% น้ำหนักต่อน้ำหนัก และที่อุณหภูมิต่างๆที่ถูกวัดโดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (ตาราง 4.1) ประกอบด้วย  $MgO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $CaO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SrO$ ,  $Rh_2O_3$  และ  $BaO$  (รูปที่ 4.1)

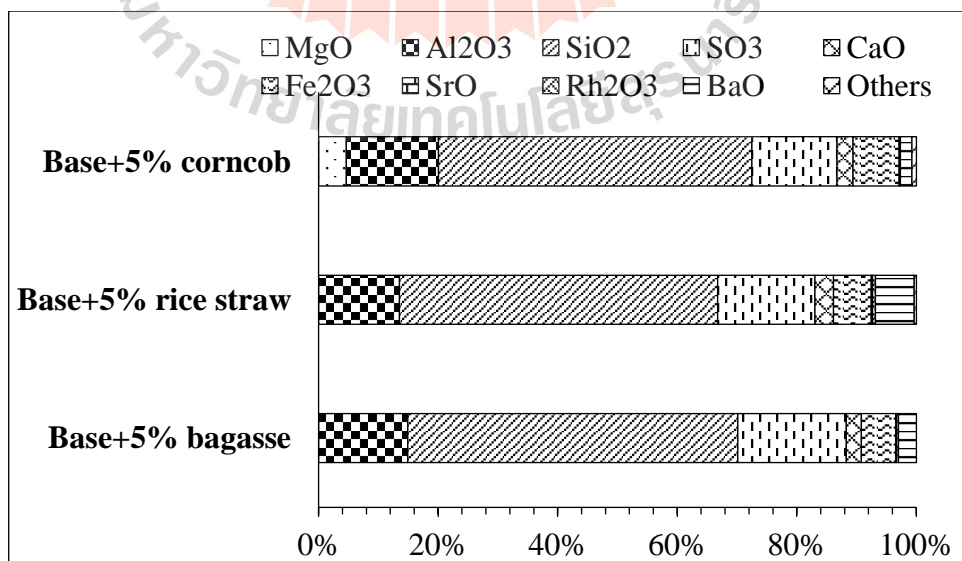
องค์ประกอบของน้ำโคลนหลังจากผสมผงชานอ้อย ฟางข้าว และชังข้าวโพด ขึ้นอยู่กับสารเติมแต่ง องค์ประกอบในชานอ้อย ฟางข้าว และชังข้าวโพด ประกอบด้วย  $MgO$ ,  $SiO_2$ ,  $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Rh_2O_3$  และ  $MnO_2$  ดังแสดงในรูป 4.2 แต่อย่างไรก็ตาม  $Al_2O_3$  และ  $P_2O_5$  มีอยู่จำเพาะในชานอ้อย  $Cl$  พบในชังข้าวโพด และ  $SO_3$  พบได้ทั้งชานอ้อยและชังข้าวโพด แร่ธาตุถูกวิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ และปริมาณของวัสดุหลังจากผสมแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 ผงของชานอ้อย ชังข้าวโพด และฟางข้าว ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีรูปร่างไม่ที่แน่นอน (รูปที่ ก1 ถึง รูปที่ ก3) จากตารางที่ 4.2 พบว่าแร่ประกอบที่สำคัญในน้ำโคลนหลังจากผสมกับสารเติมแต่ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้น 5% น้ำหนักต่อ



น้ำหนัก ประกอบด้วย แร่แบไรต์ แร่มอนริลลอไนต์ แร่เคโอลิไนต์ แร่ควอตซ์ แร่แคลไซต์ แร่ยิปซัม แร่เฮมาไทต์ และแร่เพอริเคลส(รูปที่ 4.3) แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าความแตกต่างของแร่ธาตุที่มี จำเพาะเจาะลงในน้ำโคลนและความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของฟลิกโทเบอร์มอไรต์ เพอริเคลส (MgO) และแร่มอนริลลอไนต์ มีผลต่อคุณสมบัติการไหล โดยทั่วไปเพอริเคลส (MgO) ใช้เป็นวัสดุเคลือบ ในอุตสาหกรรมเซรามิกที่มีการทนความชื้น ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความมั่นคงของพื้นผิวให้มีความ ทนทานและป้องกันรอยขีดข่วน ฟลิกโทเบอร์มอไรต์ที่มีปริมาณมากส่งผลต่อโครงสร้างของ ตัวอย่างให้มีการขยายตัวของโครงสร้าง เพิ่มความหนาแน่นและมีความคงตัวมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ ความแข็งแรงของน้ำโคลนและส่งผลต่อคุณสมบัติในการไหล (Kolias et al, 2005)



รูปที่ 4.1 องค์ประกอบของสารเติมแต่งก่อนผสมโดยใช้วิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

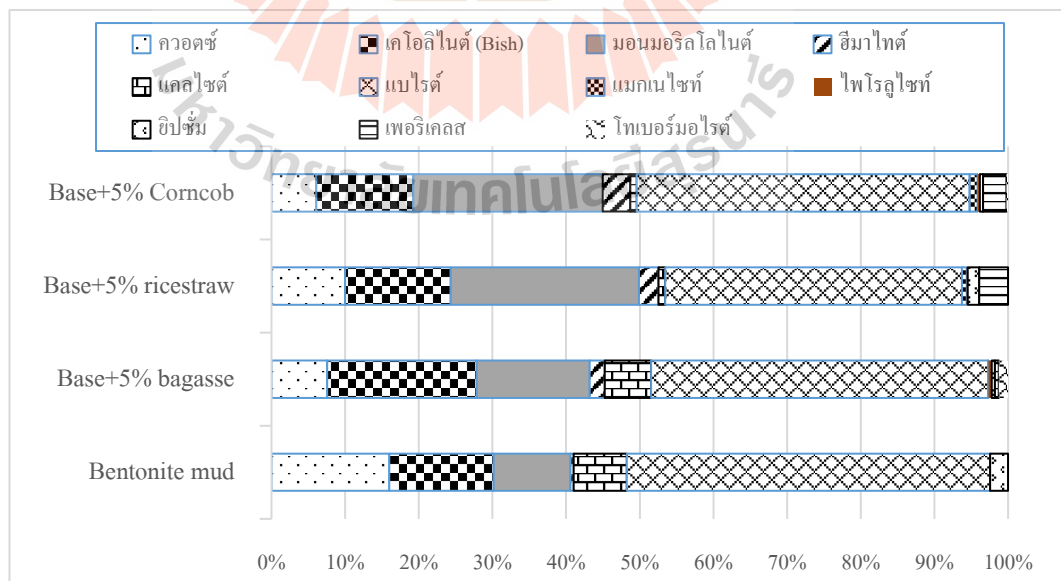


รูปที่ 4.2 องค์ประกอบของสารเติมแต่งหลังผสมโดยใช้วิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

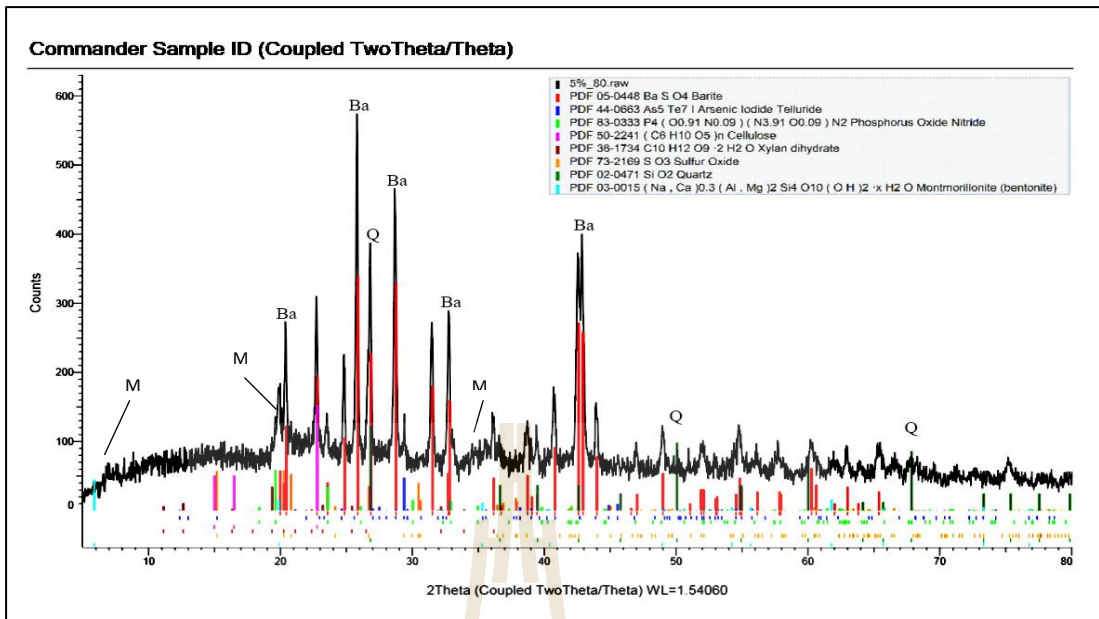


ตารางที่ 4.2 แร่ธาตุของน้ำโคลนที่ผสมด้วยสารเดิมแต่งที่ความเข้มข้น 5% น้ำหนักต่อน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

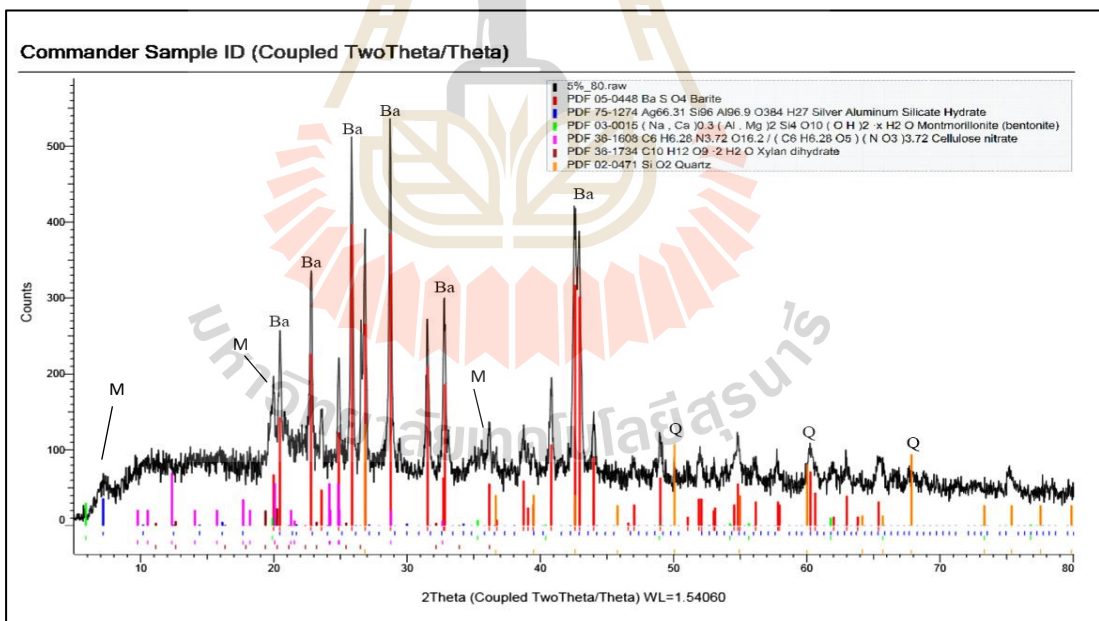
แร่ประกอบ	น้ำโคลน (%wt)			
	น้ำโคลนเบนโทไนท์	ฐาน+5% ชานอ้อย	ฐาน+5% ฟางข้าว	ฐาน+5% ซังข้าวโพด
ควอตซ์	15.98	7.55	10.01	6.08
เคโอลิไนต์ (Bish)	14.17	20.33	14.33	13.17
มอนมอริลโลไนต์	10.43	15.36	25.55	25.71
ฮีมาไทต์	0.44	2.03	2.64	3.74
แคลไซต์	7.22	6.33	0.90	0.87
แบไรต์	49.33	45.80	40.31	45.20
แมกเนสไซต์	NA	0.05	0.63	1.10
ไพโรลูไซต์	NA	0.41	0.16	0.27
ฮิปซัม	2.43	0.44	1.55	0.45
เพอริเคลส	NA	0.54	3.92	3.19
โทเบอร์มอไรต์	NA	1.26	NA	0.21
<b>รวม</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



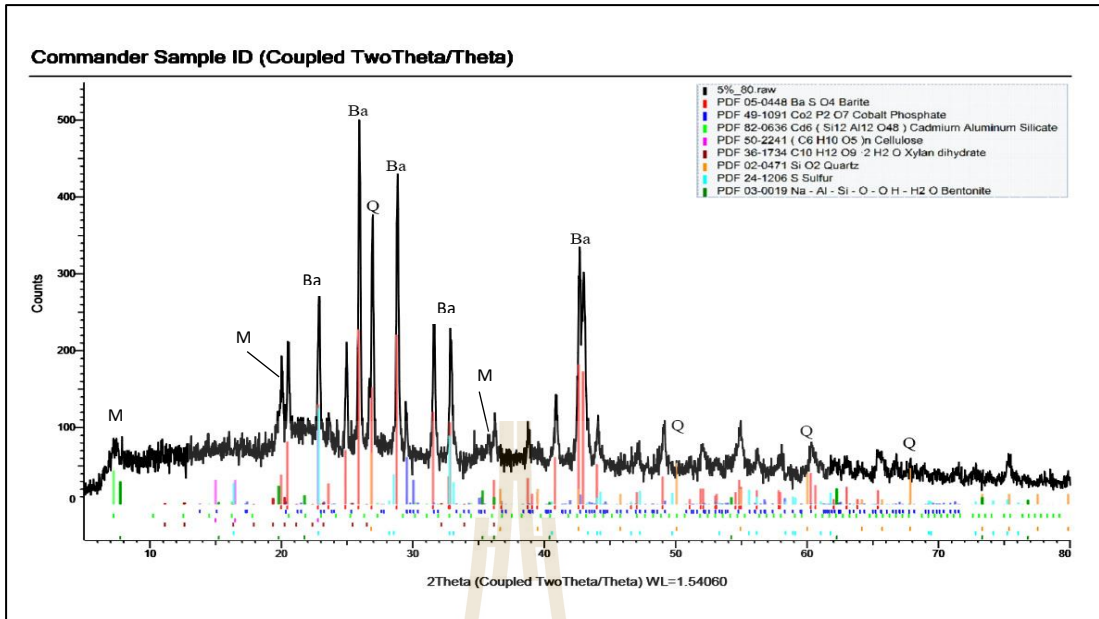
รูปที่ 4.3 แร่ธาตุของสารเดิมแต่งหลังผสมโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์



รูปที่ 4.4 เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของน้ำโคลนที่ผสมด้วยซังข้าวโพด 5% ที่ 80°C  
 รูปภาพนี้แสดงแร่ธาตุหลัก คือ แร่แบไรต์ และแร่ควอตซ์



รูปที่ 4.5 เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของน้ำโคลนที่ผสมด้วยชานอ้อย 5% ที่ 80°C รูปภาพนี้  
 แสดงแร่ธาตุหลัก คือ แร่แบไรต์ และแร่ควอตซ์



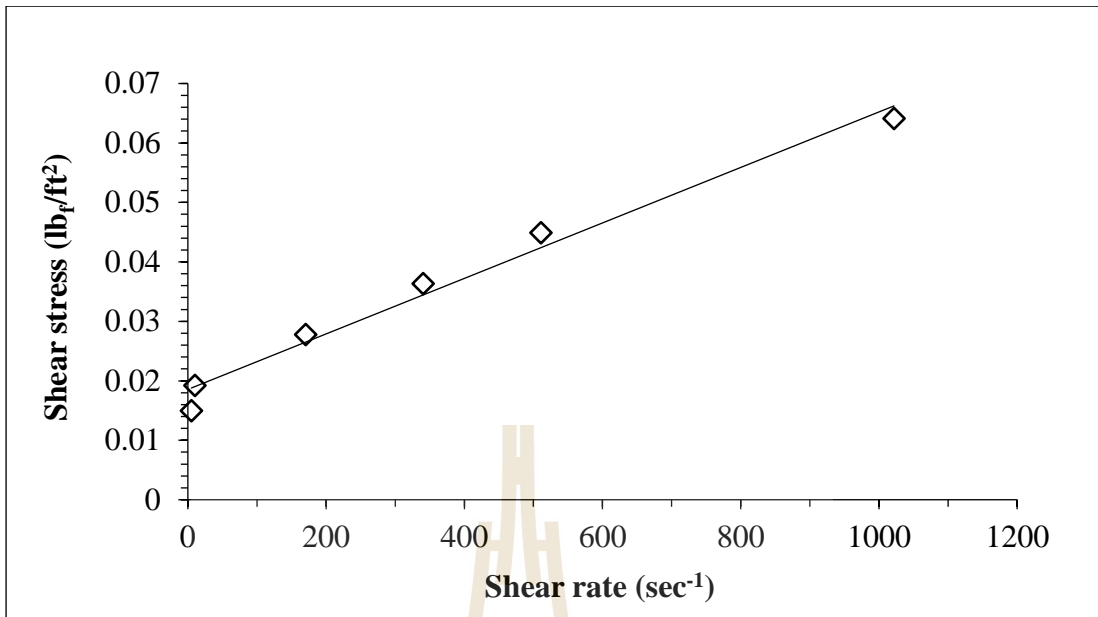
รูปที่ 4.6 เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของน้ำโคลนที่ผสมด้วยฟางข้าว 5% ที่ 80°C รูปภาพนี้แสดงแร่ธาตุหลัก คือ แร่แบไรต์ และแร่ควอตซ์

#### 4.3 คุณสมบัติทางกายภาพ

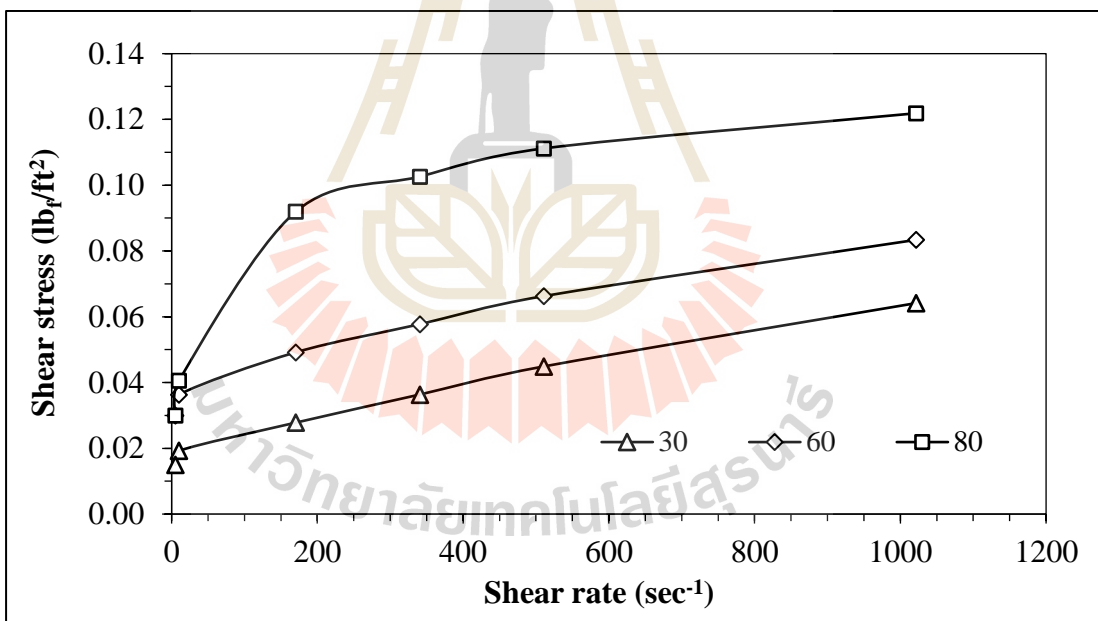
องค์ประกอบที่หลากหลายของน้ำโคลนที่ผสมด้วยสารเติมแต่ง จะแสดงในตารางที่ 3.1 องค์ประกอบพื้นฐานประกอบไปด้วยน้ำ 1,000 กรัม แร่แบไรต์ 100 กรัม และแร่เบนโทไนต์ 60 กรัม สารเติมแต่งประกอบด้วย ชานอ้อย ช้างข้าวโพด และฟางข้าว ที่ค่าที่เหมาะสม

##### 4.3.1 คุณสมบัติในการไหลและค่าพารามิเตอร์

ค่าความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของการอ่านค่าเครื่องวัดความหนืดทั้งหมดของน้ำโคลนที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก จะแสดงในตารางที่ A1 การอ่านค่าเฉลี่ยจากเครื่องวัดความหนืดถูกใช้เพื่อคำนวณความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนตามสมการ 3.4 และ 3.5 ในบทก่อนหน้า การคำนวณค่าความเค้นเฉือนถูกวาดเป็นกราฟต่ออัตราเฉือน เพื่อตรวจสอบเส้นกราฟที่ดีที่สุดสำหรับแบบจำลองบิงแฮม ผลการทดลองที่แสดงเป็นเส้น อนุমানได้ว่าของไหลมีแนวโน้มที่จะทำตัวเป็นของไหลที่มีพฤติกรรมเหมือนของแข็งในระยะเริ่มต้น เมื่อถูกความเค้นเฉือนกระทำจนกระทั่งถึงจุดคราก (Yield) จะเปลี่ยนเป็นคุณสมบัติเหมือนของไหลนิวโตเนียน จุดที่สอดคล้องกันของน้ำโคลนที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก ภายใต้อุณหภูมิ 30 °C แสดงไว้ในรูปที่ 4.7 กราฟที่พลอตระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนภายใต้อุณหภูมิ 30 60 และ 80 °C แสดงไว้ในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 จุดที่สอดคล้องกันของน้ำโคลนที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก ด้วยความสัมพันธ์เชิงเส้น



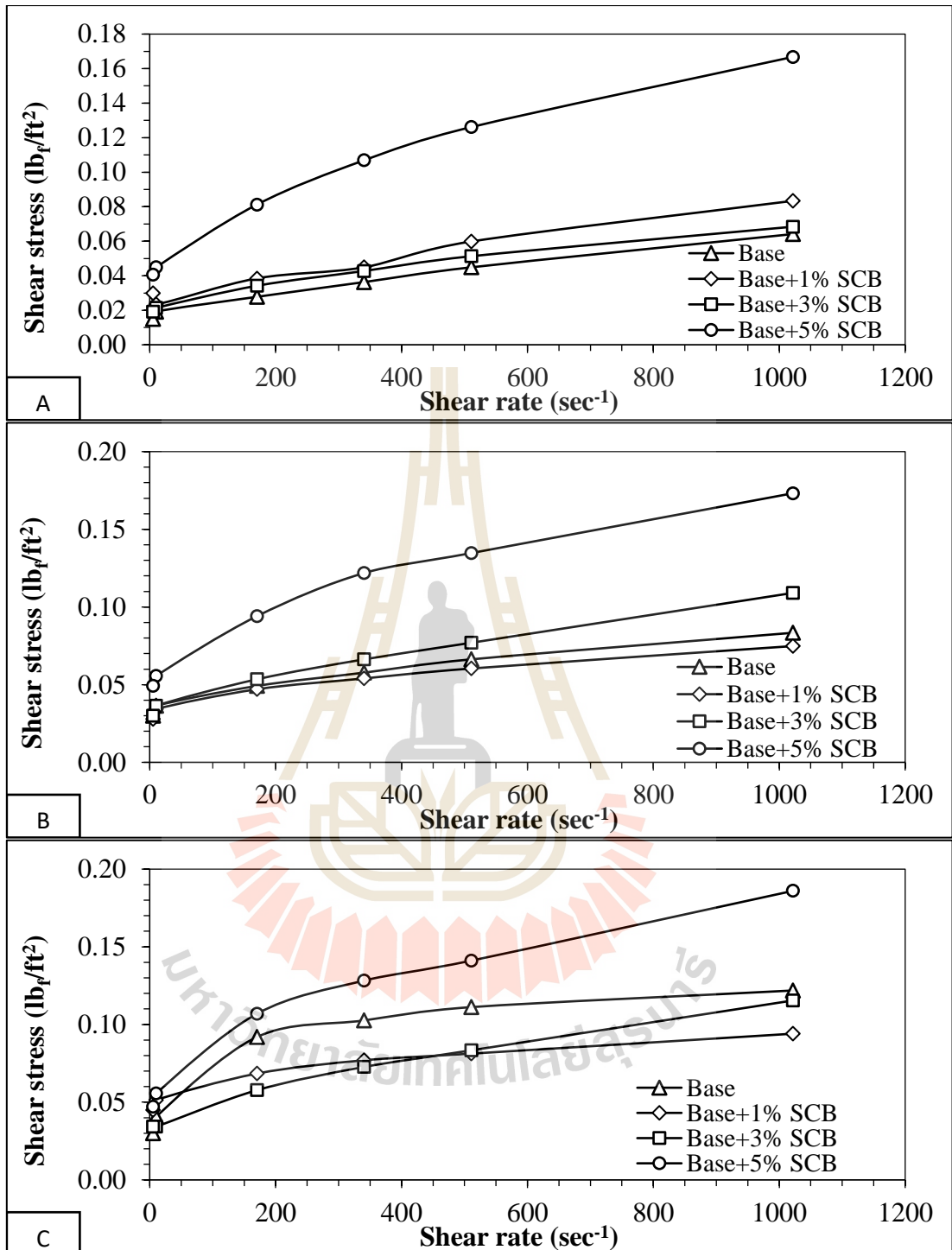
รูปที่ 4.8 จุดที่สอดคล้องกันของน้ำโคลนที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก

แบบจำลองบิงแฮม แสดงให้เห็นถึงแบบจำลองสำหรับของไหลที่เหมาะสมสำหรับ ตัวอย่างน้ำโคลนอื่นๆ ตัวอย่างน้ำโคลนที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก ได้ถูกแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มที่ แตกต่างกันของอุณหภูมิที่ทดสอบ ที่ 30 60 และ 80 °C และอัตราส่วนการผสม กราฟแสดงในรูปที่ 4.9 ถึง 4.11

น้ำโคลนที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลักและน้ำโคลนที่ผสมกับสารเติมแต่งตามคุณสมบัติที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แต่อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติการไหลของของไหลไม่สามารถจับคู่ได้อย่างแน่ชัดกับแบบจำลอง บิงแฮมหรือแบบจำลองเพาเวอร์ลอว์ น้ำโคลนส่วนใหญ่แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติการไหลในระหว่างแบบจำลองบิงแฮมหรือแบบจำลองเพาเวอร์ลอว์

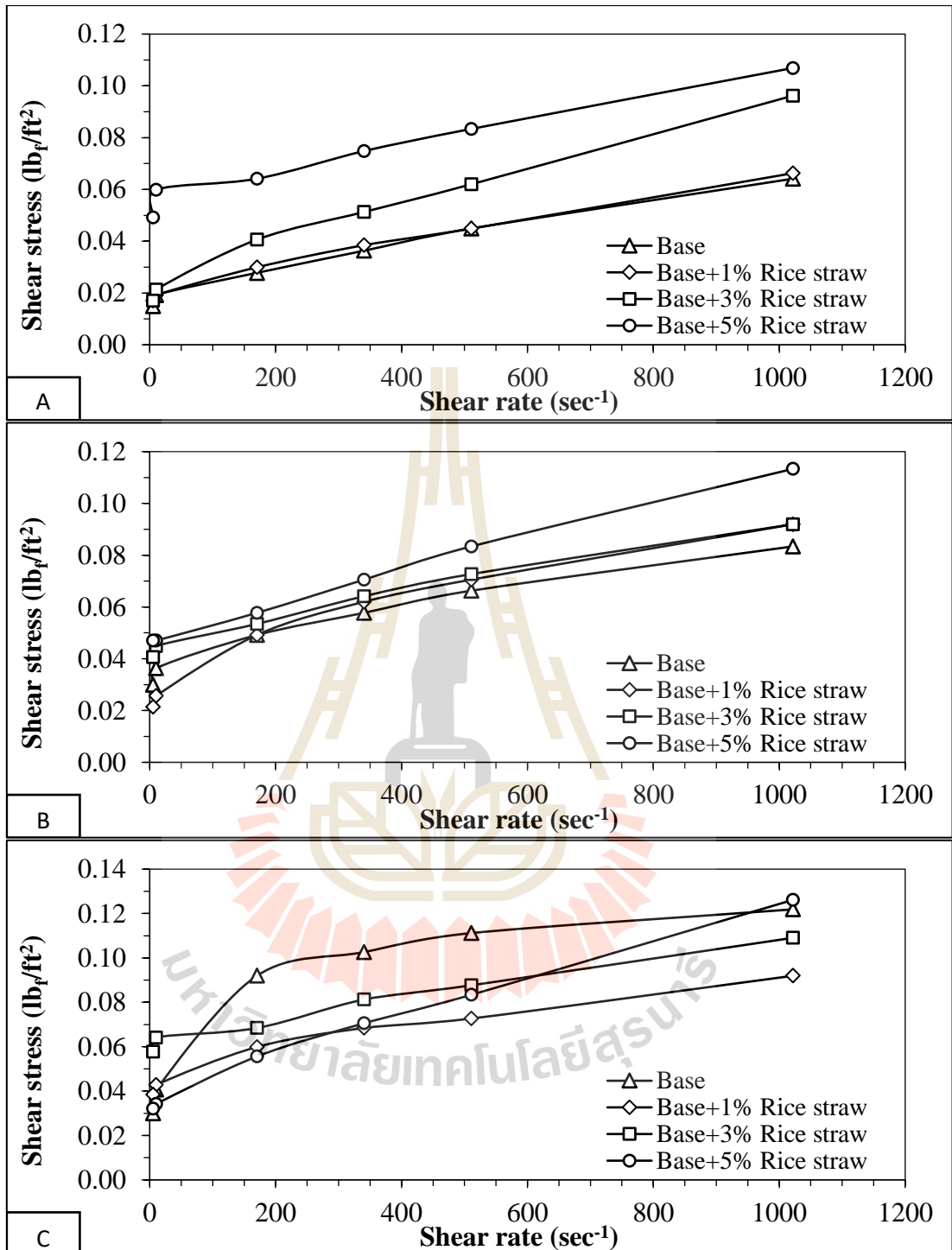
สารเติมแต่งทั้งสามชนิดนี้มีลักษณะกราฟในทิศทางเดียวกัน สำหรับอุณหภูมิที่ทดสอบทั้งหมด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเข้มข้นของสารเติมแต่งเพิ่มขึ้น นี่เป็นผลมาจากส่วนที่เป็นคอลลอยด์ของแร่เบนโทไนต์และสารเติมแต่ง 3 ชนิดในตัวอย่างโคลนที่ทำให้มีการต้านการไหลเพิ่มขึ้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความหนืดพลาสติกของสารเติมแต่ง 3 ชนิดที่มีโคลนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารเติมแต่งตั้งแต่ 1 ถึง 5% สำหรับอุณหภูมิที่ทดสอบทั้งหมด



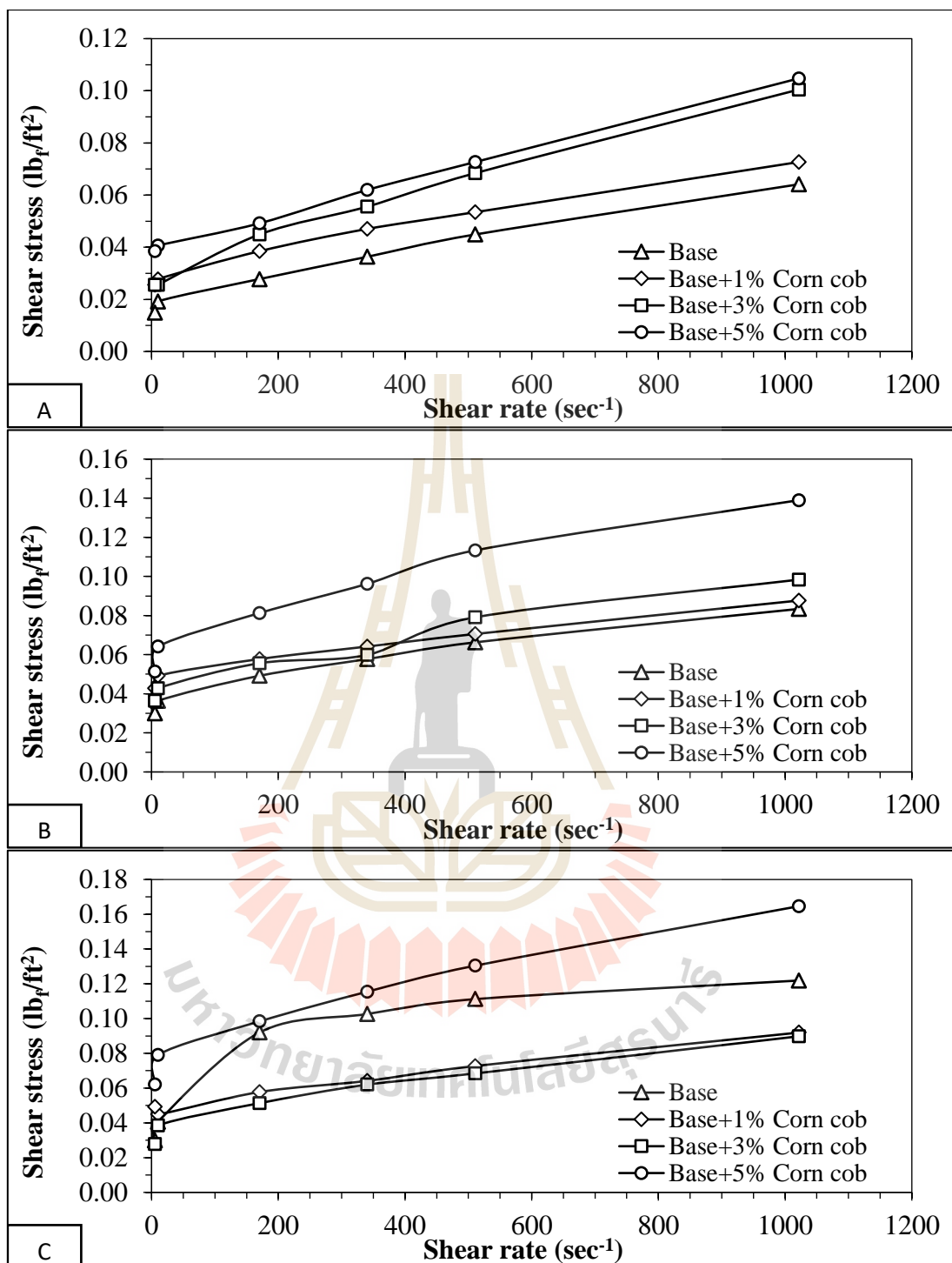


รูปที่ 4.9 จุดที่สอดคล้องกันของน้ำโคลนที่ผสมกับผงชานอ้อย (SCB) ที่อุณหภูมิ (A) 30°C (B) 60°C และ (C) 80°C

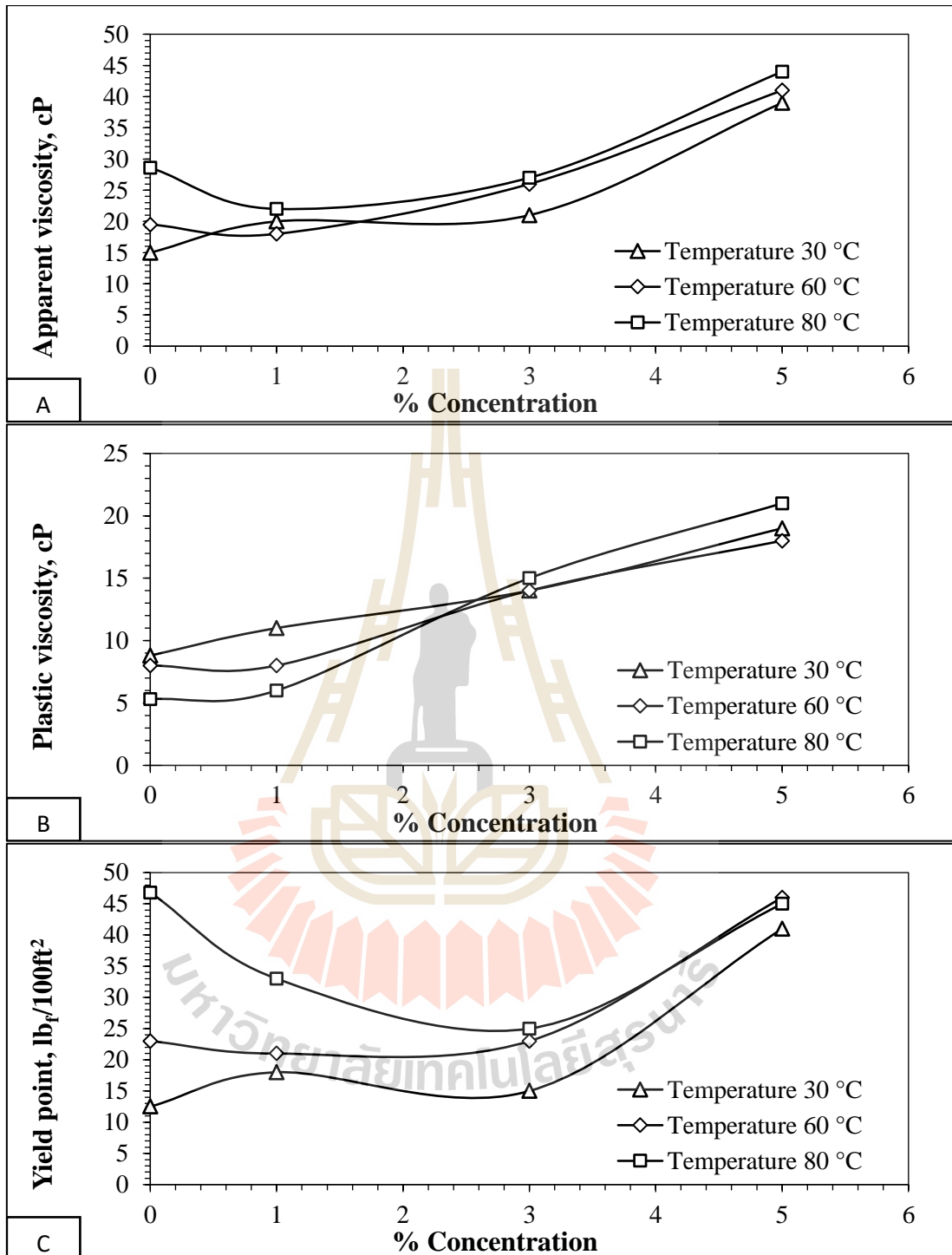




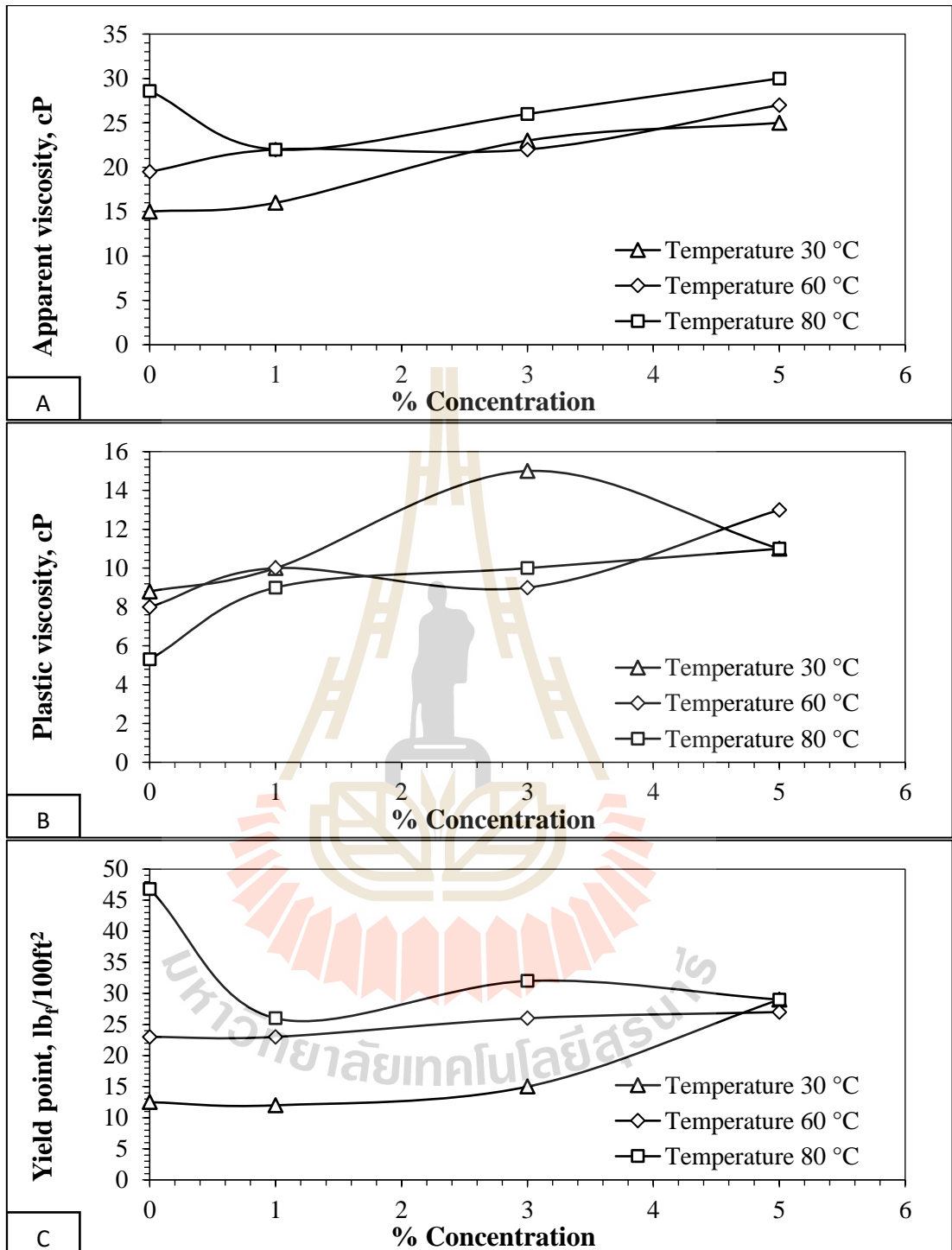
รูปที่ 4.10 จุดที่สอดคล้องกันของน้ำโคลนที่ผสมกับผงฟางข้าว ที่อุณหภูมิ (A) 30°C (B) 60°C และ (C) 80°C



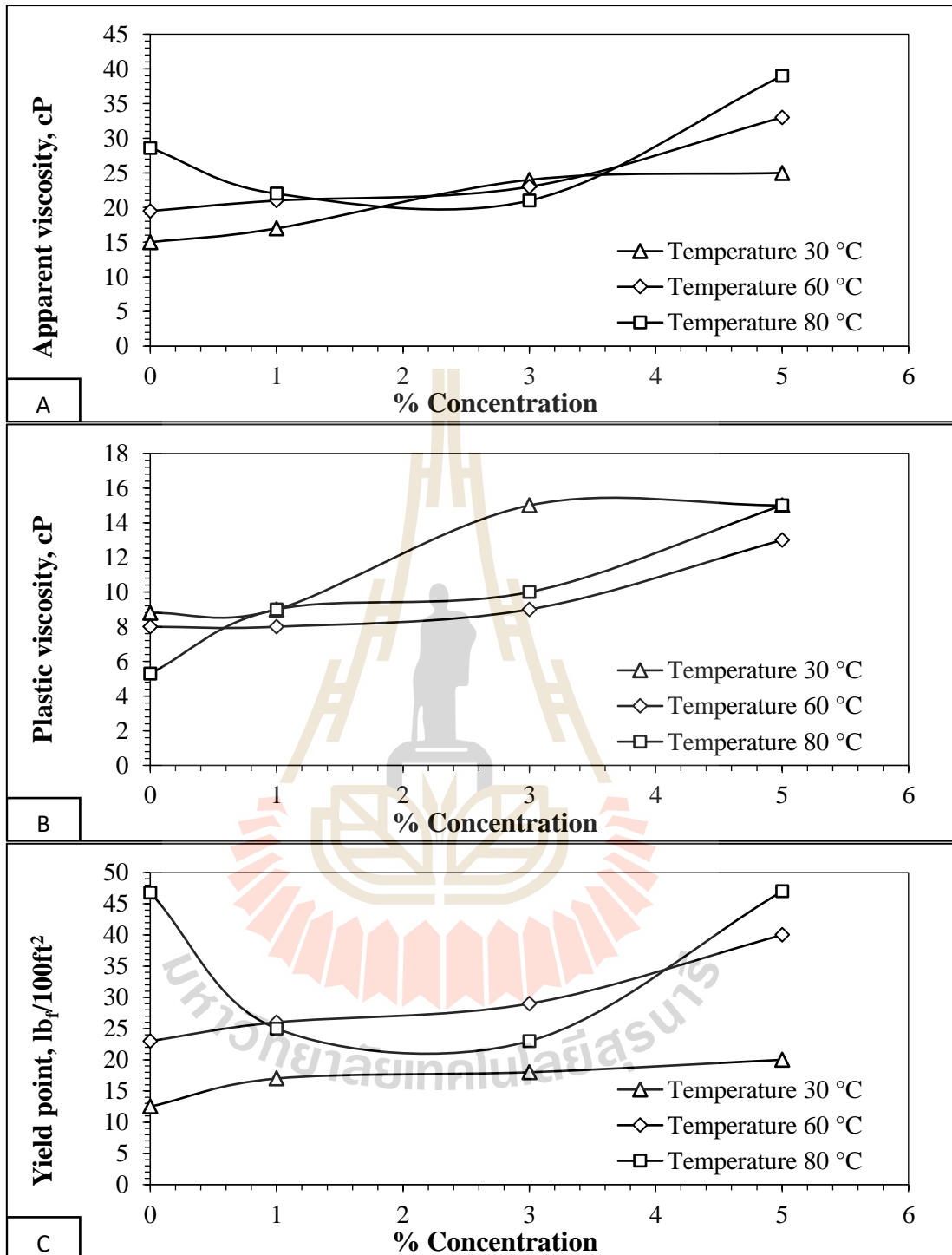
รูปที่ 4.11 จุดที่สอดคล้องกันของน้ำโคลนที่ผสมกับผงขังข้าวโพด ที่อุณหภูมิ (A) 30°C (B) 60°C และ (C) 80°C



รูปที่ 4.12 ความหนืดของน้ำโคลนที่ผสมกับผงขานอ้อย (A) ค่าความหนืดปรากฏ (B) ค่าความหนืดพลาสติก และ (C) จุดคราก



รูปที่ 4.13 ความหนืดของน้ำโคลนที่ผสมกับผงฟางข้าว (A) ค่าความหนืดปรากฏ (B) ค่าความหนืดพลาสติก และ (C) จุดคราก



รูปที่ 4.14 ความหนืดของน้ำโคลนที่ผสมกับผงขังข้าวโพด (A) ค่าความหนืดปรากฏ (B) ค่าความหนืดพลาสติก และ (C) จุดคราก

การเพิ่มอุณหภูมิที่สูงขึ้นจาก 30 °C เป็น 80 °C พบว่ามีค่าความหนืดพลาสติกลดลงเล็กน้อย แนวโน้มของเส้นแสดงให้เห็นว่าน้ำโคลนมีสมบัติเป็นของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลไม่เหมือนของไหลแบบนิวโตเนียน ซึ่งมีค่าความหนืดลดลงเมื่อแรงเฉือนเพิ่มสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (สูงถึง 80 °C) พบว่ามีค่าความหนืดพลาสติกที่ลดลงและค่าความเค้นที่จุดครากเพิ่มสูงขึ้น ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดปรากฏ, ค่าความหนืดพลาสติก และค่าความเค้นที่จุดคราก แสดงในรูป 4.12 ถึง 4.14

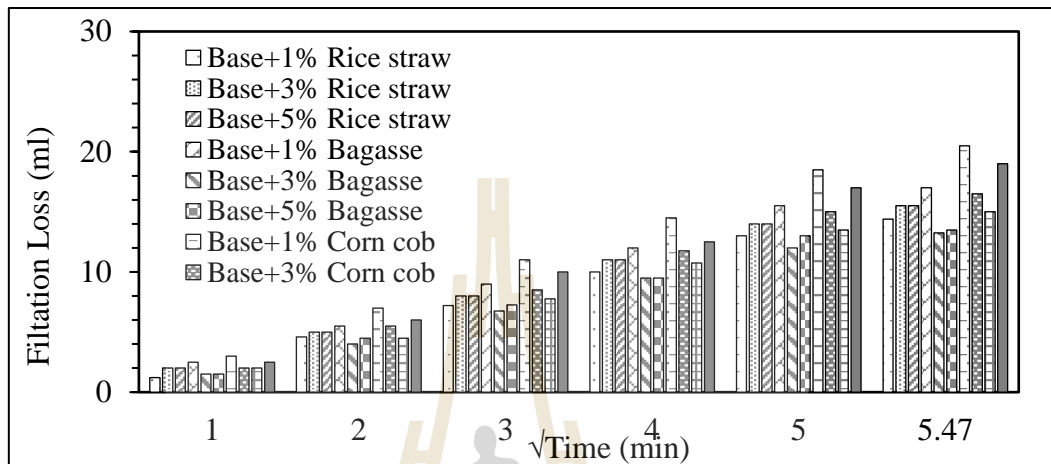
#### 4.3.2 คุณสมบัติการไหลของน้ำโคลน

ค่าพารามิเตอร์การไหลของน้ำโคลนที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก และน้ำโคลนที่ผสมกับตัวอย่างสารเติมแต่ง ได้สรุปไว้ในตารางที่ 3.1 สารเติมแต่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ชานอ้อย, ชั่งข้าวโพดและฟางข้าว ข้อมูลการไหลของการทดสอบทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก A ค่าดัชนีการไหล ( $n$ ) แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างน้ำโคลนทั้งหมดเป็นของไหลที่มีความหนืดลดลง เมื่อเพิ่มอัตราเฉือน เมื่อ  $n$  น้อยกว่า 1 ดังที่กล่าวมาข้างต้น พฤติกรรมการไหลของน้ำโคลนโดยทั่วไปมักเป็นไปตามค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองบิงแฮมและแบบจำลองเพาเวอร์ลอว์ ว่าเป็นของไหลแบบซูโดพลาสติก (ของไหลที่มีความหนืดลดลง เมื่อเพิ่มอัตราเฉือน) ปัจจัยที่สอดคล้องกันของตัวอย่างน้ำโคลนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเติมแต่งที่เพิ่มขึ้น ค่าคงที่คล้ายคลึงกับค่าความหนืดปรากฏของของเหลวที่อธิบายความหนาแน่นของของเหลว แบบจำลองเพาเวอร์ลอว์ ไม่ได้อธิบายอย่างแน่ชัดถึงพฤติกรรมของน้ำโคลน แต่ค่าคงที่  $n$  และ  $k$  ตามปกติจะอธิบายการใช้เครื่องกลส่วนควบคุมน้ำที่ใช้ในการคำนวณระบบไฮดรอลิก

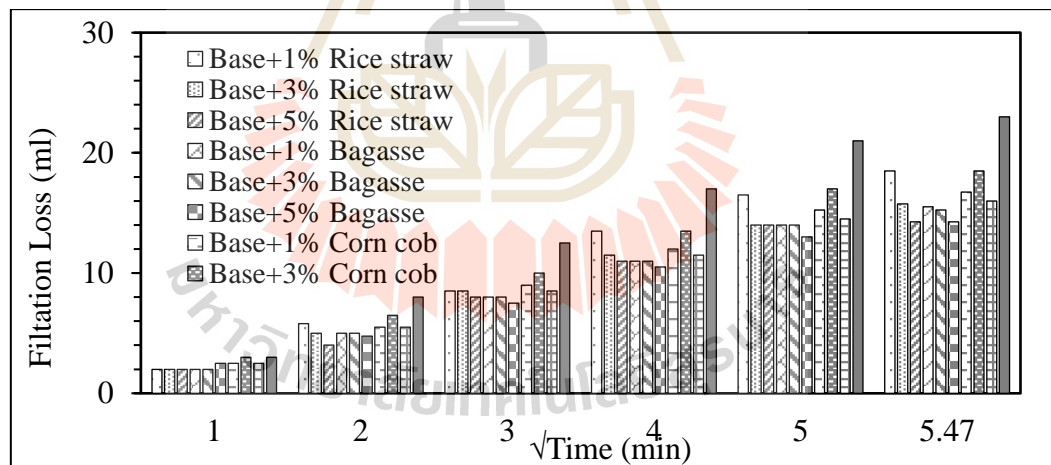
#### 4.3.3 คุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำโคลน

วัตถุประสงค์ของการซึมผ่านคือเพื่อสร้างชั้นโคลนที่มีการซึมผ่านต่ำ อุดช่องว่างระหว่างหลุมเจาะและชั้นหิน การควบคุมการจำกัดการสูญเสียของเหลวผ่านชั้นหินโดยการซึมผ่านและลดความหนาของชั้นโคลน ตารางที่ A3 แสดงปริมาณการสูญเสียในน้ำโคลนโดยเฉลี่ยในสถานะสถิตตามมาตรฐาน ภายใน 30 นาทีสำหรับน้ำโคลนที่ผสมสารเติมแต่ง น้ำโคลนที่ผสมกับผงของชานอ้อย ฟางข้าว และชั่งข้าวโพด ที่อุณหภูมิ 30, 60 และ 80 °C แสดงในรูปที่ 4.15 ถึง 4.17 และเปรียบเทียบกับสารเติมแต่งสามชนิดที่ผสมลงในน้ำโคลน จากกราฟแสดงคุณสมบัติการซึมผ่านที่ขึ้นอยู่กับเวลาของน้ำโคลนเบนโทไนด์และน้ำโคลนที่ผสมสารเติมแต่งด้วยผงชานอ้อย ชั่งข้าวโพด และฟางข้าว การสูญเสียของน้ำโคลนที่ผสมกับผงชั่งข้าวโพด 1% น้ำหนักต่อน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ

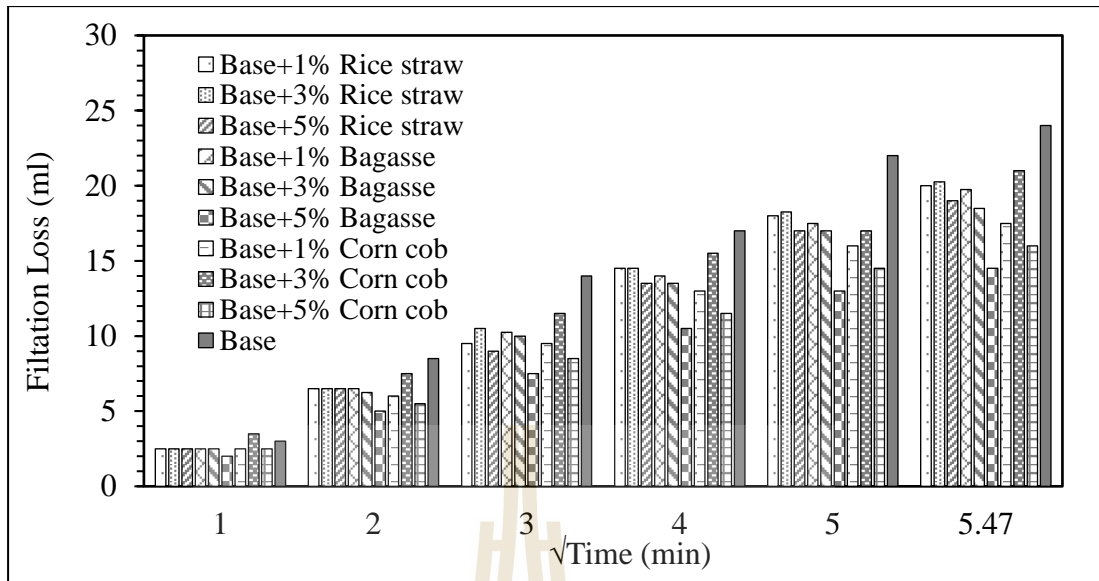
30 องศาเซลเซียส ไม่ได้ช่วยให้การควบคุมการสูญเสียน้ำดีขึ้น น้ำโคลนที่ผสมกับชานอ้อย 5% น้ำหนักต่อน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่ามีศักยภาพในการควบคุมของเหลวได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับขังข้าวโพดและฟางข้าว



รูปที่ 4.15 ปริมาณการสูญเสียน้ำในน้ำโคลนที่ผสมด้วยสารเติมแต่ง ที่อุณหภูมิ 30°C



รูปที่ 4.16 ปริมาณการสูญเสียน้ำในน้ำโคลนที่ผสมด้วยสารเติมแต่ง ที่อุณหภูมิ 60°C

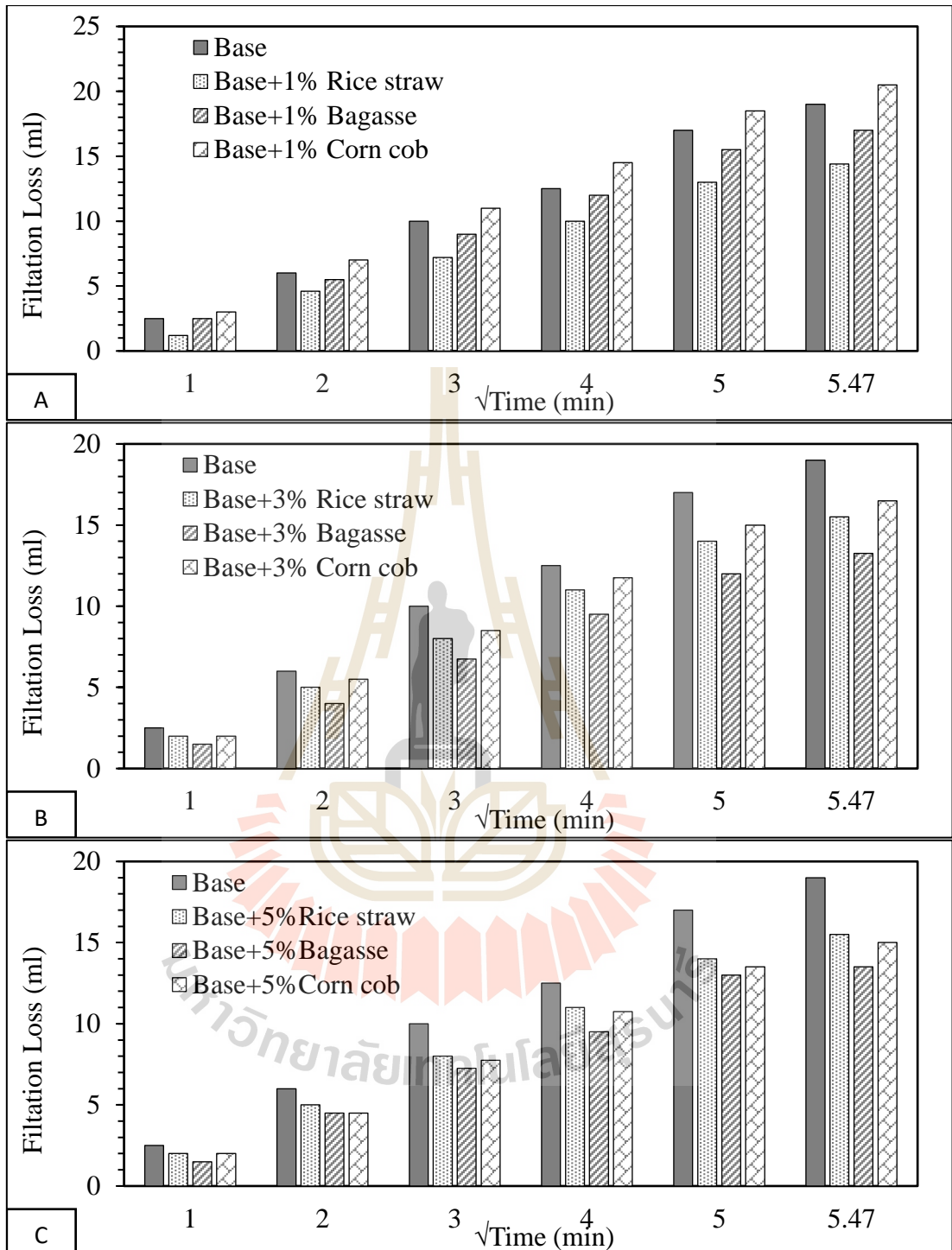


รูปที่ 4.17 ปริมาณการสูญเสียในน้ำโคลนที่ผสมด้วยสารเติมแต่ง ที่อุณหภูมิ 80°C

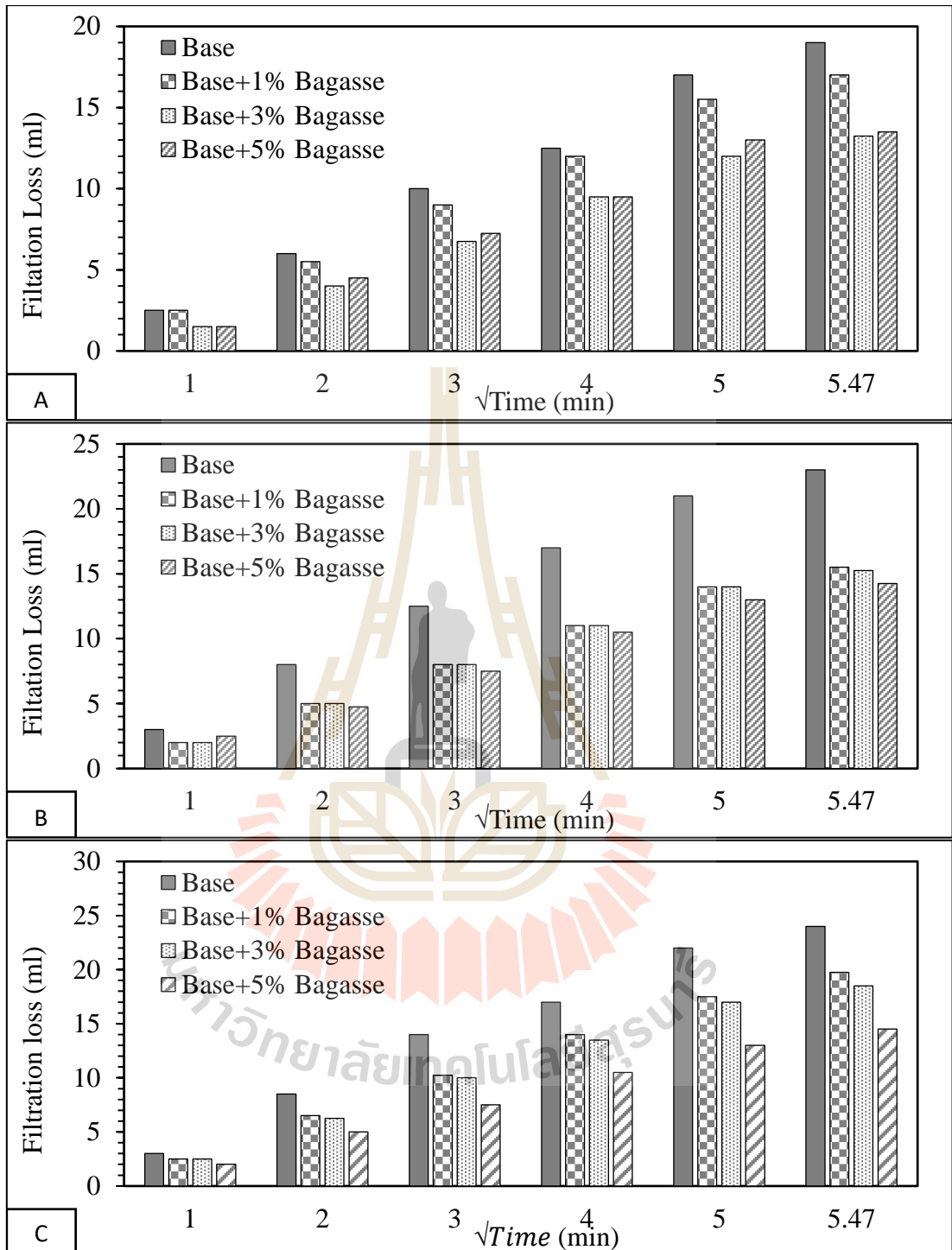
คุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำโคลนที่ผสมกับสารเติมแต่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.18 ถึง 4.22 อีสโตแกรมเหล่านี้แสดงคุณสมบัติการซึมผ่านที่ขึ้นอยู่กับเวลาของน้ำโคลนที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลักและชี้ให้เห็นว่าการสูญเสียของเหลวเพิ่มขึ้นแบบ exponential ตามเวลา ปริมาณการสูญเสียน้ำลดลงเป็นผลมาจากการสะสมตัวของโคลนในชั้นผนังอย่างต่อเนื่องและมีการอัดแน่นจนมีการก่อตัวสมบรูณ์ของความหนาของผนังชั้นโคลน ทำให้มีความหนาและความคงตัว

น้ำโคลนที่ผสมสารเติมแต่งต่อคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำที่อุณหภูมิ 30°C แสดงในรูปที่ 4.18 กราฟการสูญเสียในน้ำโคลนในสถานะสถิตในการเปรียบเทียบระหว่างน้ำโคลนที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก เทียบกับน้ำโคลนที่ผสมด้วยสารเติมแต่ง 1 3 และ 5% ที่อุณหภูมิ 30°C และตรวจสอบปริมาณที่เหมาะสมของสารเติมแต่งเพื่อควบคุมการสูญเสียของน้ำโคลน รูปที่ 4.18 แสดงน้ำโคลนที่ผสมสารเติมแต่ง 1% น้ำหนักต่อน้ำหนัก การสูญเสียของน้ำโคลนที่ผสมซังข้าวโพดมีค่าสูงกว่าค่าพื้นฐาน ชานอ้อย และฟางข้าว ที่อุณหภูมิ 30°C

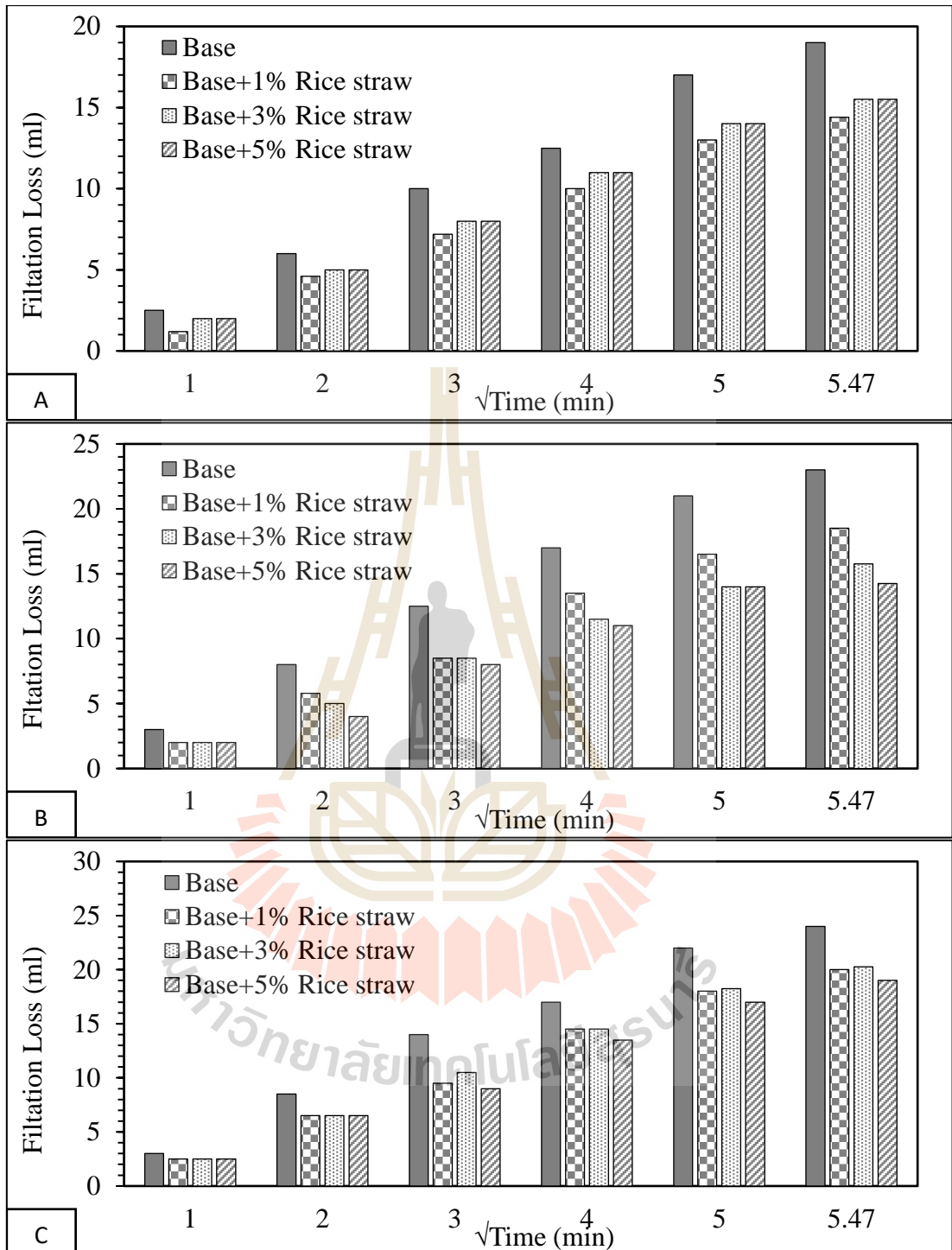




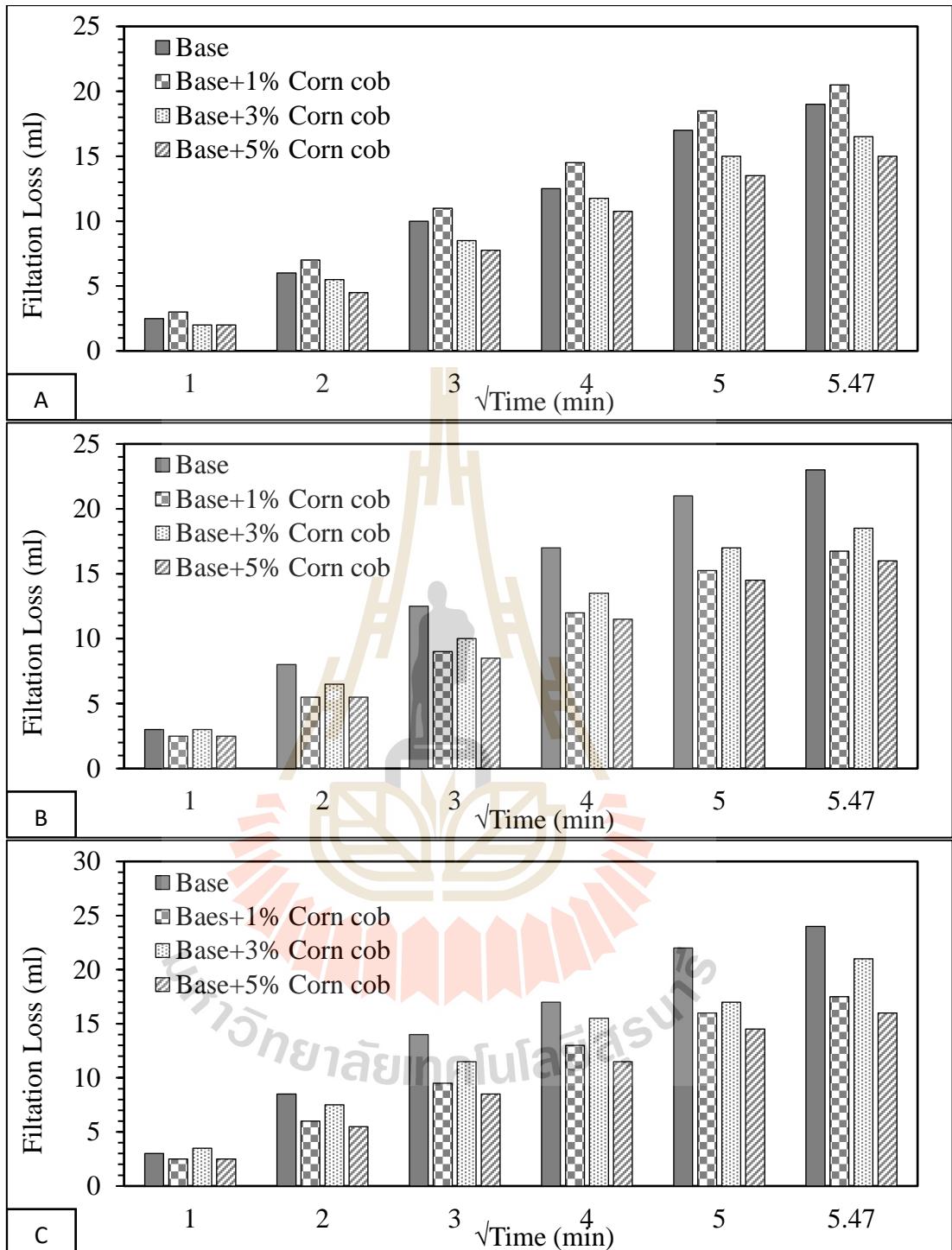
รูปที่ 4.18 การสูญเสียของน้ำโคลนที่ผสมด้วยสารเติมแต่ง ที่ความเข้มข้น (A) 1% (B) 3% และ (C) 5% ที่อุณหภูมิ 30°C



รูปที่ 4.19 การสูญเสียของน้ำโคลนที่ผสมชานอ้อย ที่ความเข้มข้น (A) 1% (B) 3% และ (C) 5% ที่อุณหภูมิ 30°C



รูปที่ 4.20 การสูญเสียของน้ำโคลนที่ผสมฟางข้าว ที่ความเข้มข้น (A) 1%, (B) 3% และ (C) 5% ที่อุณหภูมิ 30°C



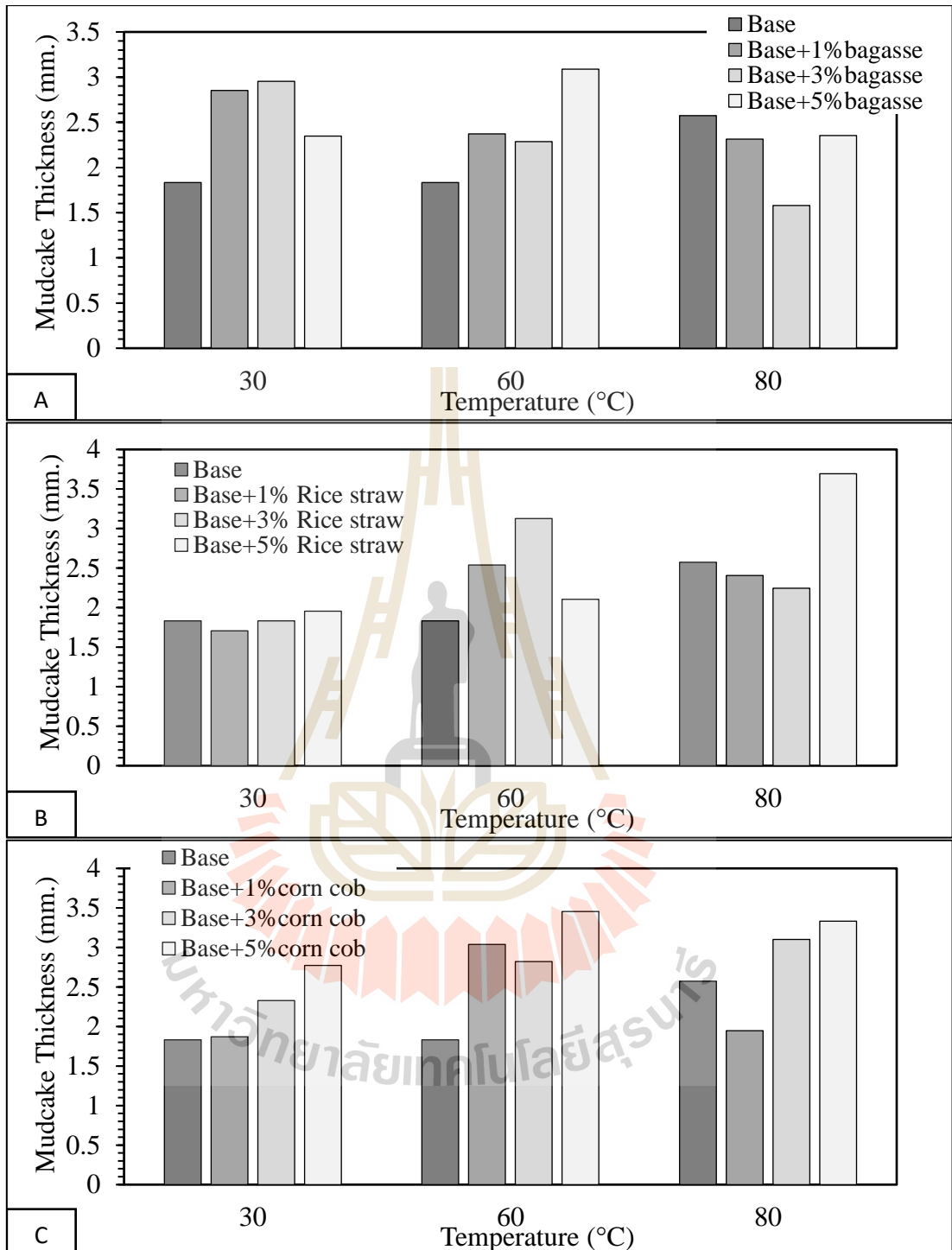
รูปที่ 4.21 การสูญเสียของน้ำโคลนที่ผสมขังข้าวโพด ที่ความเข้มข้น (A) 1% (B) 3% และ (C) 5% ที่อุณหภูมิ 30°C

จากรูปที่ 4.19 แสดงคุณสมบัติการสูญเสียที่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาของน้ำโคลน แสดงให้เห็นว่าการสูญเสียเพิ่มขึ้นแบบ exponential ตามเวลาและอุณหภูมิ เมื่อความเข้มข้นของผง

สารเติมแต่งเพิ่มขึ้น ทำให้การสูญเสียน้ำลดลง ความเข้มข้นที่ 5% น้ำหนักต่อน้ำหนัก ของสารเติมแต่งทั้ง 3 ชนิดมีศักยภาพสูง การวิเคราะห์คุณสมบัติการสูญเสียน้ำของโคลนที่ 30 60 และ 80°C (รูปที่ 4.19) ค่าการสูญเสียน้ำในสถานะสถิตของน้ำโคลนที่ผสมด้วยผงของฟางข้าว ชานอ้อย และซังข้าวโพด ความเข้มข้น 1 3 และ 5% น้ำหนักต่อน้ำหนัก บ่งชี้ถึงการสูญเสียน้ำที่เพิ่มขึ้น

สารเติมแต่งที่เป็นชานอ้อยทำให้การสูญเสียน้ำน้อยที่สุดที่อุณหภูมิ 60°C และซังข้าวโพดมีการสูญเสียน้ำต่ำที่ 80°C น้ำโคลนที่ผสมสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 3 และ 5% น้ำหนักต่อน้ำหนัก พบว่าชานอ้อยมีการสูญเสียน้ำต่ำ การเปรียบเทียบสมบัติการสูญเสียน้ำของสารเติมแต่งทั้งสามชนิด พบว่าชานอ้อยควบคุมการสูญเสียน้ำได้เหมาะสมที่สุด

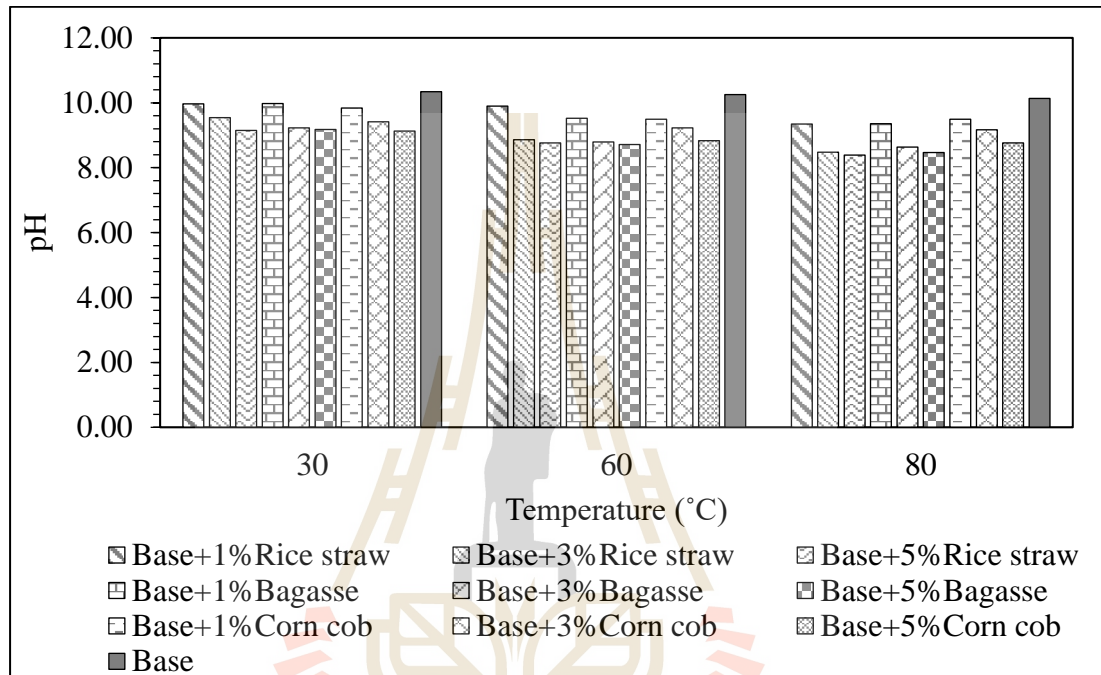
ความหนาของผนังชั้น โคลนที่ผสมสารเติมแต่ง แสดงในรูปที่ 4.22 ฮิสโตแกรมแสดงให้เห็นว่าความหนาของผนังชั้น โคลนขึ้นอยู่กับค่าการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารเติมแต่งและอุณหภูมิ มีการวัดการสะสมของคุณภาพของความหนาของผนังชั้น โคลนโดยใช้สารเติมแต่งที่มีโคลน ความเนียนและความเหนียวของชานอ้อย ซังข้าวโพดและฟางข้าวในโคลนมีมากกว่าน้ำโคลนที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก เป็นสมบัติที่เป็นเส้นใย ซึ่งจะช่วยปรับปรุงความคงตัวและความถี่ของความหนาของผนังชั้น โคลน



รูปที่ 4.22 ความหนาของผนังชั้นโคลนของ (A) ชานอ้อย (B) ชังข้าวโพด และ (C) ฟางข้าว ที่ผสมในโคลน ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 80°C

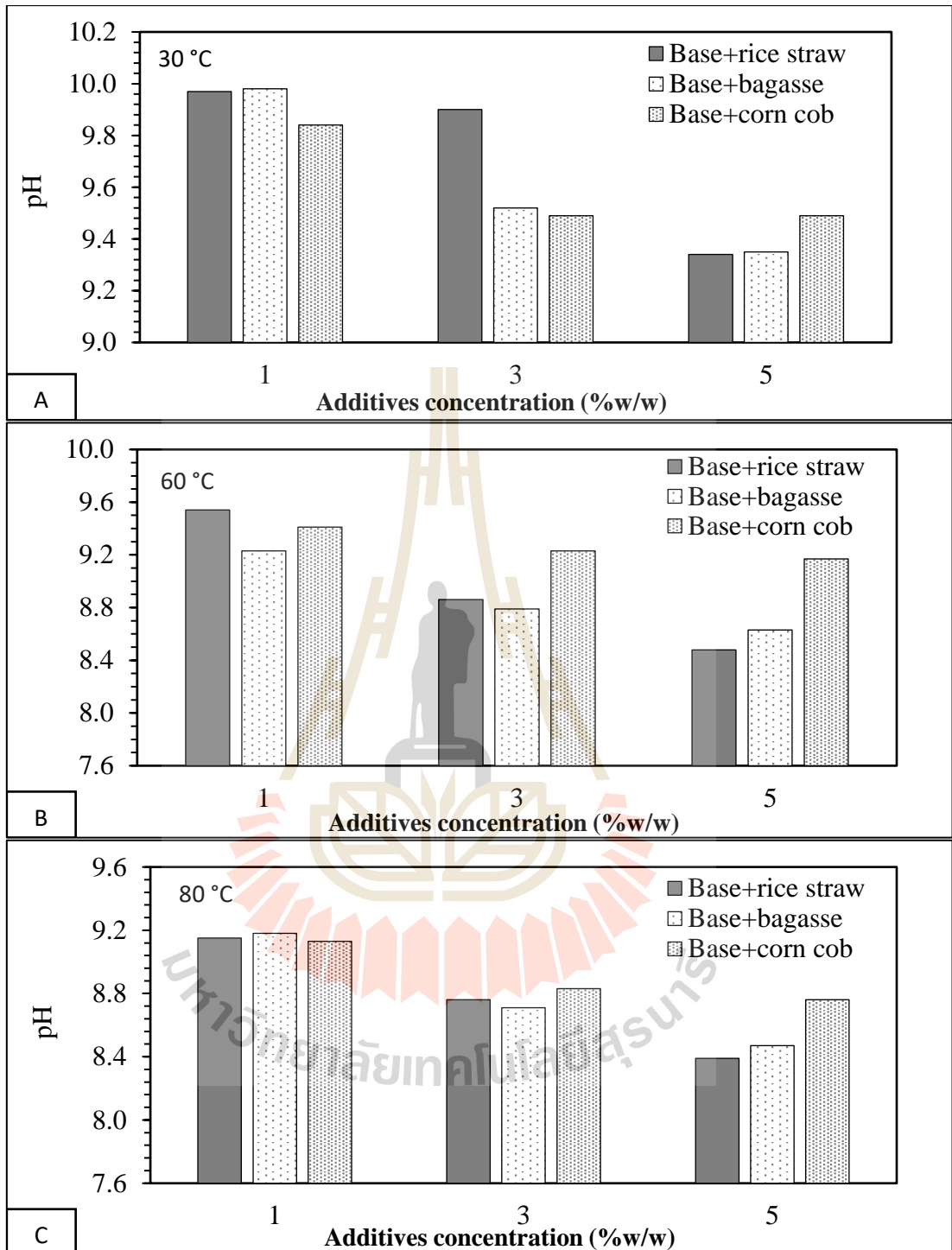
#### 4.3.4 ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำโคลน

ตารางที่ A4 และรูปที่ 4.23 ได้สรุปผลการทดสอบค่า pH ของโคลนก่อนและหลังผสมสารเติมแต่งที่ 30 60 และ 80°C ได้อธิบายค่า pH ของน้ำโคลนและการสูญเสียของน้ำโคลนจากการทดสอบการซึมผ่านของของไหลของน้ำโคลน



รูปที่ 4.23 ค่า pH ของน้ำโคลนที่ผสมสารเติมแต่ง

ไฮโดรเจนไอออน (pH) ของน้ำโคลนที่ผสมด้วยผงของชานอ้อย ชังข้าวโพด และฟางข้าว แสดงในรูปที่ 4.24 พบว่าค่า pH ลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารเติมแต่งเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปอัตราการกักต่อนจะลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้น อุณหภูมิส่งผลต่อค่า pH โดยการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ค่า pH ลดลง ค่า pH ของน้ำที่ซึมผ่านจากการทดสอบการซึมผ่านของของไหลของน้ำโคลน สูงกว่าค่า pH ของน้ำโคลน

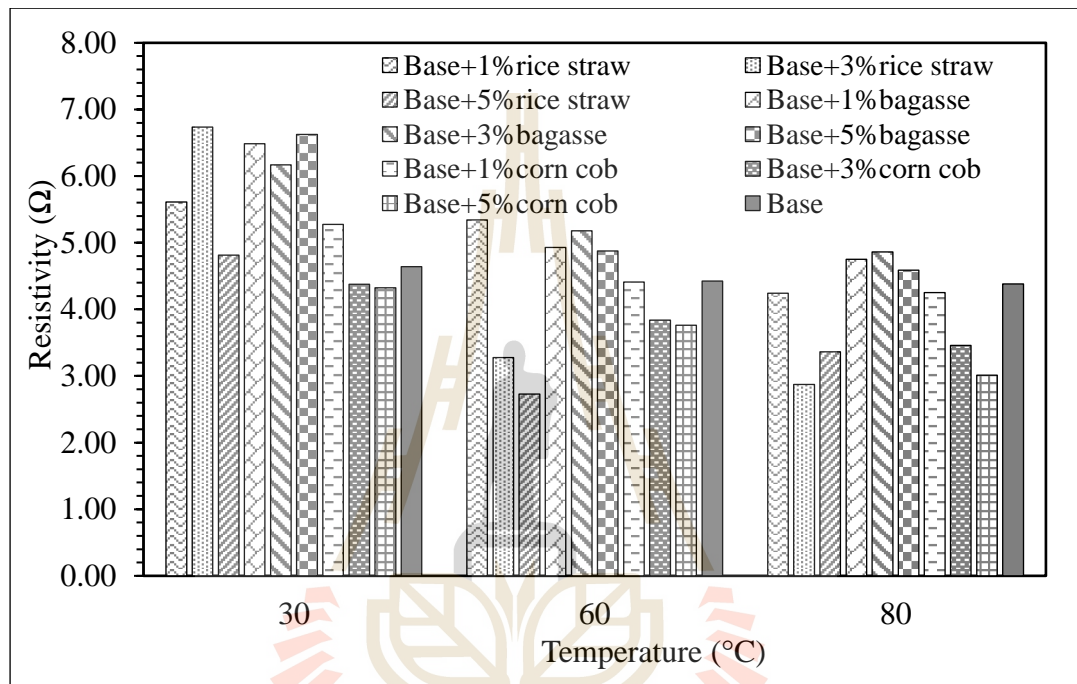


รูปที่ 4.24 ค่า pH ของน้ำโคลนที่ผสมสารเติมแต่ง ที่อุณหภูมิ (A) 30°C (B) 60°C และ (C) 80°C

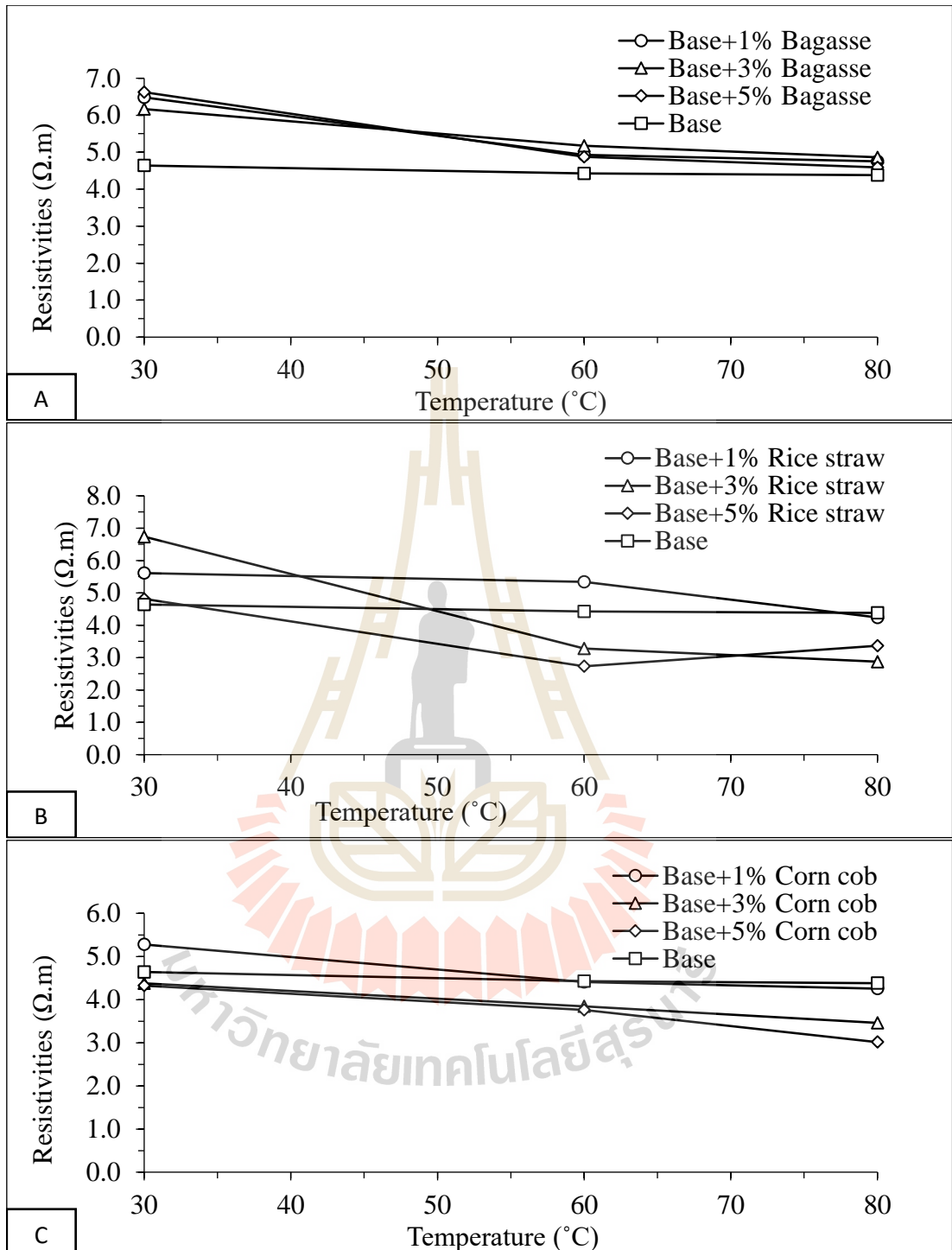


#### 4.2.5 สภาพความต้านทานของน้ำโคลน

ผลของสภาพความต้านทานแสดงในรูปที่ 4.25 และ 4.26 พบว่าสภาพความต้านทานของน้ำโคลนลดลง เมื่อความเข้มข้นของสารเติมแต่งและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ยกเว้นปริมาณของผงสารเติมแต่งเพิ่มขึ้น ในขณะที่สภาพความต้านทานเพิ่มขึ้น สภาพความต้านทานของน้ำที่ซึมผ่านสูงกว่าน้ำโคลนและผนังชั้น โคลน ตามลำดับ



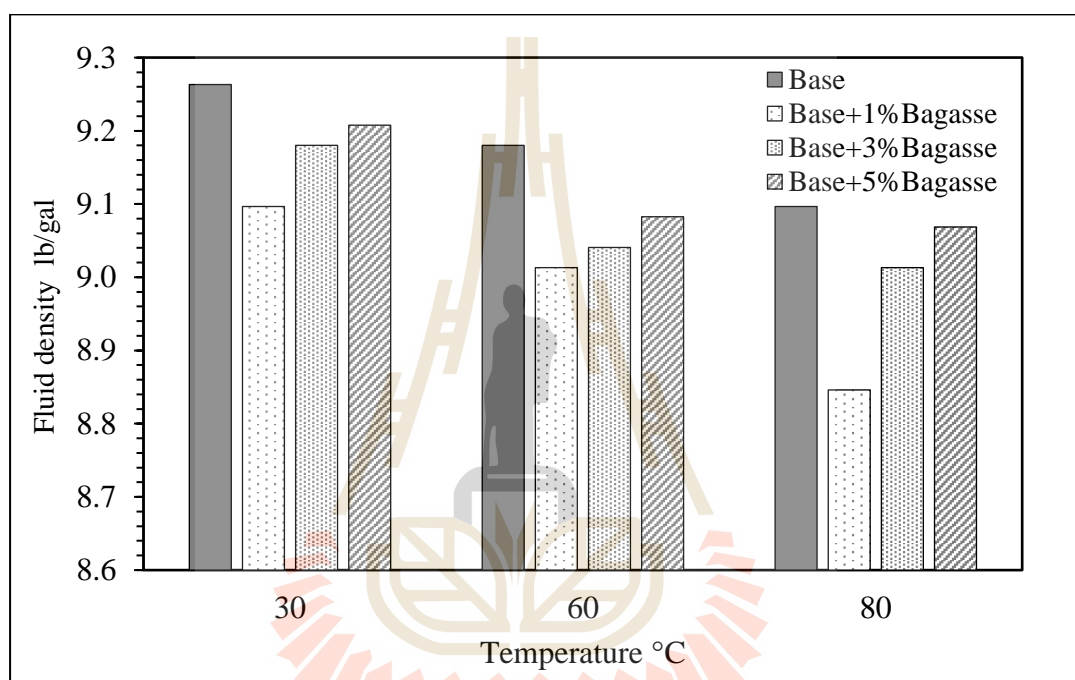
รูปที่ 4.25 สภาพความต้านทานของน้ำโคลนที่ผสมสารเติมแต่งที่อุณหภูมิ 30°C 60°C และ 80°C



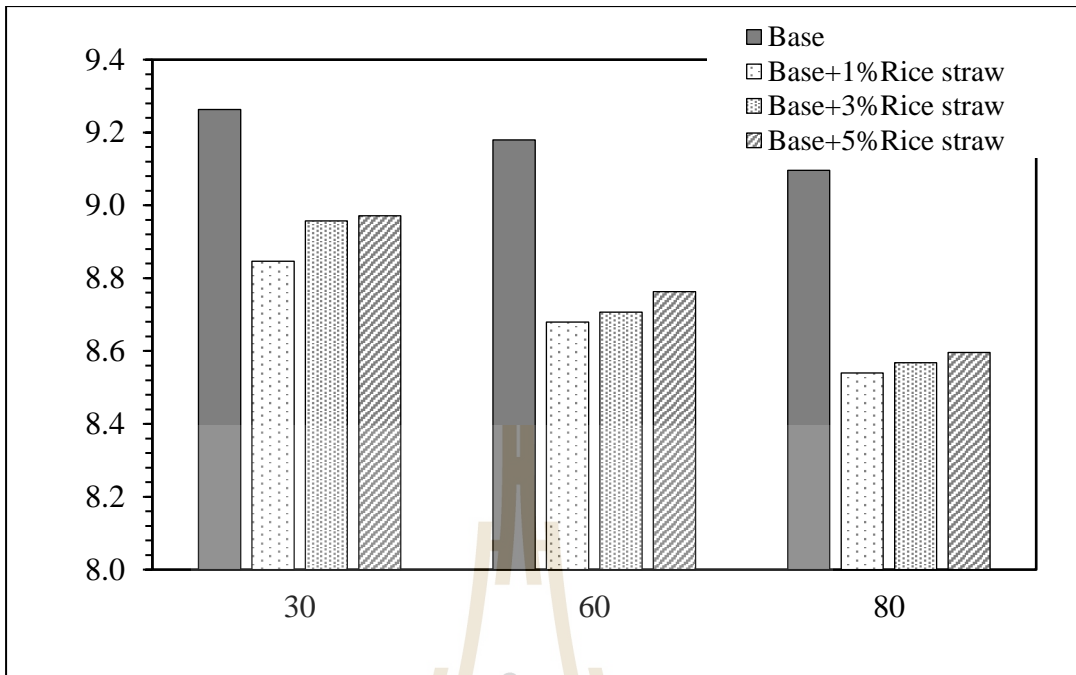
รูปที่ 4.26 สภาพความต้านทานของน้ำโคลนที่ผสม (A) ชานอ้อย (B) ฟางข้าว และ (C) ชังข้าวโพด ที่ 30°C, 60°C และ 80°C

#### 4.3.6 ความหนาแน่นของน้ำโคลน

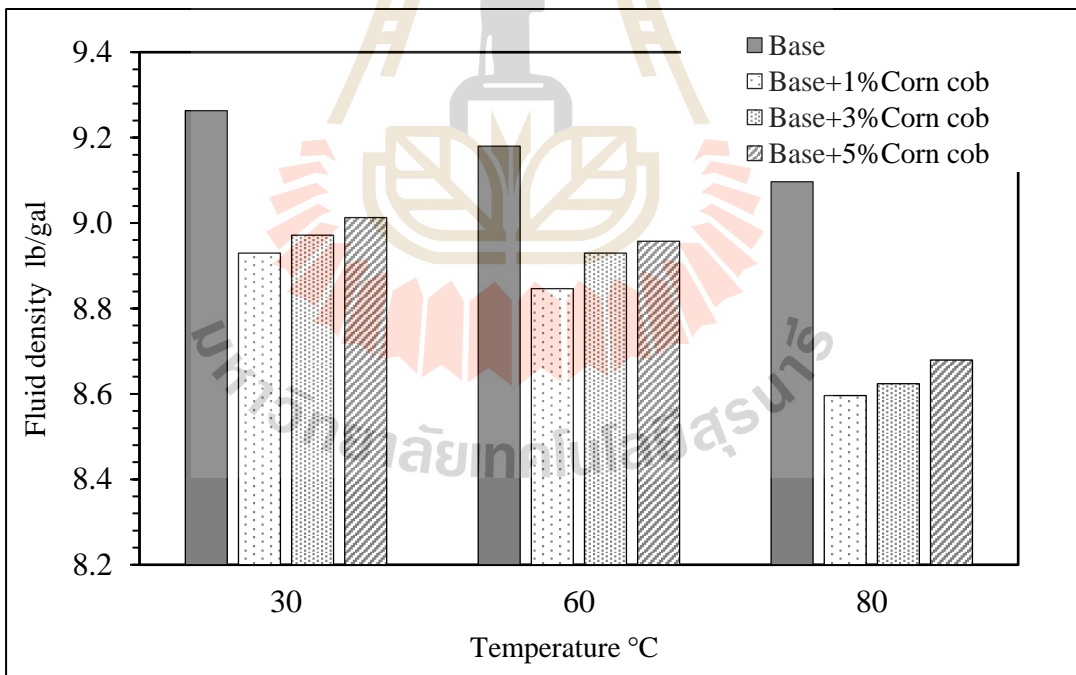
ต้องการให้มีแรงดันเท่ากันทุกจุดเพื่อป้องกันผนังหลุมเจาะพังและเพื่อให้ของเหลวไหลเข้าสู่หลุมเจาะ ผลความหนาแน่นของน้ำโคลนหลังจากผสมกับสารเติมแต่ง ได้แสดงในรูปที่ 4.27 ถึง 4.30 ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของสารเติมแต่งในการให้น้ำหนักแก่น้ำโคลน พบว่าความหนาแน่นลดลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในน้ำโคลนที่ผสมกับผงชานอ้อย ชั่งข้าวโพด และฟางข้าว แต่อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของสารเติมแต่งเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น



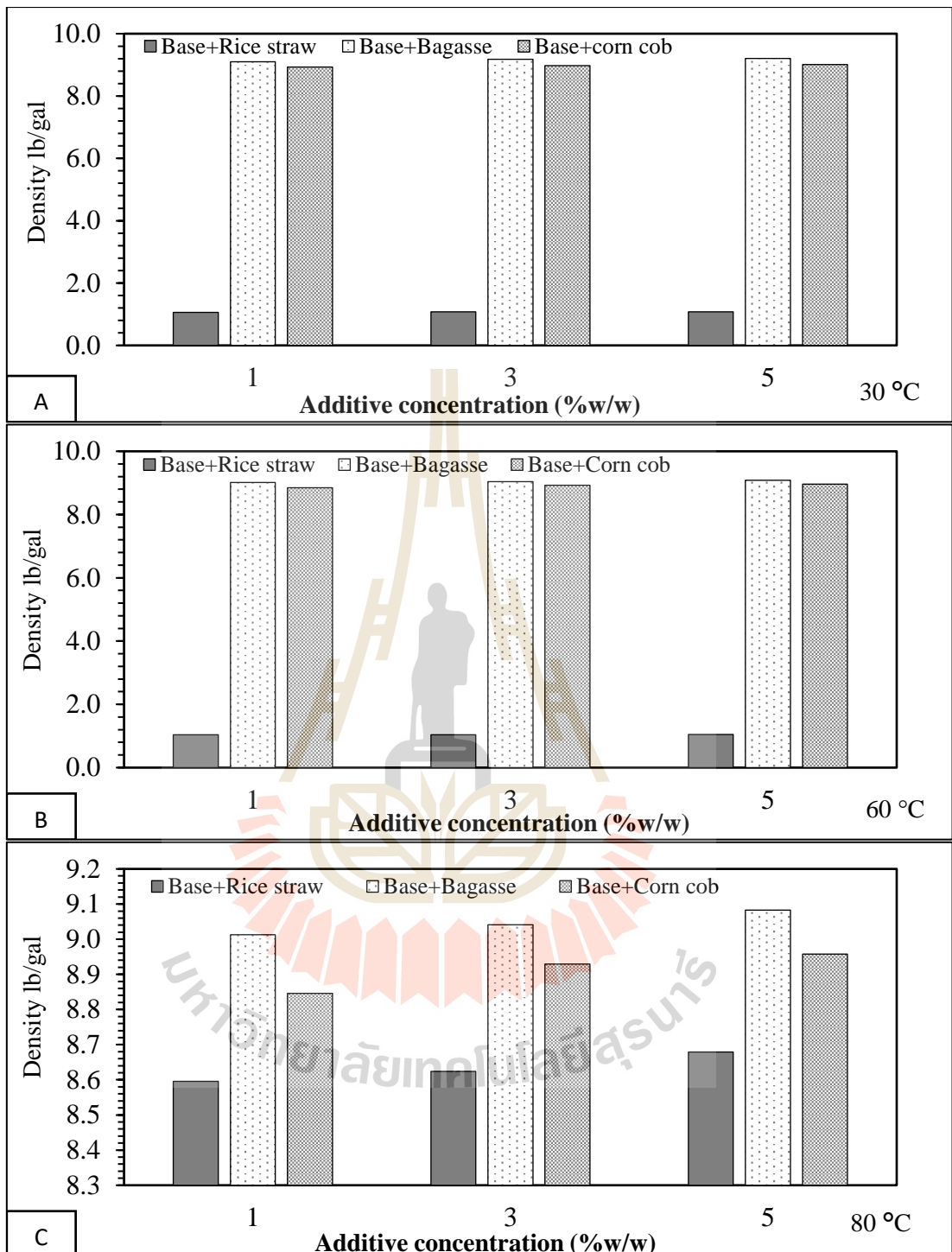
รูปที่ 4.27 ความหนาแน่นของน้ำโคลนที่ผสมกับชานอ้อย ที่อุณหภูมิ 30°C 60°C และ 80°C



รูปที่ 4.28 ความหนาแน่นของน้ำโคลนที่ผสมกับฟางข้าว ที่อุณหภูมิ 30°C 60°C และ 80°C



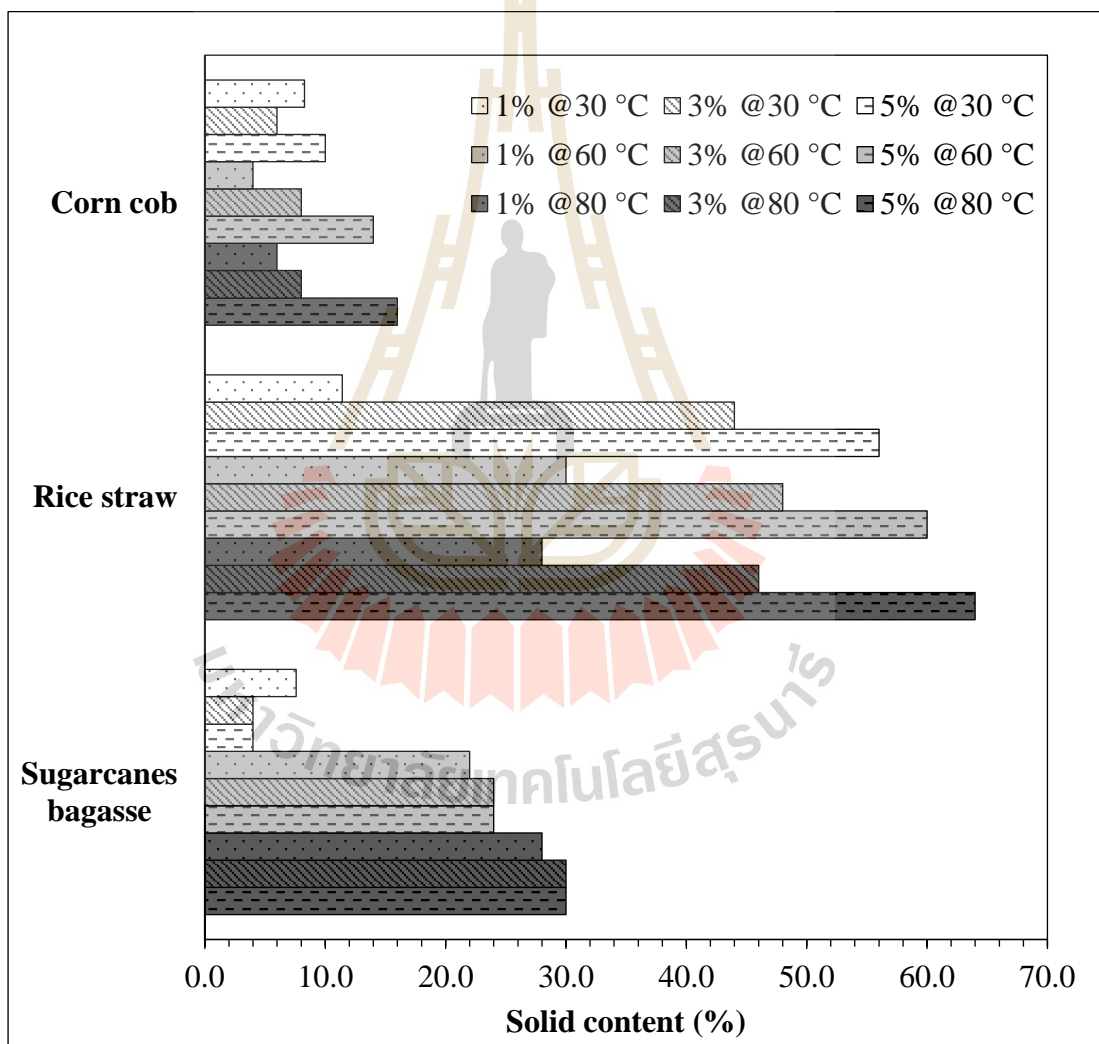
รูปที่ 4.29 ความหนาแน่นของน้ำโคลนที่ผสมกับขังข้าวโพดที่ 30°C 60°C และ 80°C



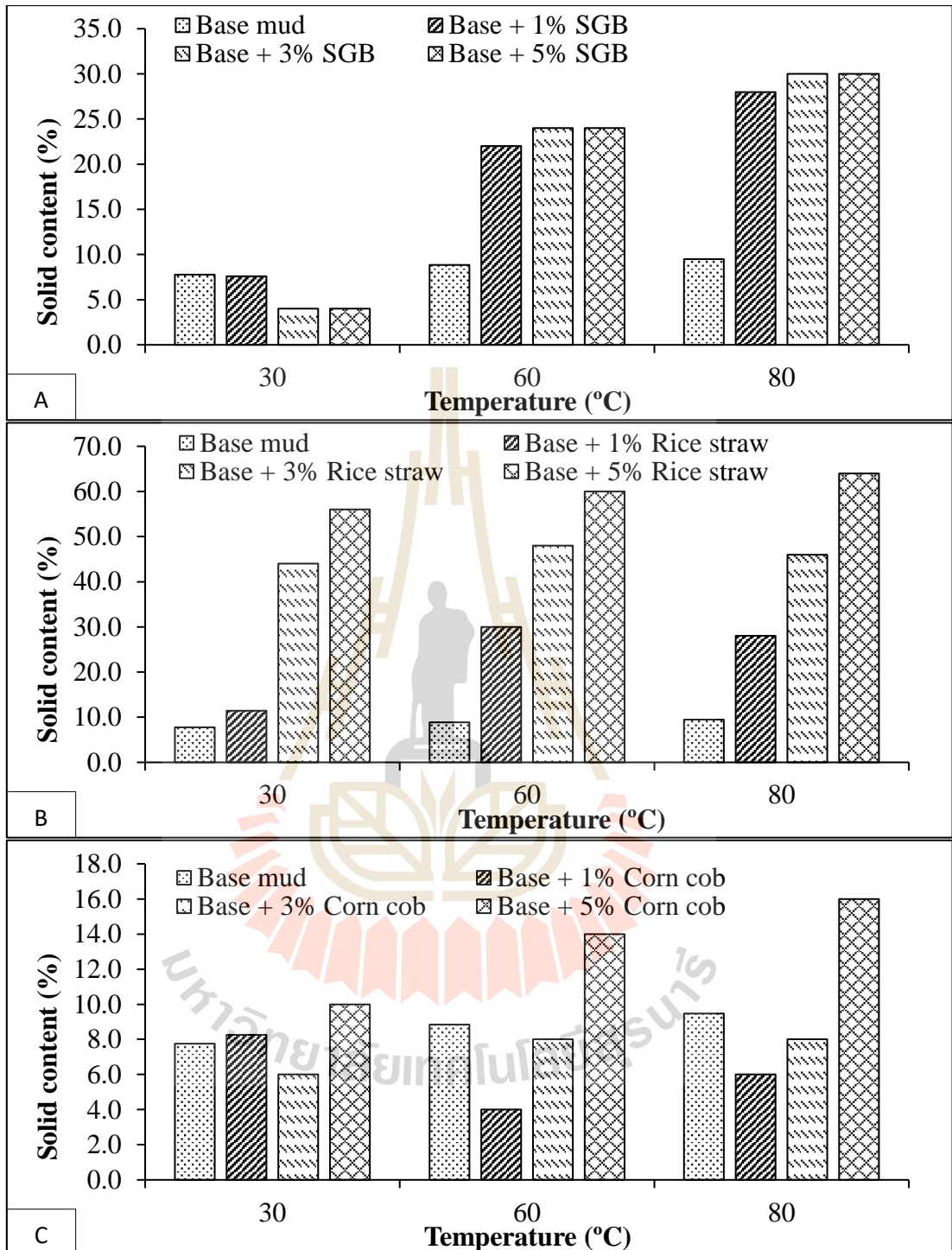
รูปที่ 4.30 ความหนาแน่นของน้ำโคลนที่ผสมกับสารเติมแต่งต่างๆ ที่ (A) 30°C (B) 60°C และ (C) 80°C

#### 4.3.7 ปริมาณของของแข็งในน้ำโคลน

ของแข็งถูกจัดเป็นของแข็งที่มีน้ำหนักมาก (HGS) ที่เรียกว่า แร่แบไรต์ และสารที่มีน้ำหนักตัวอื่นๆ ของแข็งที่มีน้ำหนักเบา (LGS) ประกอบไปด้วยดิน โพลีเมอร์และวัสดุเชื่อมต่อที่ตั้งใจใส่ลงในน้ำโคลน ของแข็งจากการเจาะและเศษหิน ปริมาณและชนิดของของแข็งในน้ำโคลนส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำโคลน ผลของปริมาณของของแข็งได้อธิบายไว้ในรูปที่ 4.31 ถึง 4.32 ปริมาณของแข็งของน้ำโคลนที่ผสมซังข้าวโพดความเข้มข้น 1 และ 3% อยู่ในช่วงมาตรฐาน ความเข้มข้นของซันอ้อย 1 3 และ 5% ที่อุณหภูมิเริ่มต้นอยู่ในช่วงมาตรฐาน



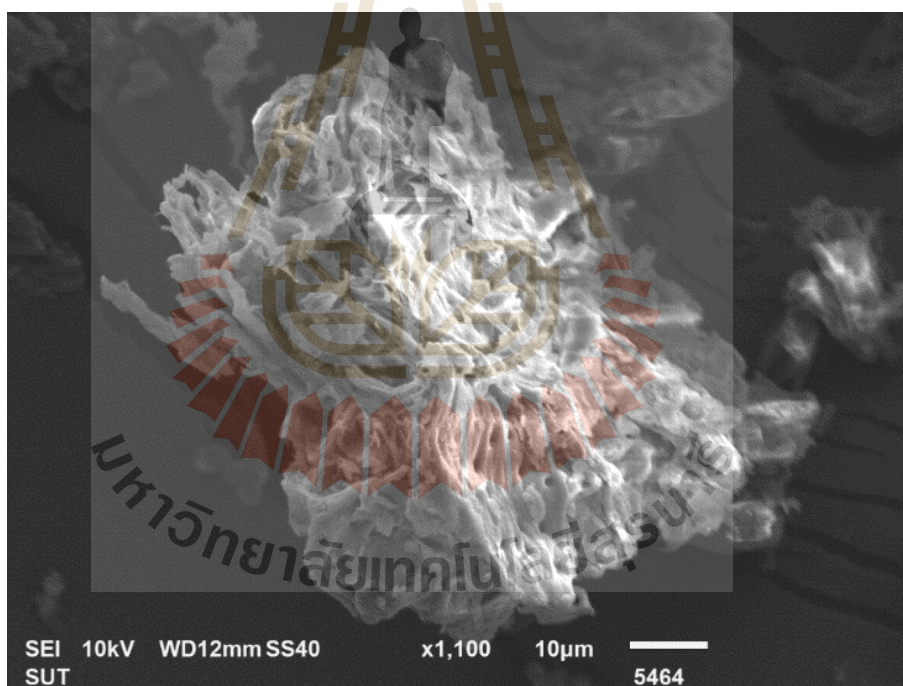
รูปที่ 4.31 ปริมาณของแข็งของน้ำโคลนที่ผสมสารเติมแต่งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 80°C



รูปที่ 4.32 ปริมาณของแข็งของน้ำโคลนที่ผสม (A) ผงชานอ้อย (SGB), (B) ผงฟางข้าว และ (C) ผงข้าวโพด ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 80 °C

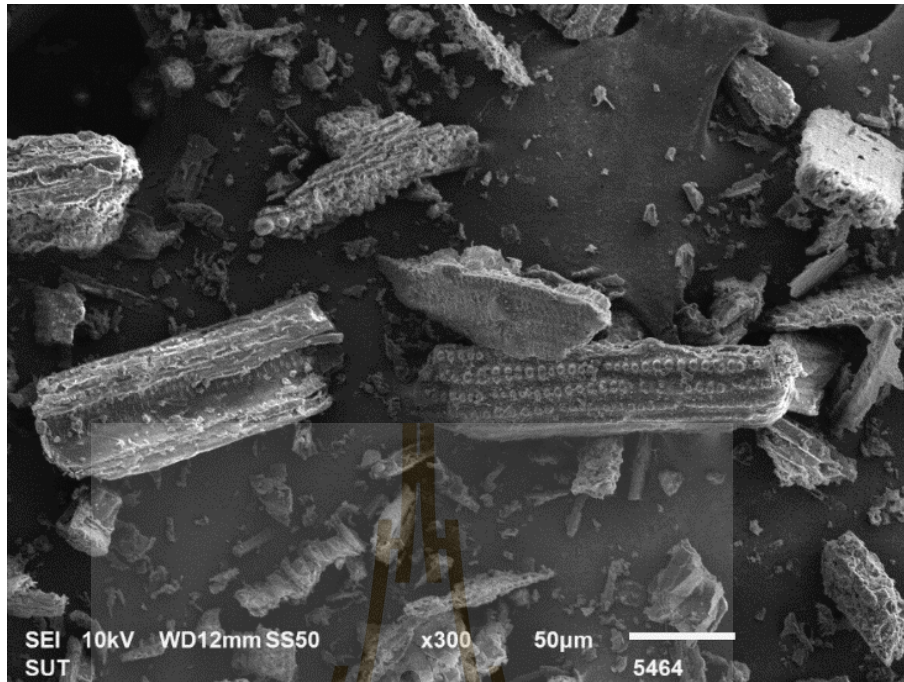
#### 4.3.8 คุณสมบัติทางสัณฐานวิทยา

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (เนื้อสัมผัส) โครงสร้างผลึกและการเรียงตัวของน้ำโคลนทั้งก่อนและหลังผสมกับผงชานอ้อย ผงฟางข้าว และผงชังข้าวโพด ถูกบันทึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อสร้างภาพโดยการสแกนด้วยลำแสงอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนมีปฏิสัมพันธ์กับอะตอมในตัวอย่าง การผลิตสัญญาณต่างๆที่มีข้อมูลเกี่ยวกับสารเติมแต่งก่อนการผสมดังแสดงในรูปที่ 4.33 ถึง 4.35 พื้นผิวของดินของตัวอย่างชั้นโคลน ได้แสดงไว้ในรูป 4.36 ถึง 4.38 สารเติมแต่งทั้ง 3 ชนิดมีคุณสมบัติที่เด่น เช่น รูปร่างเป็นแท่งและเป็นเส้นใย หลังจากผสมด้วยสารเติมแต่ง การทดลองเหล่านี้ได้ใช้ชั้นกรองโคลนเพื่อทดสอบปฏิสัมพันธ์ของสารเติมแต่งกับแร่แบไรต์และแร่เบนโทไนต์ แต่อย่างไรก็ตาม พวกมันไม่สามารถละลายได้ในน้ำและยังมองเห็นสารเติมแต่งเป็นลักษณะแท่ง

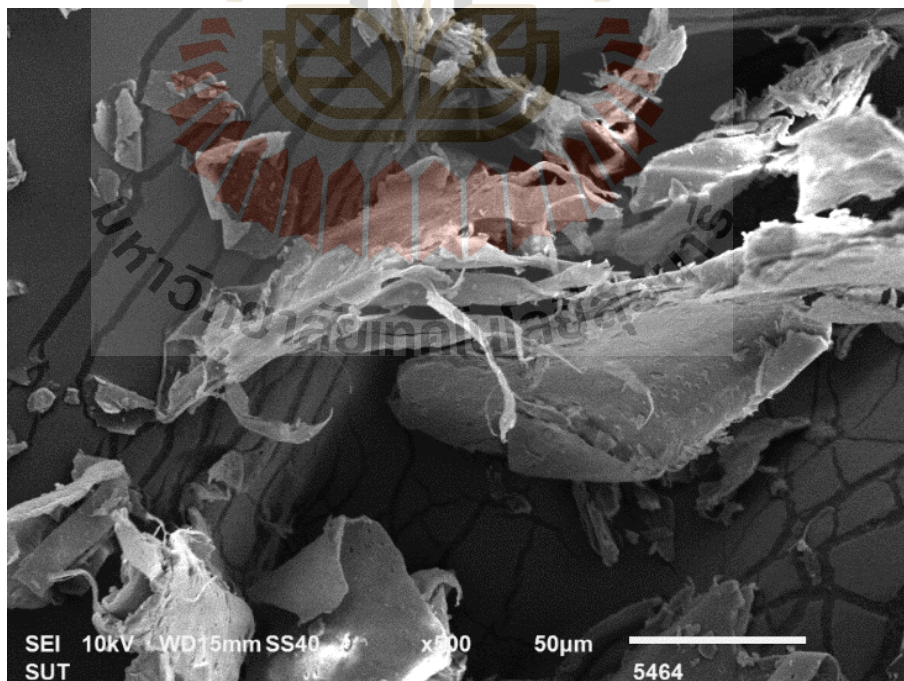


รูปที่ 4.33 พื้นผิวของอนุภาคชังข้าวโพดมีรูปร่างโค้งมนเป็นรูปทรงแท่งยาวต่อเนื่อง มีรูพรุนบนพื้นผิวจำนวนมาก

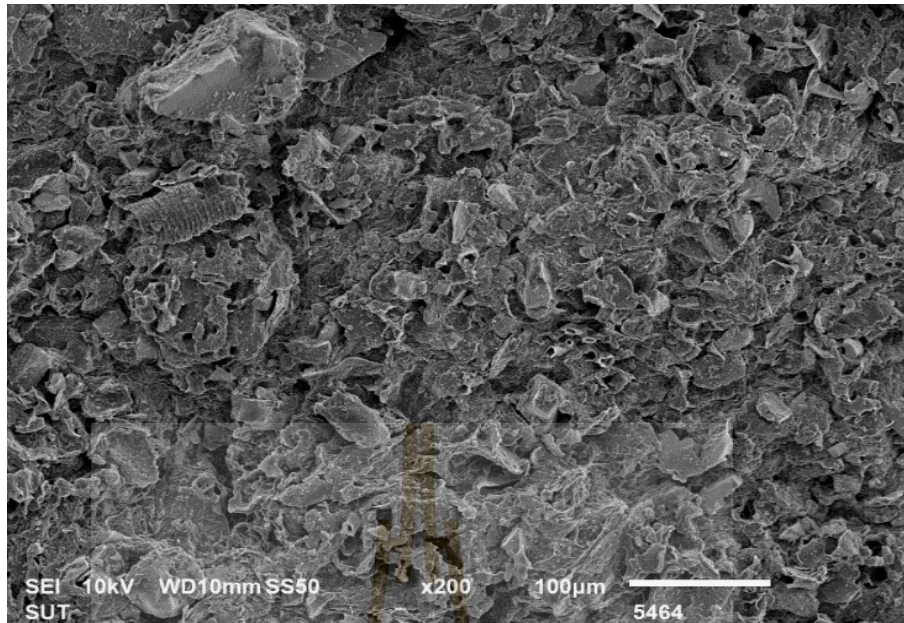




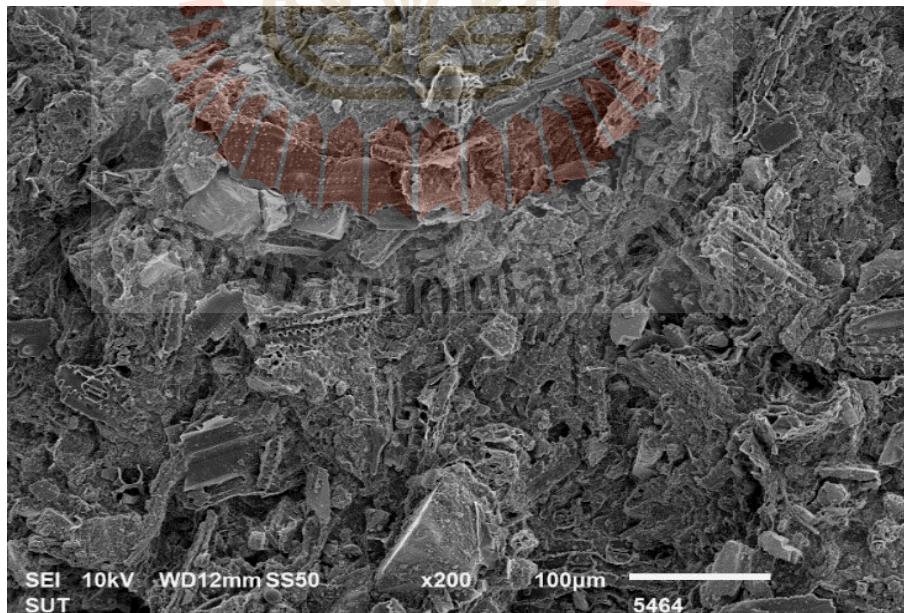
รูปที่ 4.34 พื้นผิวที่มองเห็นเป็นใบและลำต้นของฟางข้าว ที่มีลักษณะเด่นเป็นแท่งยาว แยกเป็นท่อน ๆ และไม่มีการยึดเกาะกัน



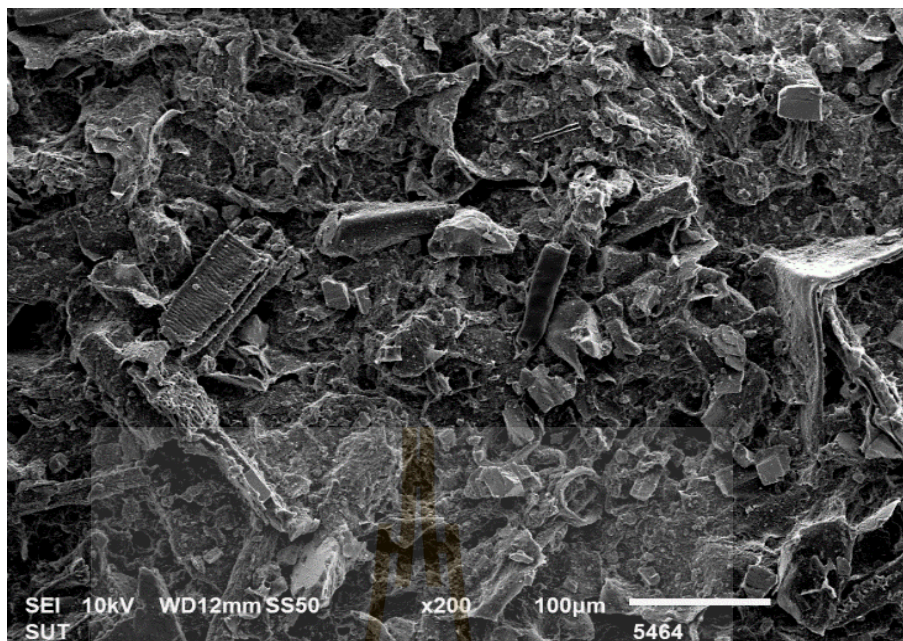
รูปที่ 4.35 พื้นผิวของขานอ้อย เป็นลักษณะก้านยาวที่สามารถดูดซับของเหลวได้ดี



รูปที่ 4.36 พื้นผิวของโคลนที่ผสมซังข้าวโพด 5% ที่อุณหภูมิ 30 °C แสดงอนุภาคของผงซังข้าวโพดที่มีการแทรกของแร่แบไรต์และแร่เบนโทไนต์ ที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน อนุภาคมีความกลมมากกว่าสารเดิมแต่งอีก 2 ชนิด บางส่วนมีรูพรุน แต่ไม่มีการเชื่อมต่อกัน ดังนั้นของเหลวจึงสามารถเข้าไปในรูพรุนได้



รูปที่ 4.37 พื้นผิวของโคลนที่ผสมฟางข้าว 5% ที่ ที่อุณหภูมิ 30 °C แสดงพื้นผิวบนชั้นของโคลน อนุภาคไม่เป็นเนื้อเดียวกัน มีปริมาณของแข็งสูง



รูปที่ 4.38 พื้นผิวของโคลนที่ผสมชานอ้อย 5% ที่ ที่อุณหภูมิ 30 °C แสดงอนุภาคที่มีการแทรกของแร่แบไรต์และแร่เบนโทไนต์ ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน อนุภาคกระจายอยู่บนพื้นผิวของชั้นของโคลน ทำให้มันมีความแข็งแรงขึ้น

#### 4.4 การวิเคราะห์ต้นทุน

โคลนจากการเจาะโดยทั่วไปมีราคาแพง และจำเป็นต้องคำนวณและเปรียบเทียบต้นทุนของชานอ้อย, ชั่งข้าวโพด และฟางข้าว กับของเหลวที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ในระบบขุดเจาะ ตารางที่ 4.3 แสดงค่าใช้จ่ายของสารเคมีที่ใช้ในการขุดเจาะน้ำโคลนเพื่อประเมินต้นทุนของระบบขุดเจาะน้ำโคลน

ราคาของชานอ้อย ชั่งข้าวโพด และฟางข้าว ถูกเปรียบเทียบกับต้นทุนของสารเคมีแต่งสำหรับสารช่วยเพิ่มความหนืดและสารควบคุมการสูญเสียของเหลว พบว่าค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีแต่งทั้ง 3 ชนิดมีราคาถูกกว่าสารควบคุมการสูญเสียของเหลวและได้ทดสอบถึงค่าใช้จ่ายที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยที่ไม่ได้คิดต้นทุนในการแปรรูปให้อยู่ในรูปแบบผงสำเร็จพร้อมใช้งาน

ตารางที่ 4.3 ต้นทุนสารเคมีที่ใช้ในการขุดเจาะน้ำโคลน

สารเคมี	ราคา (บาท)	หน่วย (กิโลกรัม)	ราคา/กิโลกรัม (บาท/กิโลกรัม)
เอพีไอ เบนโทไนต์	11,400	1,000	11.40
แบไรต์	5,000	1,000	5
โพลีลูมินัมคลอไรด์	72,000	25	2,880
กัวร์กัม	368	1	368
แซนแทน กัม	320	1	320
เจลเลนกัม	1,770	1	1,770
ซีเอ็มซี (Gabrosa HV TECH)	200,000	1,000	200
ชานอ้อย	500	1,000	0.50
ซังข้าวโพด	650	1,000	0.65
ฟางข้าว	1,400	1,000	1.40

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทนำ

บทนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งเป็นข้อสรุปและข้อเสนอแนะ ในส่วนข้อสรุป สรุปจาก 3 ส่วนหลัก (1) คุณสมบัติทางเคมี (2) คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำโคลนที่ผสมสารเติมแต่ง 3 ชนิด และ (3) การวิเคราะห์ต้นทุนของน้ำโคลนและสารเติมแต่ง ตามลำดับ ในส่วนข้อเสนอแนะ ประกอบด้วยคำแนะนำสำหรับการศึกษาในอนาคต

#### 5.2 สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาผงของชานอ้อย ชั่งข้าวโพด และฟางข้าว ประกอบด้วย การทดสอบคุณสมบัติของน้ำโคลนที่ได้จากการทดลอง มีข้อสรุปดังนี้

##### 5.2.1 คุณสมบัติทางเคมี

องค์ประกอบพื้นฐานของน้ำโคลนก่อนผสม ประกอบด้วย  $MgO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $CaO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SrO$ ,  $Rh_2O_3$  และ  $BaO$  ในขณะที่องค์ประกอบหลังจากที่ผสมกับชานอ้อย ชั่งข้าวโพด และฟางข้าว เป็นสารเติมแต่ง ประกอบด้วย  $MgO$ ,  $SiO_2$ ,  $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Rh_2O_3$  และ  $MnO_2$  แต่อย่างไรก็ตาม  $Al_2O_3$  และ  $P_2O_5$  มีความจำเพาะกับชานอ้อย  $Cl$  มีจำเพาะกับชั่งข้าวโพด และ  $SO_3$  พบในทั้งชานอ้อย และชั่งข้าวโพด แร่ธาตุที่สำคัญในน้ำโคลนหลังจากผสมกับสารเติมแต่งทดสอบที่ความเข้มข้น 5% น้ำหนักต่อน้ำหนัก ประกอบด้วย แร่แบไรต์ แร่มอนอมอริลโรไนต์ แร่เคโอลิไนต์ แร่ควอตซ์ แร่แคลไซต์ แร่ยิปซัม แร่รูไทล์ และแร่เฮมาไทต์ แต่อย่างไรก็ตาม มีความแตกต่างของแร่ธาตุที่จำเพาะในโคลนเจาะ ที่มีความเป็นผลึก โทเบอร์มอไรต์ ในชานอ้อย และแร่แมกเนไซต์และ เพอริเคลส ( $MgO$ ) ในชั่งข้าวโพดและฟางข้าว โดยกลุ่มแร่มอนอมอริลโรไนต์ โทเบอร์มอไรต์ และเพอริเคลส ( $MgO$ ) ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของน้ำโคลน ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติในการไหล ดังนั้นการผสมด้วยสารเติมแต่งช่วยปรับปรุงความแข็งแรงของชั้นโคลนและการเคลือบชั้นผนังให้ดีขึ้น

### 5.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

น้ำโคลนที่มีส่วนประกอบของผงชานอ้อย ฟางข้าว และซังข้าวโพดมีลักษณะการไหลแบบซุโดพลาสติก (ของไหลที่มีความหนืดลดลง เมื่อเพิ่มอัตราเฉือน) ที่มีค่าดัชนีการไหล ( $n$ ) น้อยกว่า 1

ค่าความหนืดปรากฏและค่าความหนืดพลาสติกของน้ำโคลนที่ผสมกับสารเติมแต่งเหล่านี้พบว่าเมื่อเพิ่มแนวโน้มเพิ่มขึ้นของจุดครากและความแข็งแรงของเจลน้ำโคลน คุณสมบัติเหล่านี้ไปเพิ่มประสิทธิภาพของการกำจัดเศษในระหว่างการไหลของน้ำโคลนจากหลุมด้านล่างสู่พื้นผิวนอกจากนี้ ประสิทธิภาพในการทำมาสะอาดหลุมด้วยหัวเจาะตัดก็เพิ่มขึ้น

ที่อุณหภูมิสูงขึ้น ผงของชานอ้อยและซังข้าวโพด พบว่ามีค่าความหนืดปรากฏและค่าความหนืดพลาสติกและความแข็งแรงของเจลน้ำโคลนสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ค่าความหนืดพลาสติกจะลดลงที่อุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อน้ำระเหยออกจากของแข็งมากขึ้น จากการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าการเกิดการรวมตัวกันของกลุ่มก้อน โคลนเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ที่อัตราส่วนความเข้มข้น 5% คุณสมบัติการไหลของชานอ้อย ฟางข้าว และซังข้าวโพด มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการผสมกับน้ำโคลนที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก ผลการเปรียบเทียบสารเติมแต่ง พบว่า ชานอ้อยมีสมบัติการไหลดีที่สุด ตามมาด้วยซังข้าวโพด และฟางข้าว

อัตราการสูญเสียน้ำสอดคล้องกับการสูญเสียในน้ำโคลนในสถานะสถิตตามมาตรฐานของน้ำโคลนที่ผสมด้วยผงของชานอ้อย ฟางข้าว และซังข้าวโพด 3% และ 5% อัตราการสูญเสียน้ำลดลง 30% สำหรับผงชานอ้อย 18% สำหรับฟางข้าว และ 21% สำหรับซังข้าวโพด เมื่อเทียบกับโคลนเบนโทไนท์ ที่อุณหภูมิ 30°C

ที่อุณหภูมิ 80°C การสูญเสียในโคลนในสถานะสถิตตามมาตรฐานของโคลนที่ผสมชานอ้อย ฟางข้าว และซังข้าวโพด เพิ่มขึ้นเป็น 40 20 และ 33 ตามลำดับ ส่งผลให้การป้องกันการสูญเสียน้ำมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ที่ความเข้มข้น 1% ของชานอ้อย ฟางข้าว และซังข้าวโพด มีการสูญเสียในน้ำโคลนในสถานะสถิตตามมาตรฐาน ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการป้องกันการสูญเสียน้ำ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า 1% ของซังข้าวโพดมีการสูญเสียน้ำสูงกว่าน้ำโคลนเบนโทไนท์ ในทางกลับกันน้ำโคลนที่มีองค์ประกอบของชานอ้อยและฟางข้าว พบว่าการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด

ชั้นผนังของโคลนมีความหนาขึ้นจากส่วนผสมของน้ำโคลนและสารเติมแต่งที่เพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้น อนุภาคของสารเติมแต่งมีการกระจายบนพื้นผิวของชั้นผนังของโคลน ทำ

ให้มันแข็งแรงกว่าอนุภาคที่มีการแทรกระหว่างแร่แบไรต์และแร่เบนโทไนต์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นว่าชั้นส่วนของสารเติมแต่งมีรูปร่างที่ยาวเป็นแท่ง อนุภาคไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่สามารถละลายในน้ำและมีระดับของแข็งสูง ชั่งข้าวโพดที่ผสมเข้ากันได้ดีกว่าสารเติมแต่งอีก 2 ชนิด เนื่องจากมีรูปร่างของอนุภาคเป็นทรงกลม ชั้นผนังของโคลนของฟางข้าวมองเห็นเป็นชั้นส่วนของใบและลำต้น

ค่า pH ของโคลนที่ผสมกับชานอ้อยมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 8.47 ถึง 9.98 น้ำโคลนผสมฟางข้าว 8.39-9.97 และน้ำโคลนชั่งข้าวโพด 8.76-9.84 ส่วนค่า pH ลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและยังลดลงเมื่อเพิ่มสารเติมแต่ง การกักต่อนเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามความลึกและความเข้มข้นของสารเติมแต่งที่สูงขึ้น

ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของสารเติมแต่ง และลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ผงชานอ้อยมีความหนาแน่นสูงที่สุด ตามมาด้วยชั่งข้าวโพดและฟางข้าว น้ำโคลนที่ผสมชานอ้อยและชั่งข้าวโพดมีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน

เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งก็จะเพิ่มขึ้น น้ำโคลนที่มีผงชานอ้อยมีปริมาณของแข็งอยู่ในช่วง 4 ถึง 30 ฟางข้าวมี 12 ถึง 64 ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน 10% ส่วนปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO<sub>2</sub>) ในฟางข้าวมี 75% ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งในน้ำโคลน น้ำโคลนที่มีชั่งข้าวโพดให้ผลที่คล้ายคลึงกันคือมีปริมาณของแข็ง 4 ถึง 16

สภาพความต้านทานของน้ำโคลนที่ผสมกับสารเติมแต่งทั้งหมดลดลงเล็กน้อย ในขณะที่อุณหภูมิและความเข้มข้นของสารเติมแต่งเพิ่มขึ้น น้ำโคลนที่ผสมกับผงชานอ้อยและฟางข้าวไปปรับปรุงสภาพต้านทานให้ดีขึ้น ในขณะที่การเพิ่มชั่งข้าวโพดจะไปลดสภาพต้านทาน แต่ยังคงใช้ประโยชน์เป็นน้ำโคลนได้

### 5.2.3 การวิเคราะห์ต้นทุน

การเปรียบเทียบราคาและเศรษฐศาสตร์ของชานอ้อย ชั่งข้าวโพด และฟางข้าว มีราคาถูกกว่าสารเติมแต่งที่เป็นสารเคมี แต่ค่าใช้จ่ายยังไม่รวมถึงวัสดุในกระบวนการขุดเจาะ ดังนั้นชานอ้อยและชั่งข้าวโพดจึงเหมาะสำหรับนำไปใช้ในระบบการขุดเจาะโคลน พวกมันเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่เป็นมิตรกับระบบนิเวศที่มีราคาไม่แพงในประเทศไทยและสามารถลดต้นทุนในการนำโคลนขุดเจาะ

สรุปคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของโคลนที่ผสมผงของชานอ้อย ชั่งข้าวโพด และฟางข้าว แสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งผลการวิเคราะห์การทดลองทางกายภาพพบว่าชานอ้อยและชั่ง

ข้าวโพดสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของความหนืด การไหล และปริมาณการสูญเสียในน้ำโคลนในสถานะสถิตตามมาตรฐานของน้ำโคลนเบนโทไนต์ พบว่า ฟางข้าวไม่ได้ช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งเมื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำโคลนที่ผสมกับผงชานอ้อยในแต่ละความเข้มข้นไม่ได้เพิ่มความหนืดและปริมาณของแข็งให้มีความเหมาะสมขึ้น ชังข้าวโพดค่อนข้างมีประสิทธิภาพที่ความเข้มข้น 1 และ 3% โดยน้ำหนัก ซึ่งอุณหภูมิไม่ได้มีผลต่อสมรรถภาพของน้ำโคลน ส่วนผลสรุปคุณสมบัติทางเคมี ลักษณะของชานอ้อยและฟางข้าวมีความยาว แต่ชังข้าวโพดมีลักษณะกลม ดังนั้นปริมาณของแข็งและความหนืดของชังข้าวโพดดีกว่าสารเติมแต่งทั้งสองข้างต้น ส่วนชานอ้อยช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการสูญเสียได้ดีที่สุด จากการศึกษาวิจัยคุณสมบัติทางเคมีของโคลนที่ผสมกับวัสดุทุกชนิดที่ใช้ในการศึกษา พบว่ามีผลกระทบเล็กน้อยจากอุณหภูมิ เนื่องจากความผันแปรของอุณหภูมิไม่ได้ไปเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง แต่ไปเปลี่ยนแปลงปริมาณขององค์ประกอบและแร่ธาตุของโคลนเล็กน้อย





ตารางที่ 5.1 สรุปการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของโคลนที่ผสมกับผงชานอ้อย ชั่งข้าวโพด และฟางข้าว

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	คุณสมบัติทางเคมี		คุณสมบัติทางกายภาพ										วิเคราะห์ ต้นทุน	หมายเหตุ	
		XRF	XRD	SEM	ความหนาแน่น	ความหนืด					การซึมผ่านน้ำ	กรด-ด่าง	ความต้านทาน			ปริมาณของแข็ง
						AV	PV	YP	n	K						
น้ำโคลน เบนโท ไนต์	30	SiO <sub>2</sub> = 50.53 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 11.31 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 4.77 MgO = 4.91 BaO = 2.07	Bar = 46.52 Q = 23.54 Cal = 6.00 Kao = 9.7	ลักษณะผิวของ แผ่นโคลนที่ได้ จากการทดลอง มีลักษณะของ แผ่นแระเบน	1.11	15.0	8.8	12.5	0.51	1.1	19.75	10.34	4.64	7.76	เบนโท ไนต์ ราคา 11.4	API Standard
	60	SiO <sub>2</sub> = 53.52 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 12.22 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 5.42 MgO = 4.88 BaO = 2.56	Bar = 47.25 Q = 24.32 Cal = 6.52 Kao = 10.25	โตนต์และแบ ไรต์ที่เชื่อมต่อ กันแม้จะผ่าน ความร้อน โดย การเพิ่ม	1.10	19.5	8.0	23.0	0.33	4.7	21.25	10.26	4.42	8.84	บาท/กก. แบไรต์ ราคา 5 บาท/กก	
	80	SiO <sub>2</sub> = 54.23 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 11.25 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 4.98 MgO = 5.23 BaO = 3.22	Bar = 46.25 Q = 23.45 Cal = 5.89 Kao = 9.65	อุณหภูมิจาก 60 ถึง 80°C	1.09	28.6	5.3	46.8	0.13	24.4	23.25	10.14	4.38	9.48		

หมายเหตุ: ↑ = เพิ่มขึ้น ↓ = ลดลง - = เท่าเดิม, Q=Quartz, Kao=Kaolinite, Cal=Calcite, Bar=Barite, Gyp=Gypsum, Tob=Tobermorite และ Per=Periclase

ตารางที่ 5.1 สรุปการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของโคลนที่ผสมกับผงชานอ้อย ชั่งข้าว โปด และฟางข้าว (ต่อ)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	คุณสมบัติทางเคมี		คุณสมบัติทางกายภาพ										วิเคราะห์ ต้นทุน	หมายเหตุ			
		XRF	XRD	SEM	ความหนาแน่น	ความหนืด					การซึมผ่านน้ำ	กรด-ด่าง	ความต้านทาน			ปริมาณของแข็ง		
						AV	PV	YP	n	K								
ชานอ้อย (1%)	30	SiO <sub>2</sub> =54.23 SO <sub>3</sub> =16.32 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =15.92 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =5.69 BaO=3.56	Q=7.85 Kao=32.12 Cal=8.63 Bar=43.24 Gyp=4.50 Tob=1.64	ผงชานอ้อยมี ลักษณะเป็นแท่ง จะแตกตัวอยู่ ระหว่างเบนโท ไนต์และแบไรต์ ไม่สามารถ รวมกันเป็นเนื้อ เดียวกับน้ำโคลน ได้	↓	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	-	ต้นทุนของ ผงชานอ้อย มีราคาถูก กว่าสาร ควบคุมการ สูญเสียน้ำ ได้ และเป็น มิตรกับ สิ่งแวดล้อม	น้ำโคลนชุดเจาะที่ ผสมผงชานอ้อยที่ ร้อยละ 1 สามารถ ปรับปรุ คุณภาพการ สูญเสียน้ำและ ความต้านทานได้
	60	SiO <sub>2</sub> =53.65 SO <sub>3</sub> =17.89 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =16.25 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =4.89 BaO=2.65	Q=7.84 Kao=33.56 Cal=7.85 Bar=42.56 Gyp=4.65 Tob=1.47		↓	↓	-	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↑			
	80	SiO <sub>2</sub> =53.25 SO <sub>3</sub> =19.52 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =14.52 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =4.95 BaO=4.85	Q=6.69 Kao=35.25 Cal=8.25 Bar=43.76 Gyp=4.37 Tob=1.29		↓	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↑			

หมายเหตุ: ↑ = เพิ่มขึ้น ↓ = ลดลง - = เท่าเดิม, Q=Quartz, Kao=Kaolinite, Cal=Calcite, Bar=Barite, Gyp=Gypsum, Tob=Tobermorite และ Per=Periclase

ตารางที่ 5.1 สรุปการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ โคลนที่ผสมกับผงชานอ้อย ชั่งข้าว โปด และฟางข้าว (ต่อ)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	คุณสมบัติทางเคมี		คุณสมบัติทางกายภาพ										วิเคราะห์ ต้นทุน	หมายเหตุ				
		XRF	XRD	SEM	ความหนาแน่น	ความหนืด					การซึมผ่านน้ำ	ครด-ต่าง	ความต้านทาน			ปริมาณของแข็ง			
						AV	PV	YP	n	K									
ชานอ้อย (3%)	30	SiO <sub>2</sub> =54.32 SO <sub>3</sub> =18.65 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =15.45 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =5.42 BaO=2.65	Q=7.75 Kao=36.32 Cal=7.87 Bar=42.12 Gyp=6.20 Tob=1.56	ผงชานอ้อยมี ลักษณะเป็นแท่ง จะแตกตัวอยู่ ระหว่างเบนโท ไนต์และแบไรต์ ไม่สามารถ รวมกันเป็นเนื้อ เดียวกับน้ำโคลน ได้	-	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↓	ต้นทุนของ ผงชานอ้อย มีราคาถูก กว่าสาร ควบคุมการ สูญเสียน้ำ ได้ และเป็น มิตรกับ สิ่งแวดล้อม	น้ำโคลนชุดเจาะที่ ผสมผงชานอ้อยที่ ร้อยละ 3 สามารถ ปรับปรุง คุณภาพการ สูญเสียน้ำและ ความต้านทานได้
	60	SiO <sub>2</sub> =55.86 SO <sub>3</sub> =18.45 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =15.12 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =4.32 BaO=2.98	Q=7.23 Kao=32.65 Cal=8.23 Bar=44.85 Gyp=4.23 Tob=1.65		↓	↑	-	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↑					
	80	SiO <sub>2</sub> =55.65 SO <sub>3</sub> =18.23 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =14.25 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =5.65 BaO=3.85	Q=7.52 Kao=35.25 Cal=6.88 Bar=43.56 Gyp=5.57 Tob=1.65		↓	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↑					

หมายเหตุ: ↑ = เพิ่มขึ้น ↓ = ลดลง - = เท่าเดิม, Q=Quartz, Kao=Kaolinite, Cal=Calcite, Bar=Barite, Gyp=Gypsum, Tob=Tobermorite และ Per=Periclase

ตารางที่ 5.1 สรุปการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ โคลนที่ผสมกับผงชานอ้อย ชั่งข้าว โปด และฟางข้าว (ต่อ)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	คุณสมบัติทางเคมี		คุณสมบัติทางกายภาพ										วิเคราะห์ ต้นทุน	หมายเหตุ		
		XRF	XRD	SEM	ความหนาแน่น	ความหนืด					การซึมผ่านน้ำ	กรด-ด่าง	ความต้านทาน			ปริมาตร	
						AV	PV	YP	n	K							
ชานอ้อย (5%)	30	SiO <sub>2</sub> =55.23 SO <sub>3</sub> =18.12 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =14.91 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =5.75 BaO=2.96	Q=7.34 Kao=32.40 Cal=7.49 Bar=42.74 Gyp=5.50 Tob=1.74	ผงชานอ้อยมี ลักษณะเป็นแท่ง จะแตกตัวอยู่ ระหว่างเบนไท	-	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↓	ต้นทุนของ ผงชานอ้อย มีราคาถูก กว่าสาร ควบคุมการ สูญเสียน้ำ ได้ และเป็น มิตรกับ สิ่งแวดล้อม	น้ำโคลนชุด เจาะที่ผสมผง ชานอ้อยที่ ร้อยละ 5 สามารถ ปรับปรุง คุณภาพการ สูญเสียน้ำ และความ ต้านทานได้
	60	SiO <sub>2</sub> =55.45 SO <sub>3</sub> =18.56 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =15.24 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =4.32 BaO=3.21	Q=7.54 Kao=31.56 Cal=6.85 Bar=43.56 Gyp=5.65 Tob=1.87	ไนต์และแบไรต์ ไม่สามารถรวมกัน เป็นเนื้อเดียวกับน้ำ โคลนได้	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↑			
	80	SiO <sub>2</sub> =54.95 SO <sub>3</sub> =18.65 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =14.81 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =5.45 BaO=3.54	Q=7.69 Kao=33.25 Cal=7.88 Bar=41.56 Gyp=5.87 Tob=1.89		↓	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↑		

หมายเหตุ: ↑ = เพิ่มขึ้น ↓ = ลดลง - = เท่าเดิม, Q=Quartz, Kao=Kaolinite, Cal=Calcite, Bar=Barite, Gyp=Gypsum, Tob=Tobermorite และ Per=Periclase

ตารางที่ 5.1 สรุปการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ โคลนที่ผสมกับผงชานอ้อย ชั่งข้าว โปด และฟางข้าว (ต่อ)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	คุณสมบัติทางเคมี		คุณสมบัติทางกายภาพ									วิเคราะห์ ต้นทุน	หมายเหตุ			
		XRF	XRD	SEM	ความหนาแน่น	ความหนืด					การซึมผ่านน้ำ	กรด-ด่าง			ความเค็ม	ปริมาณของแข็ง	
						AV	PV	YP	n	K							
ฟางข้าว (1%)	30	SiO <sub>2</sub> =52.65 SO <sub>3</sub> =15.23 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =14.23 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =6.21 BaO=2.52	Q=11.52 Kao=32.25 Cal=1.52 Bar=44.85 Gyp=4.23 Per=4.85	ชิ้นส่วนของผง ฟางข้าวเป็นแผ่น มีรูปร่างยาว	↓	↑	↑	-	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↑	ต้นทุนของ ผงฟางข้าว มีราคาถูก กว่าสาร ควบคุมการ สูญเสียไนโตรเจน ได้ และเป็น มิตรกับ สิ่งแวดล้อม	น้ำโคลนขุดเจาะที่ ผสมผงฟางข้าวที่ ร้อยละ 1 สามารถ ปรับปรุง คุณภาพการ สูญเสียไนโตรเจน ความต้านทานได้ แต่มีปริมาณ ของแข็งในน้ำ โคลนสูงกว่าค่า มาตรฐาน
	60	SiO <sub>2</sub> =52.36 SO <sub>3</sub> =16.23 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =12.58 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =5.98 BaO=3.58	Q=10.52 Kao=31.85 Cal=1.25 Bar=43.65 Gyp=3.52 Per=5.12	กระจายอยู่บน แผ่น โคลน ชิ้นส่วนมีหลาย ขนาดกันจึงทำให้	↓	↑	↑	-	↑	↓	↓	↓	↑	↑			
	80	SiO <sub>2</sub> =54.32 SO <sub>3</sub> =15.28 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =14.85 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =6.85 BaO=3.20	Q=10.63 Kao=34.52 Cal=1.89 Bar=42.36 Gyp=4.85 Per=5.95	มีปริมาณของแข็ง สูง	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑		

หมายเหตุ: ↑ = เพิ่มขึ้น ↓ = ลดลง - = เท่าเดิม, Q=Quartz, Kao=Kaolinite, Cal=Calcite, Bar=Barite, Gyp=Gypsum, Tob=Tobermorite และ Per=Periclase

ตารางที่ 5.1 สรุปการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ โคลนที่ผสมกับผงชานอ้อย ชั่งข้าวโพด และฟางข้าว (ต่อ)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	คุณสมบัติทางเคมี		คุณสมบัติทางกายภาพ									วิเคราะห์ ต้นทุน	หมายเหตุ			
		XRF	XRD	SEM	ความหนาแน่น	ความหนืด					การซึมผ่านน้ำ	กรด-ด่าง			ความต้านทาน	ปริมาณของแข็ง	
						AV	PV	YP	n	K							
ฟางข้าว (3%)	30	SiO <sub>2</sub> =54.36 SO <sub>3</sub> =18.95 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =12.56 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =6.85 BaO=3.55	Q=10.85 Kao=32.65 Cal=1.85 Bar=45.32 Gyp=4.98 Per=5.32	ชั้นส่วนของผง ฟางข้าวเป็นแผ่น มีรูปร่างยาว	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↑	ต้นทุนของ ผงฟางข้าว มีราคาถูก กว่าสาร ควบคุมการ สูญเสียน้ำ ได้ และเป็น มิตรกับ สิ่งแวดล้อม	น้ำโคลนชุดเจาะที่ ผสมผงฟางข้าวที่ ร้อยละ 1 สามารถ ปรับปรุงการ ควบคุมการ สูญเสียน้ำและความ ต้านทานได้ แต่มี ปริมาณของแข็งใน น้ำโคลนสูงกว่าค่า มาตรฐาน
	60	SiO <sub>2</sub> =56.23 SO <sub>3</sub> =18.32 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =14.85 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =5.93 BaO=3.25	Q=12.23 Kao=36.52 Cal=1.03 Bar=42.32 Gyp=4.03 Per=4.98	กระจายอยู่บน แผ่น โคลน ชั้นส่วนมีหลาย ขนาดกันจึงทำให้	↓	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑			
	80	SiO <sub>2</sub> =55.32 SO <sub>3</sub> =14.32 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =11.23 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =6.32 BaO=2.35	Q=10.87 Kao=34.23 Cal=1.89 Bar=44.42 Gyp=44.89 Per=3.78	มีปริมาณของแข็ง สูง	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑		

หมายเหตุ: ↑ = เพิ่มขึ้น ↓ = ลดลง - = เท่าเดิม, Q=Quartz, Kao=Kaolinite, Cal=Calcite, Bar=Barite, Gyp=Gypsum, Tob=Tobermorite และ Per=Periclase

ตารางที่ 5.1 สรุปการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ โคลนที่ผสมกับผงชานอ้อย ชั่งข้าว โปด และฟางข้าว (ต่อ)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	คุณสมบัติทางเคมี		คุณสมบัติทางกายภาพ									วิเคราะห์ ต้นทุน	หมายเหตุ			
		XRF	XRD	SEM	ความหนาแน่น	ความหนืด					การซึมผ่านน้ำ	กรด-ด่าง			ความต้านทาน	ปริมาณของแข็ง	
						AV	PV	YP	n	K							
ฟางข้าว (5%)	30	SiO <sub>2</sub> =53.23 SO <sub>3</sub> =16.26 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =13.52 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =6.35 BaO=3.54	Q=10.30 Kao=30.54 Cal=1.04 Bar=44.11 Gyp=5.26 Per=4.35	ชั้นส่วนของผง ฟางข้าวเป็นแผ่น มีรูปร่างยาว กระจายอยู่บน แผ่น โคลน	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↑	ต้นทุนของผง ฟางข้าวมีราคา ถูกกว่าสาร ควบคุมการ สูญเสียน้ำได้ และเป็นมิตรกับ สิ่งแวดล้อม	น้ำโคลนชุด เจาะที่ผสมผง ฟางข้าวที่ร้อยละ 1 สามารถ ปรับปรุ้งการ สูญเสียน้ำและ ความต้านทาน ได้ แต่มีปริมาณ ของแข็งในน้ำ โคลนสูงกว่าค่า มาตรฐาน
	60	SiO <sub>2</sub> =54.23 SO <sub>3</sub> =16.52 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =13.56 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =5.25 BaO=4.63	Q=10.32 Kao=30.56 Cal=1.12 Bar=43.56 Gyp=4.23 Per=4.85	ชั้นส่วนมีหลาย ขนาดกันจึงทำให้ มีปริมาณของแข็ง สูง	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑			
	80	SiO <sub>2</sub> =52.36 SO <sub>3</sub> =15.98 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =14.23 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =6.52 BaO=2.56	Q=10.23 Kao=31.56 Cal=1.52 Bar=43.23 Gyp=4.65 Per=4.25		↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↑			

หมายเหตุ: ↑ = เพิ่มขึ้น ↓ = ลดลง - = เท่าเดิม, Q=Quartz, Kao=Kaolinite, Cal=Calcite, Bar=Barite, Gyp=Gypsum, Tob=Tobemorit และ Per=Periclase

ตารางที่ 5.1 สรุปการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ โคลนที่ผสมกับผงซัง อ้อย ช้างข้าวโพด และฟางข้าว (ต่อ)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	คุณสมบัติทางเคมี		คุณสมบัติทางกายภาพ									วิเคราะห์ ต้นทุน	หมายเหตุ		
		XRF	XRD	SEM	ความหนาแน่น	ความหนืด					การซึมผ่านน้ำ	กรด-ด่าง			ความเค็ม	ปริมาณของแข็ง
						AV	PV	YP	n	K						
ช้าง ข้าวโพด (1%)	30	SiO <sub>2</sub> =52.36 SO <sub>3</sub> =13.96 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =16.52 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =6.74 BaO=1.52 Mgo=5.20	Q=8.23 Kao=35.21 Cal=1.63 Bar=48.95 Gyp=2.63 Per=1.89	ชิ้นส่วนของช้าง ข้าวโพดแทรกตัว อยู่ระหว่างเบน โทไนต์และแบ ไรต์ สามารถ ผสมเข้ากันได้ดี ในน้ำโคลน ชิ้นส่วนมีรูพรุน ทำให้ซึบน้ำ โคลนได้	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↓	ต้นทุนของ ผงซัง ข้าวโพดมี ราคาถูกกว่า สารควบคุม การสูญเสียน้ำ ได้ และ เป็นมิตรกับ สิ่งแวดล้อม	น้ำโคลนขุดเจาะ ผสมด้วยผงซัง ข้าวโพด สามารถ ปรับปรุงคุณภาพ น้ำโคลนได้
	60	SiO <sub>2</sub> =54.23 SO <sub>3</sub> =15.45 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =17.45 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =7.65 BaO=1.85 Mgo=5.65	Q=4.36 Kao=36.22 Cal=1.85 Bar=51.33 Gyp=3.54 Per=1.87		↓	↑	-	↑	↓	↑	↓	↓	↑	↓		
	80	SiO <sub>2</sub> =53.21 SO <sub>3</sub> =15.41 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =17.23 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =6.85 BaO=2.54 Mgo=4.65	Q=4.22 Kao=31.25 Cal=1.85 Bar=43.25 Gyp=1.22 Per=1.63		↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓		

หมายเหตุ: ↑ = เพิ่มขึ้น ↓ = ลดลง - = เท่าเดิม, Q=Quartz, Kao=Kaolinite, Cal=Calcite, Bar=Barite, Gyp=Gypsum, Tob=Tobermorite และ Per=Periclase



ตารางที่ 5.1 สรุปการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ โคลนที่ผสมกับผงชานอ้อย ชั่งข้าวโพด และฟางข้าว (ต่อ)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	คุณสมบัติทางเคมี		คุณสมบัติทางกายภาพ									วิเคราะห์ต้นทุน	หมายเหตุ		
		XRF	XRD	SEM	ความหนาแน่น	ความหนืด					การซึมผ่านน้ำ	กรด-ด่าง			ความต้านทาน	ปริมาณของแข็ง
						AV	PV	YP	n	K						
ชั่งข้าวโพด (3%)	30	SiO <sub>2</sub> =53.52 SO <sub>3</sub> =15.85 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =14.62 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =6.55 BaO=1.98 Mgo=5.32	Q=4.22 Kao=33.65 Cal=1.45 Bar=48.25 Gyp=2.89 Per=1.45	ชั้นส่วนของชั่งข้าวโพดแทรกตัวอยู่ระหว่างเบนโทไนต์และแบไรต์ สามารถผสมเข้ากันได้ดีในน้ำโคลน	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	ต้นทุนของผงชั่งข้าวโพดมีราคาสูงกว่าสารควบคุมการสูญเสียน้ำได้ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	น้ำโคลนชุดเจาะผสมด้วยผงชั่งข้าวโพดสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำโคลนได้แต่ไม่สามารถควบคุมปริมาณของแข็งได้
	60	SiO <sub>2</sub> =53.21 SO <sub>3</sub> =16.32 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =17.99 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =8.25 BaO=1.25 Mgo=3.21	Q=5.63 Kao=36.21 Cal=1.25 Bar=51.23 Gyp=2.44 Per=2.03	ชั้นส่วนมีรูพรุนทำให้ซึมน้ำโคลนได้	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	80	SiO <sub>2</sub> =51.32 SO <sub>3</sub> =16.23 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =15.85 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =6.45 BaO=2.54 Mgo=5.32	Q=3.52 Kao=35.12 Cal=1.98 Bar=47.32 Gyp=2.85 Per=1.98	ชั้นส่วนมีรูพรุนทำให้ซึมน้ำโคลนได้	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

หมายเหตุ: ↑ = เพิ่มขึ้น ↓ = ลดลง - = เท่าเดิม, Q=Quartz, Kao=Kaolinite, Cal=Calcite, Bar=Barite, Gyp=Gypsum, Tob=Tobermorite และ Per=Periclas

ตารางที่ 5.1 สรุปการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ โคลนที่ผสมกับผงชั่งข้าวโพด และฟางข้าว (ต่อ)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	คุณสมบัติทางเคมี		คุณสมบัติทางกายภาพ								วิเคราะห์ ต้นทุน	หมายเหตุ			
		XRF	XRD	SEM	ความหนาแน่น	ความหนืด					การซึมผ่านน้ำ			กรด-ด่าง	ความต้านทาน	ปริมาณของแข็ง
						AV	PV	YP	n	K						
ชั่งข้าวโพด (5%)	30	SiO <sub>2</sub> =52.43 SO <sub>3</sub> =14.24 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =15.42 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =7.71 BaO=1.95 Mgo=4.60	Q=4.78 Kao=34.69 Cal=1.15 Bar=49.81 Gyp=2.65 Per=1.34	ชั้นส่วนของชั่งข้าวโพดแทรกตัวอยู่ระหว่างเบนโทไนต์และแบไรต์ สามารถผสมเข้ากันได้ดีในน้ำโคลน	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↑	ต้นทุนของผงชั่งข้าวโพดมีราคาถูกกว่าสารควบคุมการสูญเสียน้ำได้ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	น้ำโคลนชุดเจาะผสมด้วยผงชั่งข้าวโพดสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำโคลนได้แต่ไม่สามารถควบคุมปริมาณของแข็งได้
	60	SiO <sub>2</sub> =54.32 SO <sub>3</sub> =14.23 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =16.32 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =7.23 BaO=1.23 Mgo=4.32	Q=4.85 Kao=35.23 Cal=1.25 Bar=50.32 Gyp=3.21 Per=1.85	ชั้นส่วนมีรูพรุนทำให้ซึบน้ำโคลนได้	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↑		
	80	SiO <sub>2</sub> =53.85 SO <sub>3</sub> =15.23 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =16.25 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =6.52 BaO=2.12 Mgo=4.65	Q=4.25 Kao=33.52 Cal=1.63 Bar=48.32 Gyp=1.98 Per=1.56	ชั้นส่วนมีรูพรุนทำให้ซึบน้ำโคลนได้	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑		

หมายเหตุ: ↑ = เพิ่มขึ้น ↓ = ลดลง - = เท่าเดิม, Q=Quartz, Kao=Kaolinite, Cal=Calcite, Bar=Barite, Gyp=Gypsum, Tob=Tobermorite และ Per=Periclase

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

ความไม่แน่นอนและความไม่เพียงพอของการตรวจสอบในงานวิจัยนี้และผลที่ตามมา ทำให้มีข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษานในอนาคตต่อไป ดังนี้ :

- สมบัติทางความร้อนของน้ำโคลนด้วยวัสดุสามชนิดควรจะถูกตรวจสอบที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 °C เพื่อวิเคราะห์ช่วงของอุณหภูมิที่สามารถใช้งานได้โดยไม่มี การเสื่อมสภาพของสารเติมแต่งที่เกิดจากอุณหภูมิ
- ความเข้มข้นของผงชานอ้อย ชั่งข้าวโพด และฟางข้าว ควรถูกทดสอบที่น้อยกว่า 1% และมากกว่า 5%
- ผงชานอ้อย ชั่งข้าวโพด และฟางข้าว ยากที่จะผสมลงในของเหลว เนื่องจากมันไม่ละลายในน้ำ ดังนั้นเนื้อของโคลนจะไม่ใช่เนื้อเดียวกัน ซึ่งยังมองเห็นสารเติมแต่งแขวนลอยอยู่ สามารถเพิ่มอิมัลซิไฟเออร์ลงไปเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ได้
- ควรจะได้รับการทดสอบผลของความเค็มหรืออิเล็กโทรไลต์ต่อน้ำโคลนที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลักที่ผสมกับสารเติมแต่งทั้งสามชนิด อิเล็กโทรไลต์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ โพแทสเซียมคลอไรด์หรือปูนขาว มักจะถูกใช้ในการน้ำโคลนขุดเจาะโคลนและมีผลต่อน้ำโคลนเบนโทไนต์
- ควรจะมีการทดสอบผลของขนาดวัสดุต่อสมรรถภาพของน้ำโคลน
- เพื่อประเมินสมรรถภาพในอนาคตของการสูญเสียหรือคุณสมบัติอื่นๆในน้ำโคลน ลิกนินและเซลลูโลสของผงชานอ้อย ฟางข้าว และชั่งข้าวโพด ควรถูกสกัดก่อนนำมาผสม
- การเปรียบเทียบควรทำด้วยสารเติมแต่งเชิงพาณิชย์อื่น ๆ สำหรับปรับปรุงประสิทธิภาพ ความพร้อมใช้งาน ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและปัจจัยต้นทุนต่ำ ที่ดีขึ้น

## รายการอ้างอิง

- สถาบันค้นคว้าและพัฒนาการผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, (2541). เอกสาร  
โครงการศึกษาวิจัยการผลิตน้ำตาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 101-131
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, (2557). สถิติการเกษตรของประเทศ  
ไทย ปี 2557”, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ, 2557
- เอก ลิมปิสวัสดิ์ (2553). รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ กองการสำรวจและผลิตปิโตรเลียม  
และ Mud Program สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา
- Ahmed-Haras, M.R., Ibrahim, M.N.M., Ali, A.S.M., Sipaut, C.S., and Abdalsalam, A.A.A, (2013).  
Lignocellulosic-Based Rheological Modifier for High Temperature Oilfield Drilling  
Operations, American Journal of Engineering Research (AJER), Volume-02, Issue-11,  
230-241.
- Anawe, P. A. L, Efeovbokhan, V. E, Adebayo, T. A, and Nwaogwugwu, M. M. , (2014). The Effect  
of Rice Husk and Sawdust on the Properties of Oil Based Mud at Varied Temperatures,  
Journal of Energy Technologies and Policy, ISSN 2225-0573 (Online), Vol.4, No.2, 1-12
- API Recommended Practice 13B, (1976). API Recommended Practice for Field Testing Drilling  
Fluids (6<sup>th</sup> edit), Washington: API, Vol. 13B, 9-20
- API Recommended Practice, (1997). Recommended Practice for Field Testing Water-based  
Drilling Fluids (2<sup>nd</sup> ed.). American Petroleum Institute. Washington D.C.
- Ayers, R.U., and Ayres, L.W, (1995). Materials-Cycle Optimization in the Production of Major  
Finished Materials, Chapter 13: Coal Ash: Resources and Possible, Fontainebleau, France,  
214-228
- Cheng, J., (2009), Biomass to Renewable Energy Processes, Taylor and Francis Group, New York

- Jacob, N.C.G., and Bari-Agara, B., (2014). Evaluation of Corn Cob Cellulose and its Suitability for Drilling Mud Formulation, *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, ISSN: 2248-9622, Vol. 4, Issue 5 (Version 7), May 2014, 112-117
- Kolias, S., Kasselouri-Rigopoulou, V., and Karahalios, A. (2005). Stabilization of clayey soils with high calcium fly ash and cement. *Cement and Concrete Composites*. 27(2): 301-313.
- Liang, L.S, and Ibrahim, M.N.M., (2013). Preparation of Lignin Graft Copolymer as a Fluid Loss Additive for Water-based Mud, *Journal of Engineering Science*, Vol. 9, 39-49
- Matthew, D.S., (2000), *Fundamental Properties of Rice Straw in Comparison with Softwoods*, ESPM 286, Forest Products Laboratory Document, University of California.
- MI SWACO, (1998). *Rheology and Hydraulic*. In *Engineering Drilling Fluid Manual*. Revision No: A-2
- Okon, A.N., Udoh, F.D., and Bassey, P.G., (2014) Evaluation of Rice Husk as Fluid Loss Control Additive in Water-Based Drilling Mud, *Society of Petroleum Engineers*, SPE-172379-MS, 1-10.
- SIPE, (2003). *Well Engineers Notebook*, Edition 4, May 2003, I-1 to I-18



ตารางที่ ก1 : วิทยากระแสของน้ำโคลนตัวอย่าง

Test temperature (°C)	No.	Mud composition	Apparent viscosity (cP)	Bingham Plastic Model		Power Law model		Gel <sub>in</sub>	Gel <sub>10</sub>
				Plastic viscosity (cP)	Yield point (lb <sub>f</sub> /100ft <sup>2</sup> )	<i>n</i>	<i>k</i>		
30	1	Base	15	8.8	12.5	0.498	4.9	8	9
	4	Base+1% SCB	20	11	18	0.471	7.7	14	15
	5	Base+3% SCB	16	15	25	0.453	12.0	17	21
	6	Base+5% SCB	39	19	41	0.391	26.6	20	23
	13	Base+1% Corn cob	17	9	17	0.432	8.9	10	14
	14	Base+3% Corn cob	24	15	18	0.532	6.0	12	20
	15	Base+5% Corn cob	25	15	20	0.508	7.5	18	20
	22	Base+1% Rice straw	16	10	12	0.545	3.7	7	8
	23	Base+3% Rice straw	23	15	15	0.595	3.7	8	10
	24	Base+5% Rice straw	25	21	19	0.606	4.6	14	15
60	2	Base	19.5	8	23	0.331	20.1	13	14
	7	Base+1% SCB	18	8	21	0.339	17.4	14	15
	8	Base+3% SCB	26	8	16	0.429	8.5	9	17
	9	Base+5% SCB	41	18	46	0.356	35.2	22	26
	16	Base+1% Corn cob	21	8	26	0.309	24.9	23	25

ตารางที่ ก1 : วิทยากระแสของน้ำโคลนตัวอย่าง (ต่อ)

Test temperature (°C)	No.	Mud composition	Apparent viscosity (cP)	Bingham Plastic Model		Power Law model		Gel <sub>in</sub>	Gel <sub>10</sub>
				Plastic viscosity (cP)	Yield point (lb <sub>f</sub> /100ft <sup>2</sup> )	n	k		
60	17	Base+3% Corn cob	23	9	29	0.310	27.7	18	22
	18	Base+5% Corn cob	33	13	40	0.312	38.7	25	28
	25	Base+1% Rice straw	22	10	23	0.392	14.6	10	12
	26	Base+3% Rice straw	22	9	26	0.328	22.8	20	20
	27	Base+5% Rice straw	27	13	27	0.413	15.5	22	24
80	3	Base	28.6	5.3	46.8	0.139	111.8	14	15
	10	Base+1% SCB	22	6	33	0.198	57.8	20	25
	11	Base+3% SCB	27	14	23	0.471	10.0	14	18
	12	Base+5% SCB	44	21	45	0.397	28.5	20	26
	19	Base+1% Corn cob	22	9	25	0.343	20.7	26	28
	20	Base+3% Corn cob	21	10	23	0.379	15.5	15	16
	21	Base+5% Corn cob	39	15	47	0.317	43.7	28	32
	28	Base+1% Rice straw	22	9	26	0.326	22.9	18	19
	29	Base+3% Rice straw	26	10	32	0.304	31.6	28	29
	30	Base+5% Rice straw	30	11	29	0.349	22.9	22	26



ตารางที่ ก2 : ผลการทดลองแรงเฉือนและแรงเค้นของน้ำโคลนเบนโทไนต์

rpm	Average reading	Shear rate	Shear stress
600	30	1021.8	0.064
300	21	510.9	0.045
200	17	340.6	0.036
100	13	170.3	0.028
6	9	10.2	0.019
3	7	5.1	0.015

ตารางที่ ก2-1 : ความหนืดของน้ำโคลนเบนโทไนต์ ที่ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

RPM $\omega$	Dial reading $\theta$					
	1	2	3	4	Avg. Reading	Reading
600	29	29	31	31	30.00	30
300	20	21	22	22	21.25	21
200	17	17	18	18	17.50	17
100	13	13	14	14	13.50	13
6	9	9	9	9	9.00	9
3	8	8	7	8	7.75	7

ตารางที่ ก2-2 : ความหนืดของน้ำโคลนเบนโทไนต์ ที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

RPM	Dial reading $\theta$					
	1	2	3	4	Avg. Reading	Reading
600	39	39	39	39	39.00	39
300	31	31	31	31	31.00	31
200	27	28	27	28	27.50	27
100	23	23	23	23	23.00	23
6	17	18	18	17	17.50	17
3	14	14	14	14	14.00	14

ตารางที่ ก2-3 : ความหนืดของน้ำโคลนเบนโทไนต์ ที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

RPM	Dial reading $\theta$					
	1	2	3	4	Avg. Reading	Reading
600	55	57	58	59	57.25	57
300	49	52	54	53	52.00	52
200	46	50	52	45	48.25	48
100	41	44	47	41	43.25	43
6	19	20	22	18	19.75	19
3	14	13	15	14	14.00	14

ตารางที่ ก3 : ค่าเฉลี่ยปริมาตรการสูญเสียน้ำของน้ำโคลนขุดเจาะ

Temp. (°C)	No.	Filtration Loss (ml.)					
		1 min	4 min	9 min	16 min	25 min	30 min
30	1	2.5	6	10	12.5	17	19
60	2	3	8	12.5	17	21	23
80	3	3	8.5	14	17	22	24
30	4	2.5	5.5	9	12	15.5	17
30	5	1.5	4	6.75	9.5	12	13.25
30	6	1.5	4.5	7.25	9.5	13	13.5
60	7	2	5	8	11	14	15.5
60	8	2	5	8	11	14	15.25
60	9	2.5	4.75	7.5	10.5	13	14.25
80	10	2.5	6.5	10.25	14	17.5	19.75
80	11	2.5	6.25	10	13.5	17	18.5
80	12	2	5	7.5	10.5	13	14.5
30	13	3	7	11	14.5	18.5	20.5
30	14	2	5.5	8.5	11.75	15	16.5
30	15	2	4.5	7.75	10.75	13.5	15
60	16	2.5	5.5	9	12	15.25	16.75
60	17	3	6.5	10	13.5	17	18.5
60	18	2.5	5.5	8.5	11.5	14.5	16
80	19	2.5	6	9.5	13	16	17.5
80	20	3.5	7.5	11.5	15.5	17	21
80	21	2.5	5.5	8.5	11.5	14.5	16
30	22	1.2	4.6	7.2	10	13	14.4
30	23	2	5	8	11	14	15.5
30	24	2	5	8	11	14	15.5
60	25	2	5.8	8.5	13.5	16.5	18.5
60	26	2	5	8.5	11.5	14	15.75

ตารางที่ ก3 : ค่าเฉลี่ยปริมาตรการสูญเสียของน้ำโคลนชุดเจาะ (ต่อ)

Temp. (°C)	No.	Filtration Loss (ml.)					
		1 min	4 min	9 min	16 min	25 min	30 min
60	27	2	4	8	11	14	14.25
80	28	2.5	6.5	9.5	14.5	18	20
80	29	2.5	6.5	10.5	14.5	18.25	20.25
80	30	2.5	6.5	9	13.5	17	19

ตารางที่ ก4 : ความเป็นกรดต่างของน้ำโคลนชุดเจาะ

No.	Samples	pH reading			Average
		#1	#2	#3	
1	Mud	10.32	10.35	10.36	10.34
	Mud filtrate	9.78	9.96	9.72	9.82
2	Mud	10.2	10.27	10.3	10.26
	Mud filtrate	8.78	9.21	8.92	8.97
3	Mud	10.12	10.14	10.14	10.13
	Mud filtrate	8.97	8.86	9.00	8.95
4	Mud	9.74	9.91	10.30	9.98
	Mud filtrate	9.57	9.56	9.43	9.52
5	Mud	9.22	9.27	9.19	9.23
	Mud filtrate	9.10	9.12	9.27	9.16
6	Mud	9.05	9.10	9.38	9.18
	Mud filtrate	8.82	8.72	8.77	8.77
7	Mud	9.53	9.52	9.52	9.52
	Mud filtrate	9.51	9.52	9.50	9.51
8	Mud	8.82	8.93	8.63	8.79
	Mud filtrate	8.77	8.86	8.61	8.75

ตารางที่ ก4 : ความเป็นกรดต่างของน้ำโคลนชุดเจาะ (ต่อ)

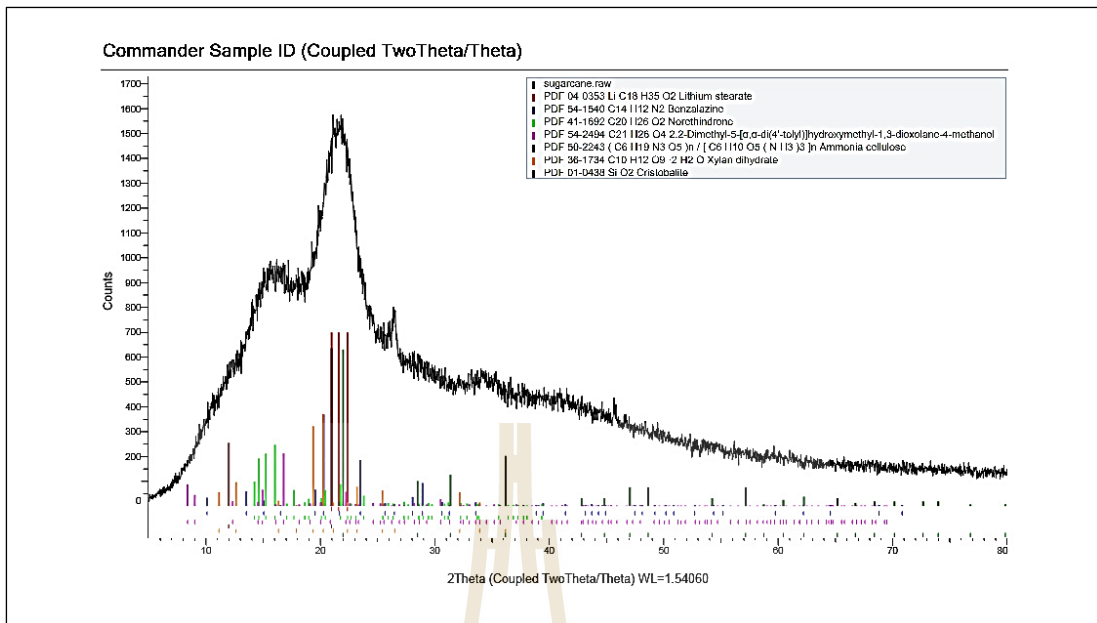
No.	Samples	pH reading			Average
		#1	#2	#3	
9	Mud	8.79	8.72	8.63	8.71
	Mud filtrate	8.68	8.68	8.66	8.67
10	Mud	9.31	9.41	9.32	9.35
	Mud filtrate	9.27	9.25	9.24	9.25
11	Mud	8.64	8.66	8.6	8.63
	Mud filtrate	8.56	8.51	8.53	8.53
12	Mud	8.45	8.52	8.43	8.47
	Mud filtrate	8.42	8.44	8.41	8.42
13	Mud	9.68	9.83	10.00	9.84
	Mud filtrate	9.58	9.38	9.40	9.45
14	Mud	9.40	9.41	9.41	9.41
	Mud filtrate	9.22	9.23	9.24	9.23
15	Mud	9.12	9.13	9.14	9.13
	Mud filtrate	8.96	8.96	8.98	8.97
16	Mud	9.60	9.41	9.45	9.49
	Mud filtrate	9.57	9.02	9.03	9.21
17	Mud	9.23	9.22	9.24	9.23
	Mud filtrate	8.43	8.42	8.42	8.42
18	Mud	8.76	8.85	8.88	8.83
	Mud filtrate	8.88	8.76	8.79	8.81
19	Mud	9.48	9.49	9.51	9.49
	Mud filtrate	9.04	9.04	9.06	9.05
20	Mud	9.18	9.17	9.17	9.17
	Mud filtrate	8.50	8.48	8.49	8.49

ตารางที่ ก4 : ความเป็นกรดต่างของน้ำโคลนขุดเจาะ (ต่อ)

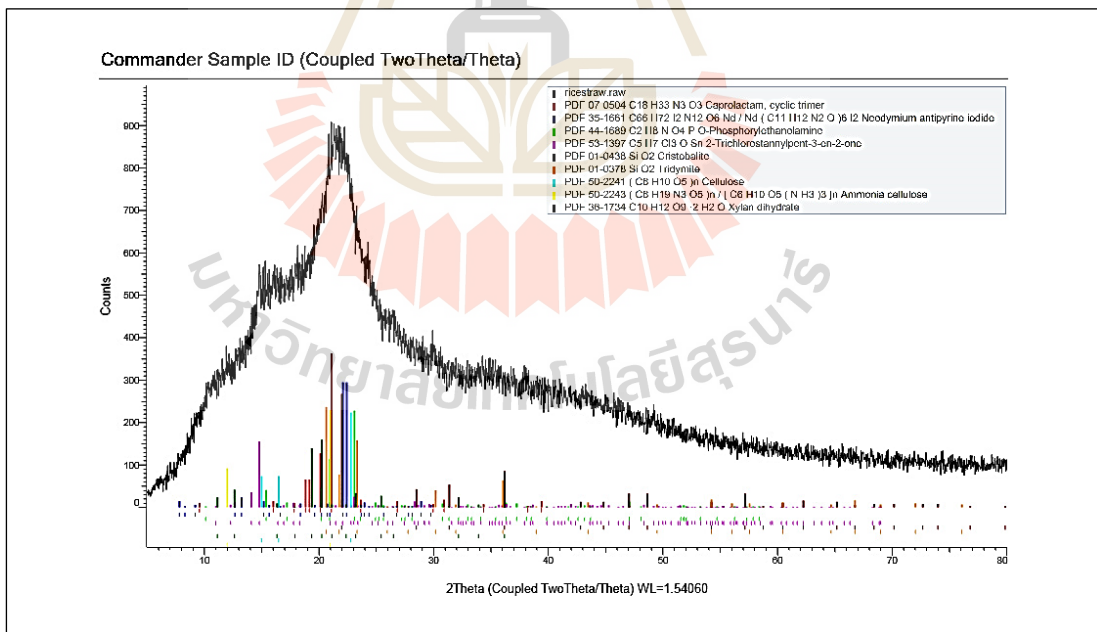
No.	Samples	pH reading			Average
		#1	#2	#3	
21	Mud	8.75	8.78	8.76	8.76
	Mud filtrate	8.48	8.48	8.49	8.48
22	Mud	9.97	9.96	9.98	9.97
	Mud filtrate	9.36	9.35	9.39	9.37
23	Mud	9.49	9.59	9.54	9.54
	Mud filtrate	9.38	9.39	9.35	9.37
24	Mud	9.14	9.15	9.15	9.15
	Mud filtrate	9.07	9.07	9.05	9.06
25	Mud	9.89	9.90	9.91	9.90
	Mud filtrate	9.02	9.11	9.80	9.31
26	Mud	8.84	8.86	8.88	8.86
	Mud filtrate	8.83	8.84	8.84	8.84
27	Mud	8.78	8.75	8.75	8.76
	Mud filtrate	8.70	8.73	8.73	8.72
28	Mud	9.26	9.38	9.39	9.34
	Mud filtrate	8.99	9.03	9.01	9.01
29	Mud	8.50	8.48	8.46	8.48
	Mud filtrate	8.48	8.41	8.41	8.43
30	Mud	8.38	8.39	8.39	8.39
	Mud filtrate	8.26	8.28	8.28	8.27

ตารางที่ ๓ : ปริมาณของแข็งของน้ำโคลนชุดเจาะ

No.	SGB	RS	CC	%Solid			ml. of water		
				Temperature (°C)			Temperature (°C)		
	(%w/w)	(%w/w)	(%w/w)	30	60	80	30	60	80
1   2   3	-	-	-	7.8	8.8	9.5	28.0	45.5	45.5
4   7   10	1	-	-	7.6	22.0	28.0	41.0	39.0	39.0
5   8   11	3	-	-	4.0	24.0	30.0	48.0	38.0	35.0
6   9   12	5	-	-	4.0	24.0	30.0	49.0	48.0	47.0
13   16   19	-	1	-	11.4	30.0	28.0	33.0	28.0	22.0
14   17   20	-	3	-	44.0	48.0	46.0	35.0	26.0	20.0
15   18   21	-	5	-	56.0	60.0	64.0	36.0	27.0	18.0
22   25   28	-	-	1	8.3	4.0	6.0	49.0	47.0	45.0
23   26   29	-	-	3	6.0	8.0	8.0	49.0	46.0	43.0
24   27   30	-	-	5	10.0	14.0	16.0	47.0	46.0	42.0

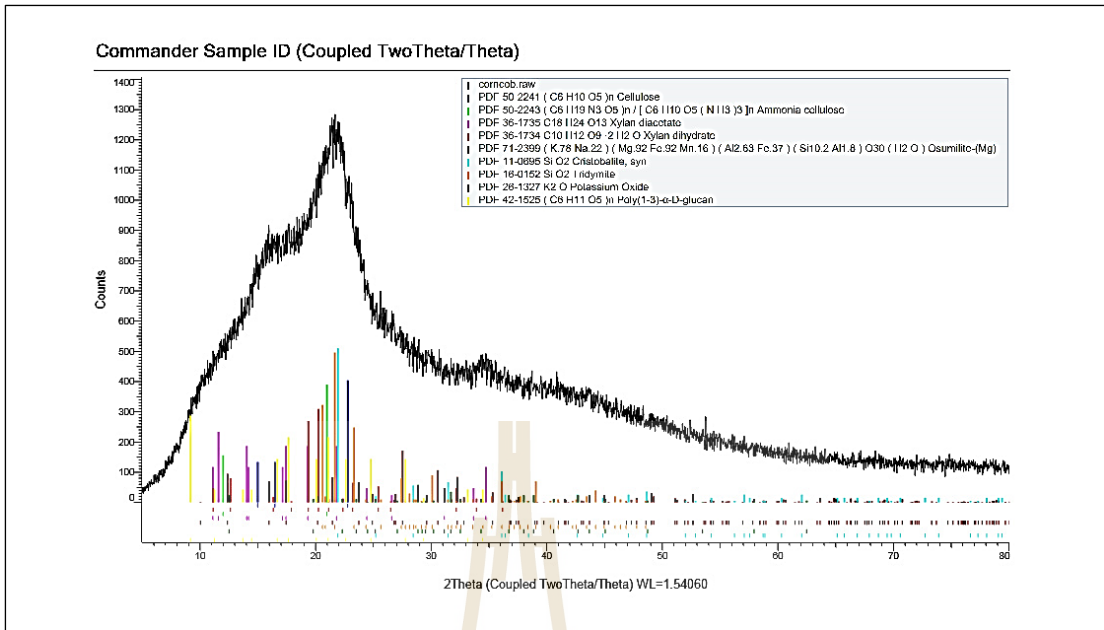


รูปที่ ๑1: XRD of sugarcane bagasse. That cannot analyze by X-ray diffractometer due to they are amorphous material.

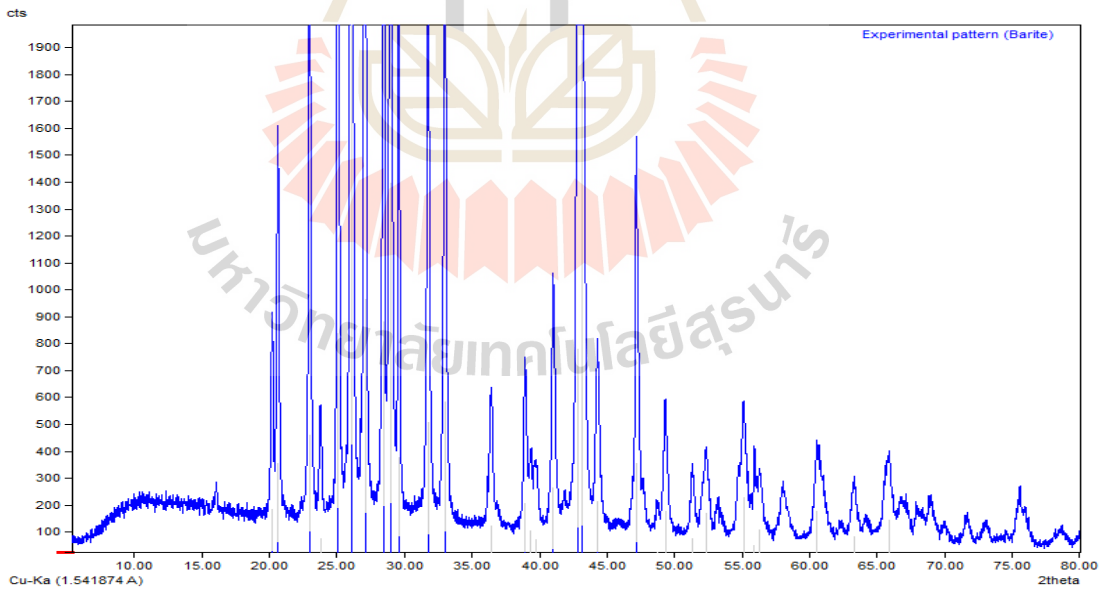


รูปที่ ๑2: XRD of rice straw. It cannot analyze by X-ray diffractometer due to they are amorphous material.





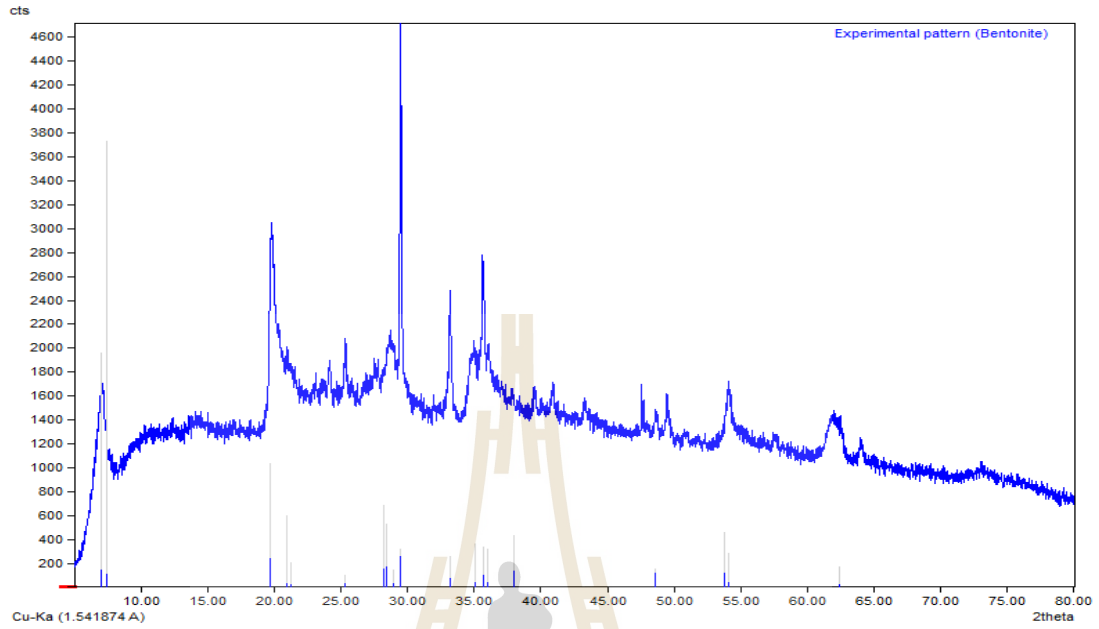
รูปที่ ๓: XRD of corn cob. It cannot analyze by X-ray diffractometer due to they are amorphous material.



Quantitative Analysis - Rietveld

Phase 1 : Quartz	1.078 %
Phase 2 : Anhydrite	6.428 %
Phase 3 : Barite	89.992 %

รูปที่ ๓: XRD of barite



## Quantitative Analysis - Rietveld

Phase 1	: Quartz	0.000 %
Phase 2	: Calcite	0.679 %
Phase 3	: "Kaolinite (BISH)"	2.584 %
Phase 4	: Nontronite	10.230 %
Phase 5	: Muscovite-2M1	1.450 %
Phase 6	: Aragonite	0.589 %
Phase 7	: Orthoclase	0.646 %
Phase 8	: Hematite	0.531 %
Phase 9	: Montmorillonite	1.058 %
Phase 10	: Albite	5.476 %
Phase 11	: Gypsum	1.718 %
Phase 12	: Anorthite	2.316 %
Phase 13	: Chromite	0.336 %
Phase 14	: Talc	1.613 %
Phase 15	: Barite	0.001 %
Phase 16	: Cristobalite	0.180 %
Phase 17	: "Dickite (BAILEY)"	2.348 %
Phase 18	: Trona	2.834 %
Phase 19	: Thermonatrite	3.041 %
Phase 20	: Halite	0.000 %
Phase 21	: Chlorite	0.000 %
Phase 22	: Illite	61.146 %
Phase 23	: Vermiculite	0.682 %
Phase 24	: Palygorskite	0.512 %

รูปที่ ๓5: XRD of bentonite

## ประวัตินักวิจัย

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

