

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 บทนำ

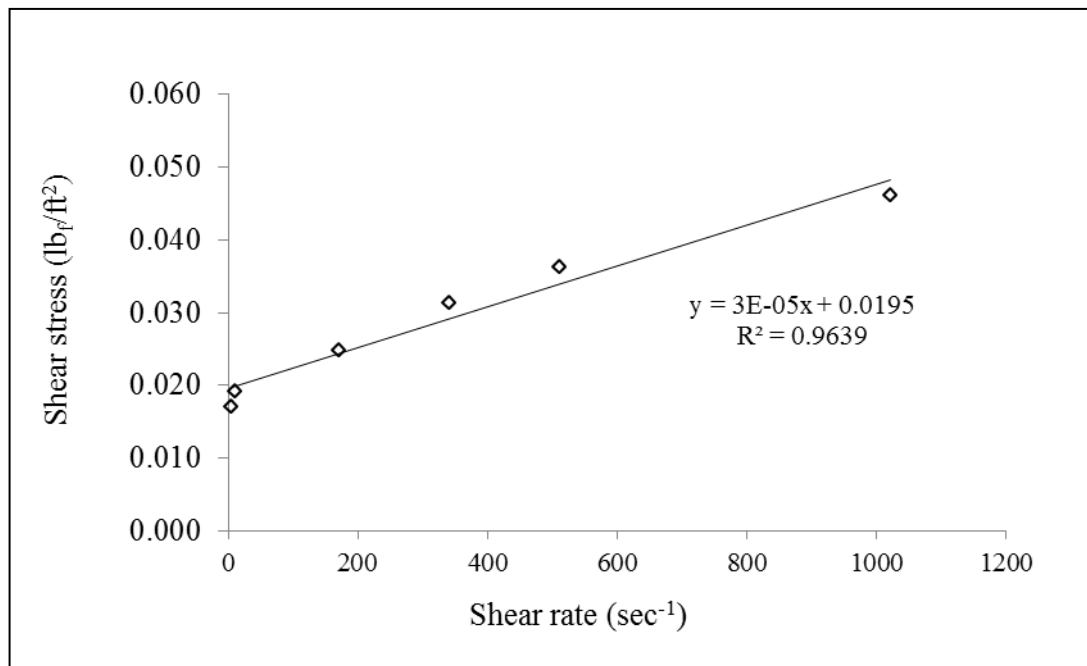
ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองของตัวอย่างน้ำโคลนที่ถูกทดสอบคุณสมบัติด้านวิทยากระแส คุณสมบัติการซึมผ่านและค่าความเป็นกรด่าง ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบราคาของสารเติมแต่งที่ใช้ผสมน้ำโคลน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2 การหาค่าคุณสมบัติด้านวิทยากระแสและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

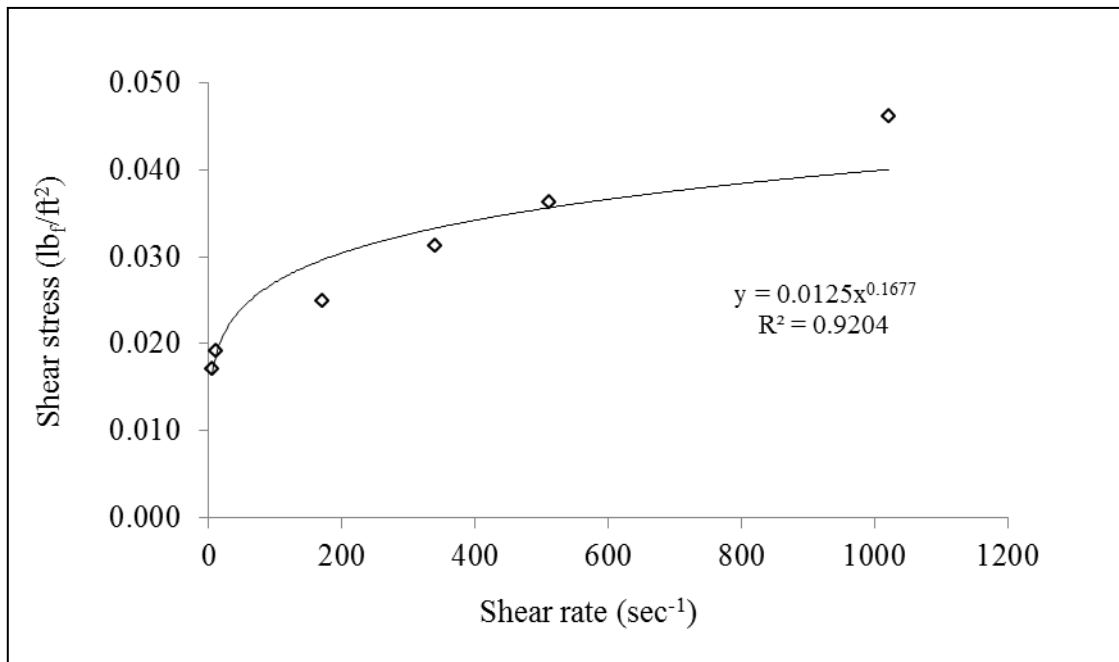
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าแรงเฉือน (Shear stress) และอัตราแรงเฉือน (Shear rate) ของน้ำโคลนเบนโทไนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ทั้ง 6 ค่า โดยค่าเฉลี่ยจากการอ่านเครื่องวัดความหนืดจะถูกนำมาคำนวณค่าแรงเฉือนและอัตราแรงเฉือนโดยสมการ 3.1 และ 3.2 ที่ได้นำเสนอในบทที่แล้ว และทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าแรงเฉือนและอัตราแรงเฉือนแล้วสร้างเส้นแนวโน้มเพื่อตรวจสอบว่าเส้นแนวโน้มที่ได้มีลักษณะสอดคล้องกับแบบจำลองพาวเวอร์ลอว์หรือบิงแฮมพลาสติก โดยใช้เส้นแนวโน้มแบบสมการเส้นตรง (Linear) และแบบยกกำลัง (Power) โดยตามทฤษฎีนั้นของไหลแบบบิงแฮมพลาสติกจะแสดงพฤติกรรมการไหลสอดคล้องกับเส้นแนวโน้มแบบเส้นตรงในขณะที่ของไหลแบบพาวเวอร์ลอว์นั้นจะแสดงพฤติกรรมการไหลสอดคล้องกับเส้นแนวโน้มแบบยกกำลัง ยกตัวอย่าง จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงกราฟพฤติกรรมการไหลของน้ำโคลนเบนโทไนต์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกราฟทั้งสองพบว่าน้ำโคลนมีแนวโน้มของลักษณะการไหลเป็นแบบบิงแฮมพลาสติกมากกว่าที่จะเป็นของไหลแบบพาวเวอร์ลอว์เนื่องจากเส้นแนวโน้มเส้นตรงมีความสอดคล้องกับค่าแรงเฉือนและอัตราแรงเฉือนที่ได้จากการทดลองมากกว่า

ตารางที่ 4.1 ค่าแรงเฉือน (Shear stress) และอัตราแรงเฉือน (Shear rates) ของน้ำโคลนเบนโทไนต์
 ธรรมดาที่ได้จากการคำนวณ

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จาก เครื่องวัดความหนืด	อัตราแรงเฉือน γ (sec ⁻¹)	แรงเฉือน τ (lb _f /ft ²)
600	21.67	1021.8	0.046
300	17.00	510.9	0.036
200	14.67	340.6	0.031
100	11.67	170.3	0.025
6	9.00	10.2	0.019
3	8.00	5.1	0.017

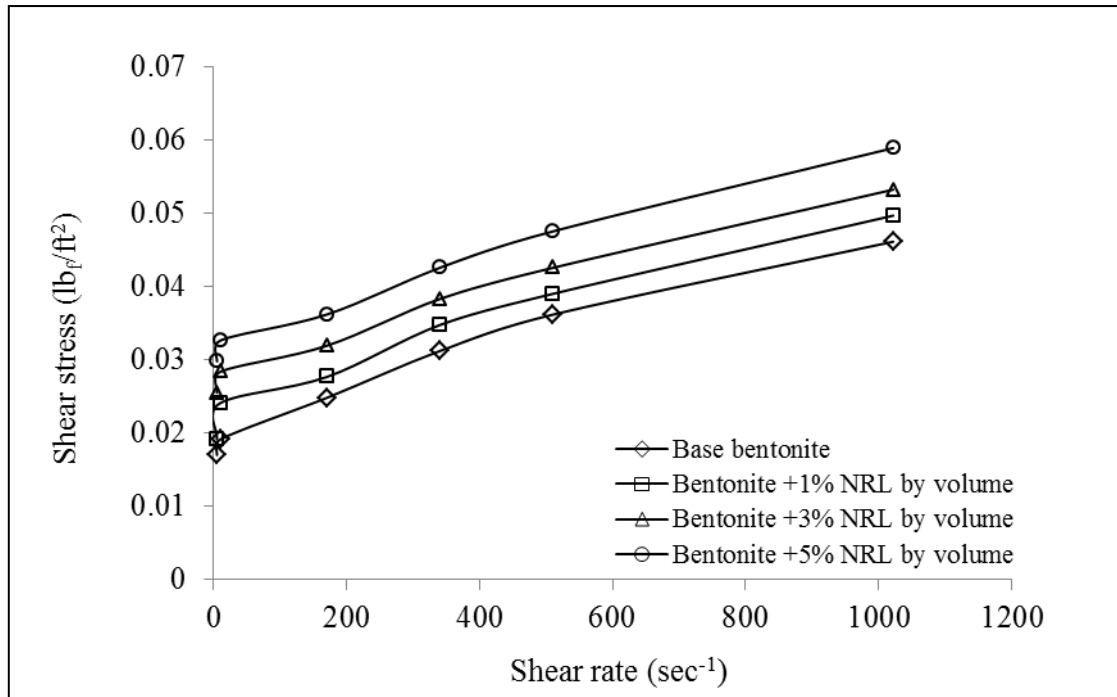


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงพฤติกรรมการไหลของน้ำโคลนเบนโทไนต์พร้อมเส้นแนวโน้มแบบเส้นตรง

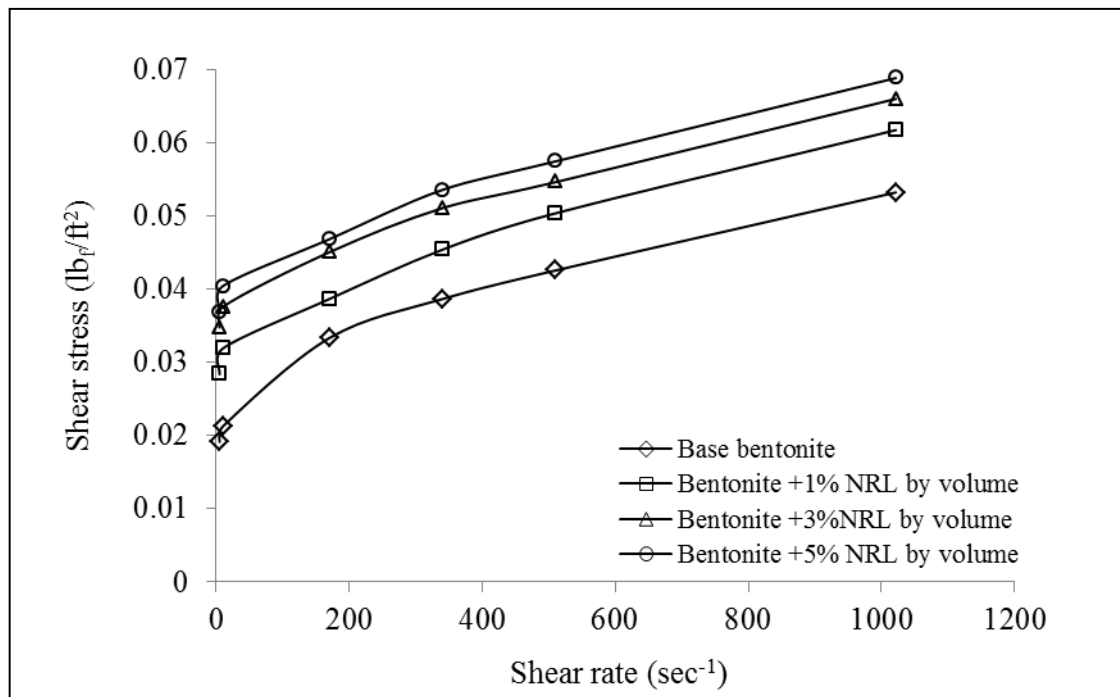


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงพฤติกรรมการไหลของน้ำโคลนเบนโทไนต์พร้อมเส้นแนวโน้มแบบยกกำลัง

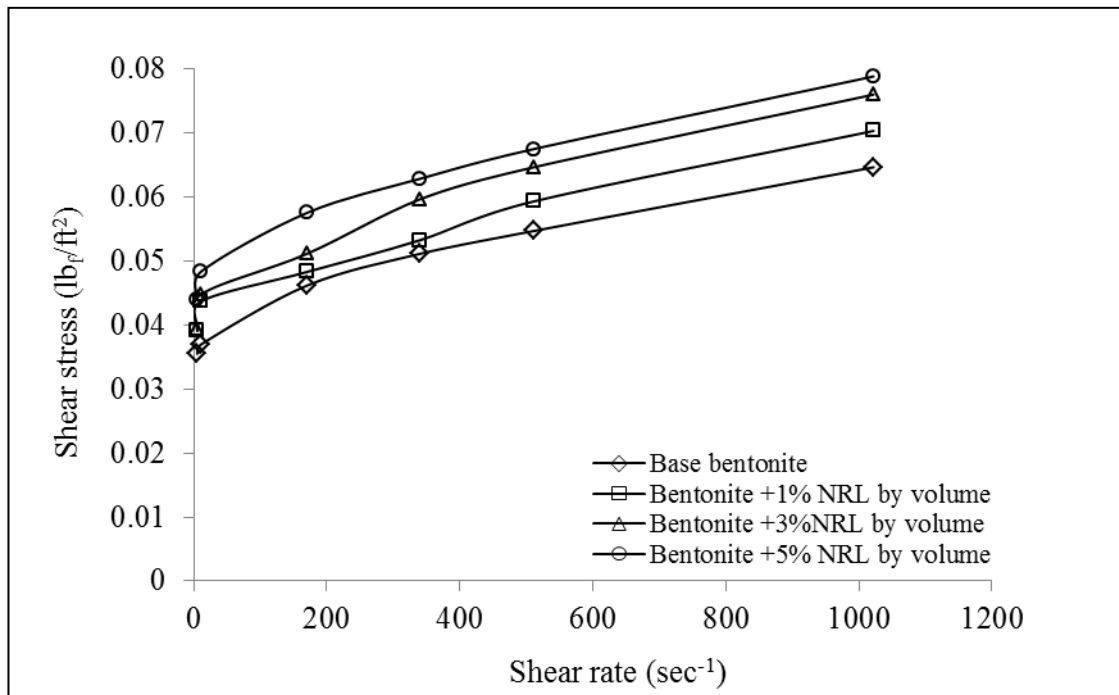
ในการวิจัยนี้ได้สร้างกราฟแสดงพฤติกรรมการไหลสำหรับตัวอย่างน้ำโคลนอื่น ๆ เพื่อหาแบบจำลองกระแสวิทยาน้ำโคลนที่เหมาะสมในทำนองเดียวกันกราฟแสดงพฤติกรรมการไหลที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.3 ถึง 4.6 จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างน้ำโคลนที่ทุกความเข้มข้นยารธรรมชาติที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แสดงพฤติกรรมการไหลแบบบิงแฮมพลาสติก แต่หลังจากเพิ่มอุณหภูมิของน้ำโคลนไปที่อุณหภูมิ 45 60 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าตัวอย่างน้ำโคลนที่ทุกความเข้มข้นยารธรรมชาติแสดงพฤติกรรมการไหลแบบพาวเวอร์ลอว์นั้นแสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมการไหลของตัวอย่างน้ำโคลนมีพฤติกรรมขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามก็ยังไม่สามารถระบุพฤติกรรมที่แน่นอนของน้ำโคลนเจาะได้ว่าเป็นตามแบบจำลองบิงแฮมพลาสติกหรือพาวเวอร์ลอว์ได้ เพราะน้ำโคลนเจาะส่วนใหญ่จะแสดงพฤติกรรมการไหลอยู่ระหว่างบิงแฮมพลาสติกและพาวเวอร์ลอว์ ดังนั้นค่าตัวแปรคุณสมบัติทางวิทยากระแสของตัวอย่างน้ำโคลนจะถูกคำนวณทั้งสองแบบจำลองโดยใช้เพื่อการเปรียบเทียบ ผลจากการคำนวณและการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4.2



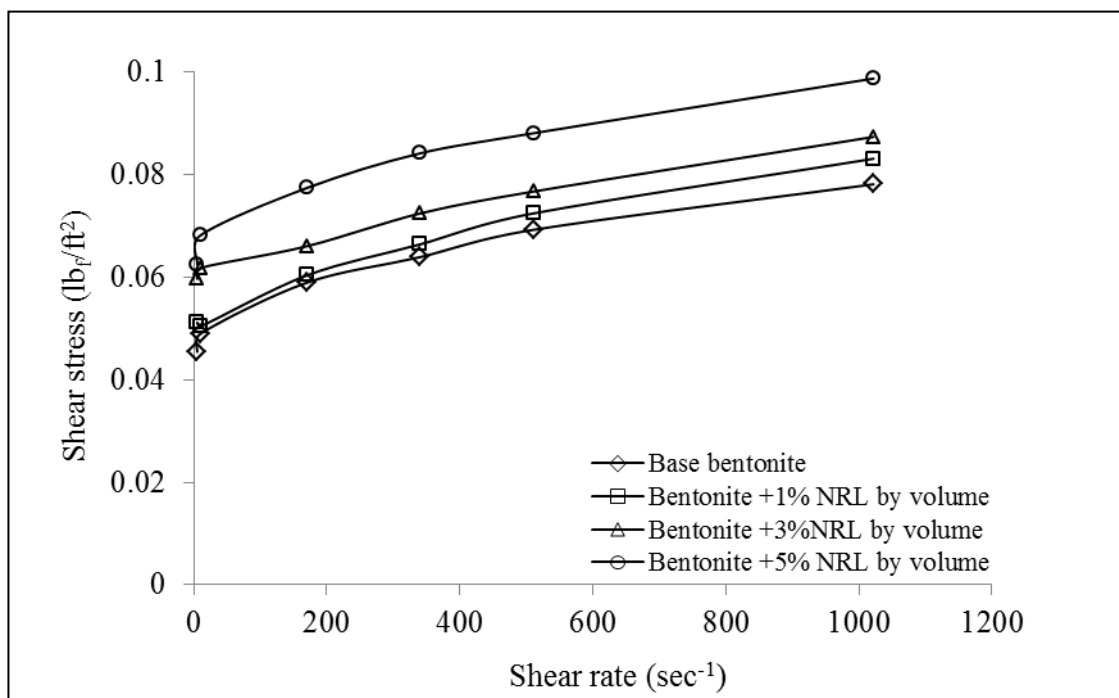
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงพฤติกรรมการไหลของตัวอย่างน้ำโคลนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงพฤติกรรมการไหลของตัวอย่างน้ำโคลนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงพฤติกรรมการไหลของตัวอย่างน้ำโคลนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงพฤติกรรมการไหลของตัวอย่างน้ำโคลนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

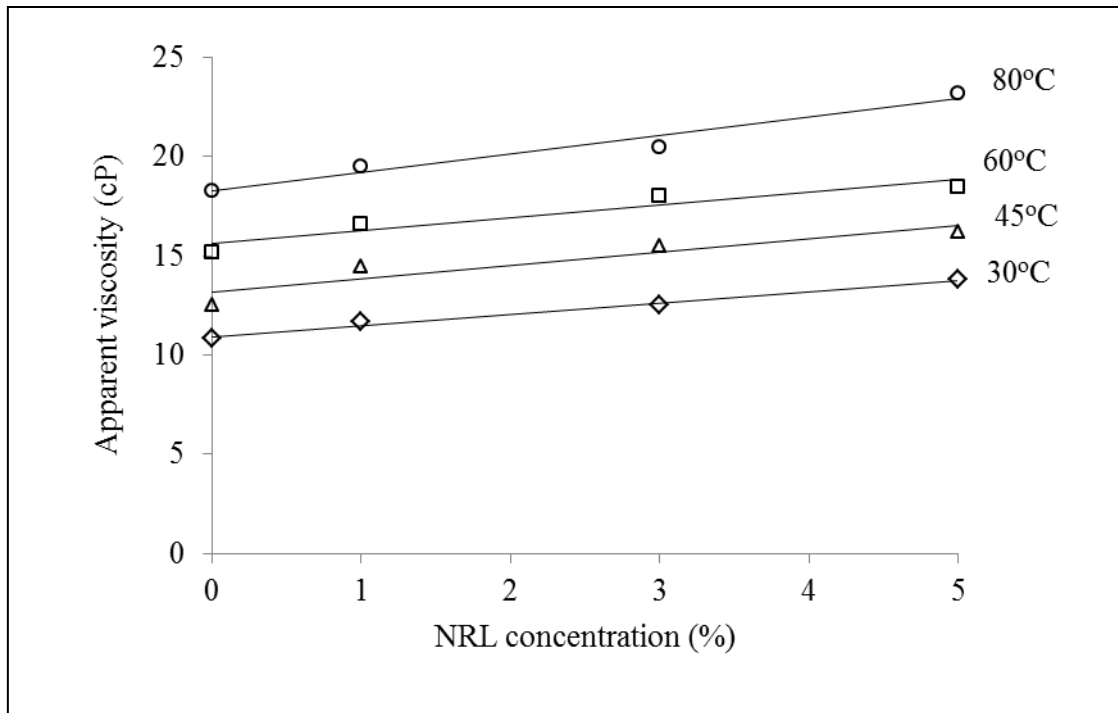
ตารางที่ 4.2 ค่าตัวแปรทางวิทยากระแสนของตัวอย่างน้ำโคลน

อุณหภูมิของน้ำโคลน	ส่วนผสมของน้ำโคลน	apparent viscosity (cp)	แบบจำลอง Bingham Plastic		แบบจำลอง Power Law		Gel _{in} (lb _f /100 ft ²)	Gel ₁₀ (lb _f /100 ft ²)
			Plastic viscosity (cp)	Yield point (lb _f /100 ft ²)	n	K (eq.cP)		
30°C	Bentonite	10.8	4.7	12.3	0.35	978	11.3	13.7
	Bentonite+ 1%NRL	11.7	5	13.3	0.35	1068	11.3	13.7
	Bentonite+ 3%NRL	12.5	5	15.0	0.32	1370	13.2	15.7
	Bentonite+ 5%NRL	13.8	5.3	17.0	0.31	1659	14.7	15.7
45°C	Bentonite	12.5	5	15.0	0.32	1370	14.8	18.7
	Bentonite+ 1%NRL	14.5	5.3	17.3	0.29	1939	16.3	19.3
	Bentonite+ 3%NRL	15.5	5.3	20.3	0.27	2395	18	21.2
	Bentonite+ 5%NRL	16.2	5.3	21.7	0.26	2720	19.0	19.3
60°C	Bentonite	15.2	4.7	21.0	0.24	2912	20.7	20.2
	Bentonite+ 1%NRL	16.6	5.2	22.2	0.25	3068	21	21.3
	Bentonite+ 3%NRL	18	5.3	23.3	0.23	3602	22.7	22.2
	Bentonite+ 5%NRL	18.5	5.3	25.7	0.22	3981	23.3	22.3
80°C	Bentonite	18.3	4.2	28.3	0.17	5599	24.7	24.2
	Bentonite+ 1%NRL	19.5	5	29	0.20	5046	26	24.5
	Bentonite+ 3%NRL	20.5	5	31	0.19	5698	31.5	27.7
	Bentonite+ 5%NRL	23.2	5	36.3	0.16	7545	31.7	31.3

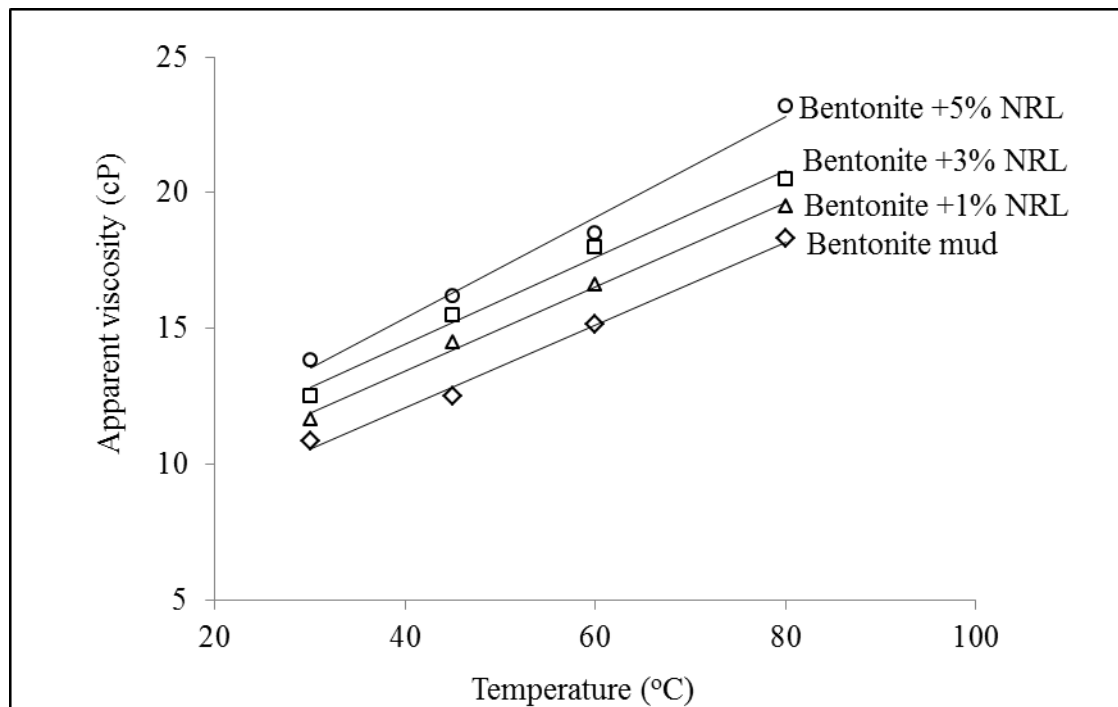
4.3 พฤติกรรมทางด้านวิทยากระแสของน้ำโคลนที่ผสมน้ำยางธรรมชาติ (NRL)

ตารางที่ 4.2 แสดงคุณสมบัติวิทยากระแสของน้ำโคลนของน้ำโคลนเบนโทไนต์ที่ไม่ได้ผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ (NRL) และน้ำโคลนเบนโทไนต์ที่ผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ โดยค่าที่ทำการวัดจากการทดลองทั้งสามครั้งแสดงอยู่ใน ภาคผนวก ก. ตัวแปรของแบบจำลองพาวเวอร์ลอว์ในเทอมของดัชนีพฤติกรรมการไหล (Flow behavior index, n) และดัชนีระดับความเข้มข้นของของไหล (Fluid consistency index, k) ซึ่งถูกคำนวณโดยสมการ 3.6 และ 3.7 ดังที่แสดงในบทที่แล้ว ค่าดัชนีพฤติกรรมการไหลแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำโคลนแสดงพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก (Pseudoplastic) เมื่อ n น้อยกว่า 1 ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ซึ่งพฤติกรรมการไหลของน้ำโคลนจะที่ใช้กันทั่วไปจะแสดงพฤติกรรมการไหลอยู่ระหว่างแบบจำลองบิงแฮมพลาสติกและพาวเวอร์ลอว์ซึ่งเรียกว่าของไหลแบบซูโดพลาสติก (Pseudoplastic) เช่นกัน และค่าดัชนีระดับความเข้มข้นของของไหล (Fluid consistency index, k) ของตัวอย่างน้ำโคลนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของน้ำยางพาราธรรมชาติเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ของตัวอย่างน้ำโคลนที่อธิบายถึงการจับตัวกันเป็นก้อนเหนียวของของไหล แต่แบบจำลองพาวเวอร์ลอว์นั้นก็ไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมของน้ำโคลนได้แน่นอนนักเพราะโดยปกติค่าของ n และ k จะใช้ในการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับกำลังที่เกิดจากแรงดันของของไหลที่เกิดจากการหมุนเวียนน้ำโคลนเป็นส่วนใหญ่

รูปที่ 4.7 ถึง 4.16 แสดงกราฟการพล็อตของตัวแปรทางด้านวิทยากระแสของตัวอย่างน้ำโคลนที่ได้จากการคำนวณที่ความเข้มข้นน้ำยางพาราธรรมชาติและอุณหภูมิต่าง ๆ ส่วนตารางที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) และความเข้มข้นของน้ำยางพาราธรรมชาติ จากกราฟพบว่าที่ทุกอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลนค่าความหนืดปรากฏมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของน้ำยางพาราธรรมชาติเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของสารที่แขวนลอยคือเบนโทไนต์และน้ำยางพาราธรรมชาติในตัวอย่างน้ำโคลนนั่นทำให้ความต้านทานการไหลสูงขึ้น สำหรับอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าความหนืดปรากฏได้แสดงอยู่ในตารางที่ 4.8 จากกราฟจะเห็นได้ว่าที่ทุกความสัดส่วนเข้มข้นของน้ำยางพาราธรรมชาติค่าความหนืดปรากฏนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลนเพิ่มขึ้น อันเป็นผลจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้พลังงานภายในระบบของตัวอย่างน้ำโคลนเพิ่มขึ้นจึงเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างภายในระหว่างอนุภาค (Inter-particle attractive force) ทำให้เนื้อโคลนเคลื่อนที่มาอยู่ใกล้กันและเกิดการจับตัว (Agglomerate) ของอนุภาคโคลนขึ้น (Luckham and Rossi, 1999)



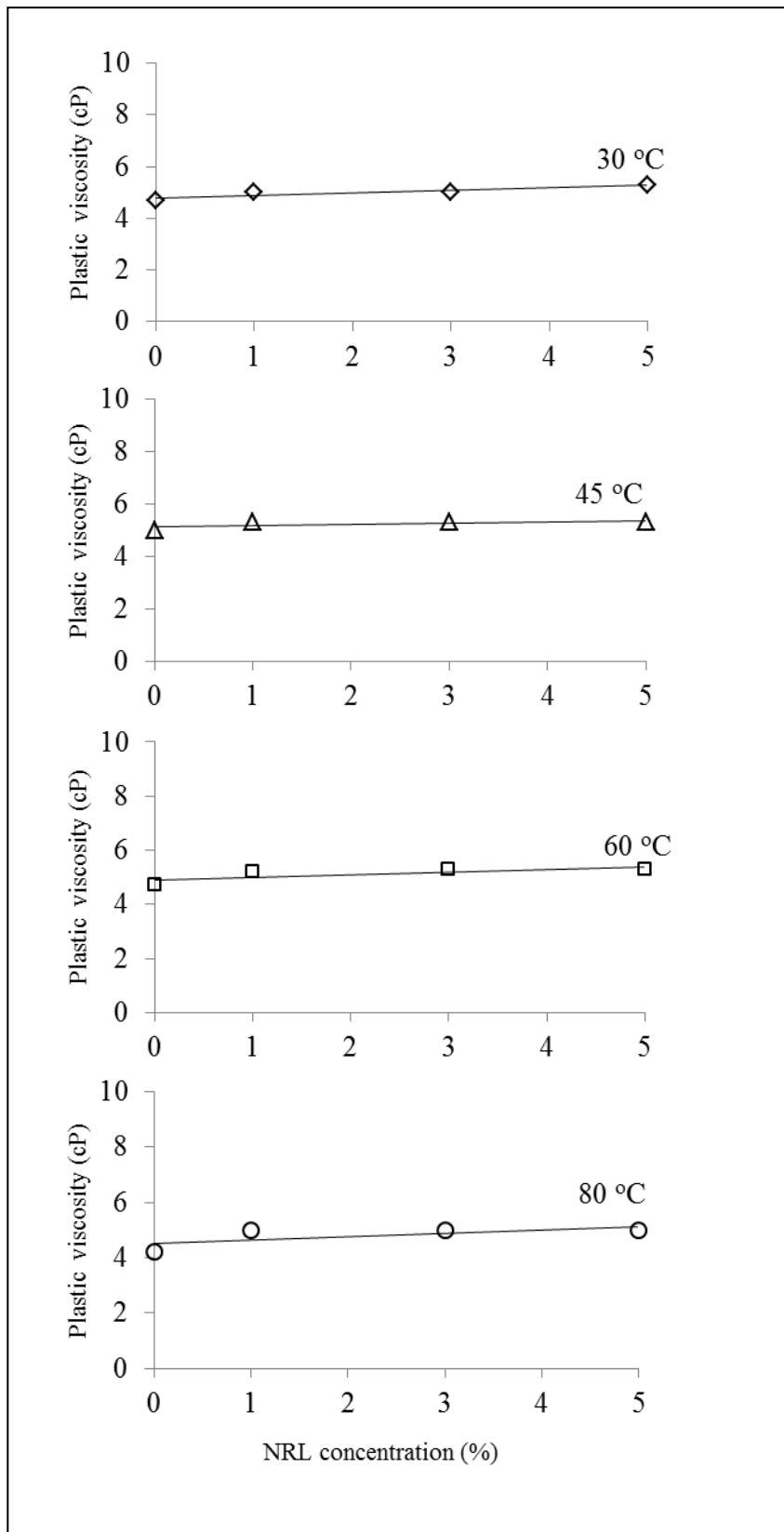
รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) กับความเข้มข้นน้ำยางพาราธรรมชาติ



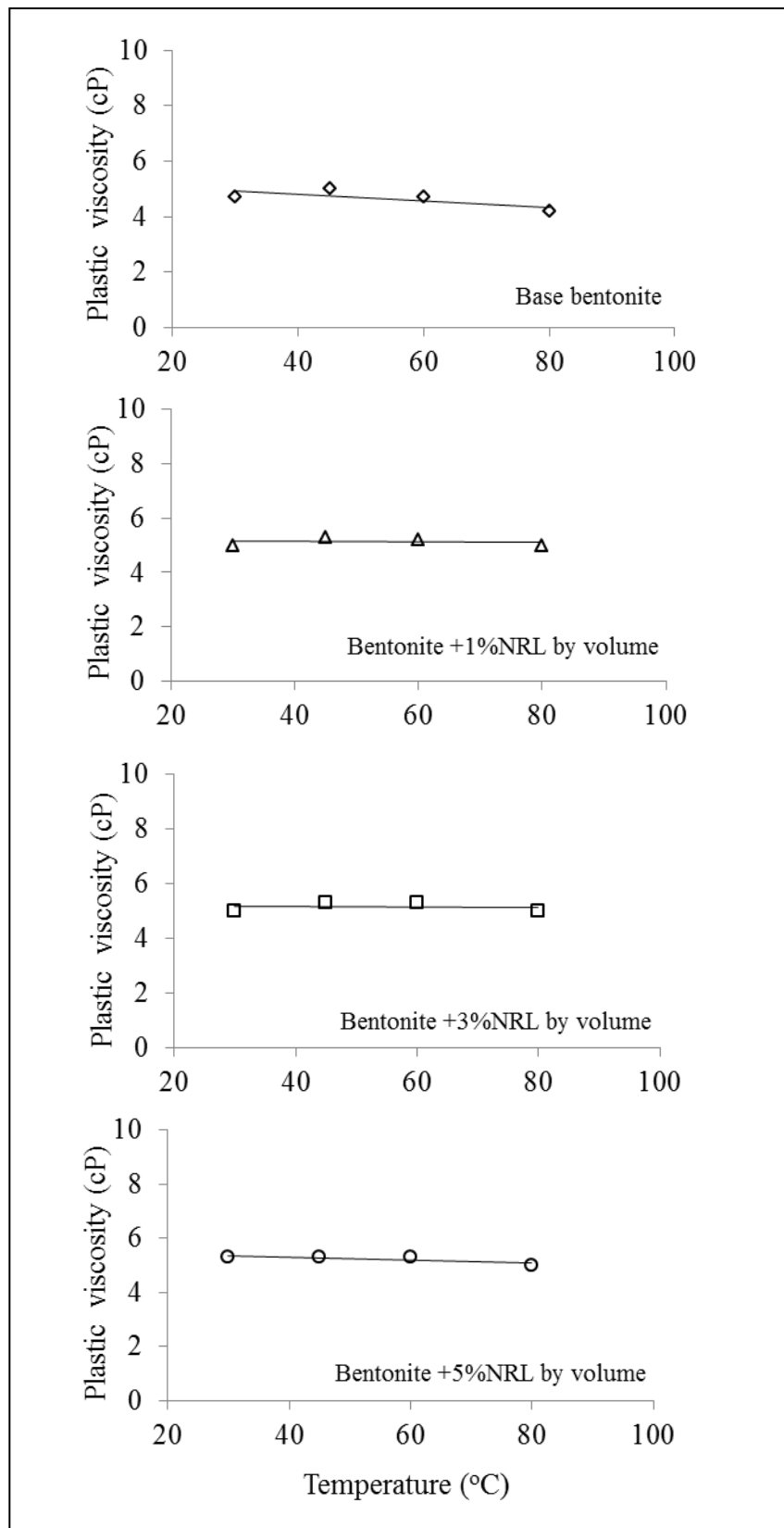
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) กับอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลน

การตรวจสอบแบบจำลองบิงแฮมพลาสติกในการวิจัยนี้ทำโดยการพล็อตค่าความหนืดพลาสติก (Plastic viscosity) กับความเข้มข้นน้ำยางพาราธรรมชาติและอุณหภูมิ ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 จากผลการทดลองพบว่าที่ทุกๆอุณหภูมิ ค่าความหนืดพลาสติกของตัวอย่างน้ำโคลนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อปริมาณความเข้มข้นของน้ำยางพาราธรรมชาติเพิ่มขึ้นจากความเข้มข้นร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 5 และเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลนเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดพลาสติกมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลนเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ถึง 80 องศาเซลเซียส ซึ่งอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อน้ำโคลนอธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลนเพิ่มขึ้นค่าการเหนียวไฟฟ้าของระบบก็จะเพิ่มขึ้น โดยจะเหนียวน้ำให้อนุภาคประจุบวกกระจายอยู่ที่ผิวของอนุภาคมากขึ้นซึ่งเป็นเหตุผลการลดลงของค่าความหนืดพลาสติกและในขณะเดียวกันค่าจุดครากก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากการเหนียวน้ำทางความร้อนทำให้เกิดการบวมตัวของน้ำโคลน (Luckham and Rossi, 1999)

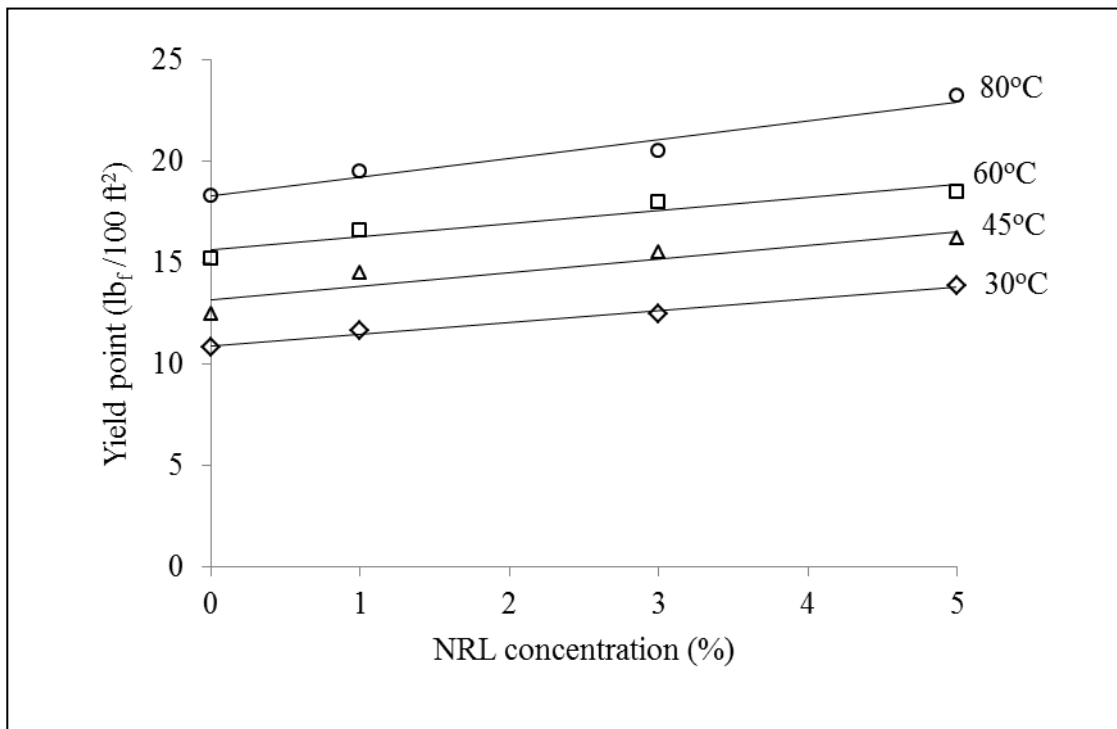
ในส่วนของการตรวจสอบค่าจุดครากของตัวอย่างน้ำโคลนในการวิจัยนี้ทำโดยการพล็อตจุดครากกับความเข้มข้นน้ำยางพาราธรรมชาติและอุณหภูมิดังรูปที่ 4.11 และ 4.12 จากกราฟที่ได้พบว่าที่ทุกอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลนค่าจุดครากมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของน้ำยางพาราธรรมชาติเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณของแข็งในตัวอย่างน้ำโคลนมีปริมาณมากขึ้นทำให้มีการจับตัวกันของอนุภาคเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าความเค้นที่จุดคราก (Yield stress) และที่ทุกๆ ความเข้มข้นน้ำยางพาราธรรมชาติ ค่าความเค้นที่จุดครากของตัวอย่างน้ำโคลนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลนเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินั้นเป็นการเพิ่มพลังงานอันตรกิริยา (Interaction energy) ของระบบแขวนลอยของโคลนเบนโทไนต์ทำให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อนเหนียวมากขึ้น จากผลการทดลองสรุปได้ว่าปริมาณความเข้มข้นน้ำยางพาราธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นนั้นทำให้ค่าความเค้นวิกฤต (Yield strength) ของตัวอย่างน้ำโคลนสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของน้ำโคลนในการนำพาเศษหินในระหว่างการหมุนเวียนน้ำโคลนดีขึ้นด้วย



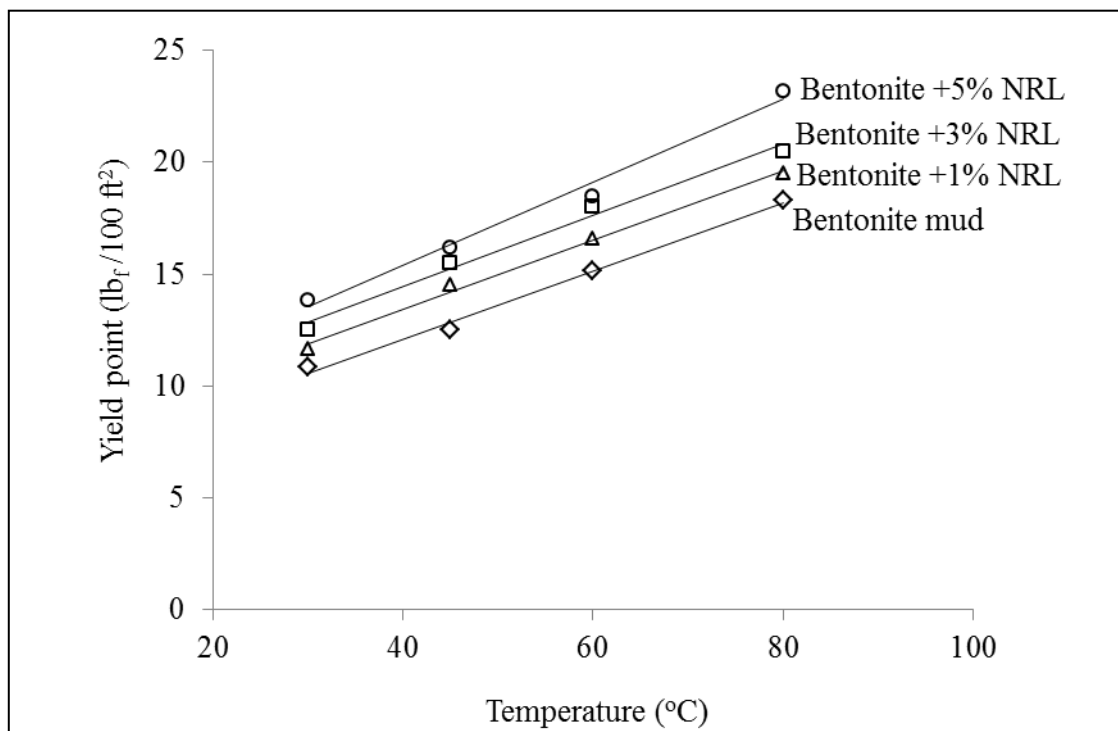
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดพลาสติก (Plastic viscosity) กับความเข้มข้นน้ำยางพาราธรรมชาติที่อัตราส่วนความเข้มข้นต่าง ๆ



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดพลาสติก (Plastic viscosity) กับอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลน

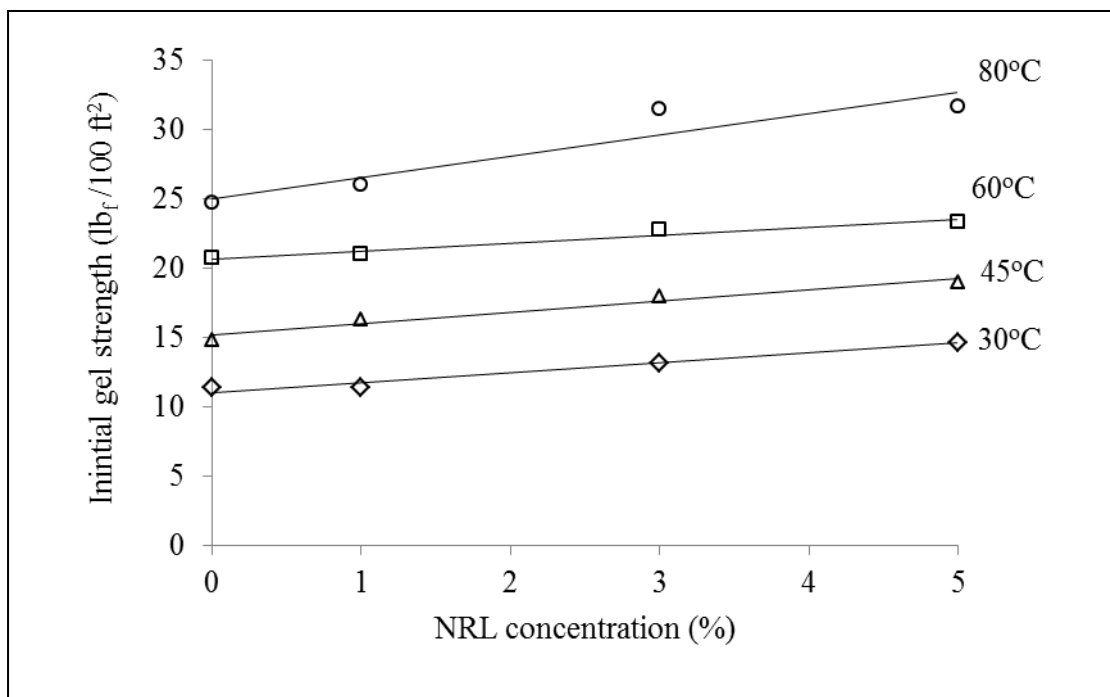


รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดคราก (Yield point) กับความเข้มข้นน้ำยางพาราธรรมชาติ

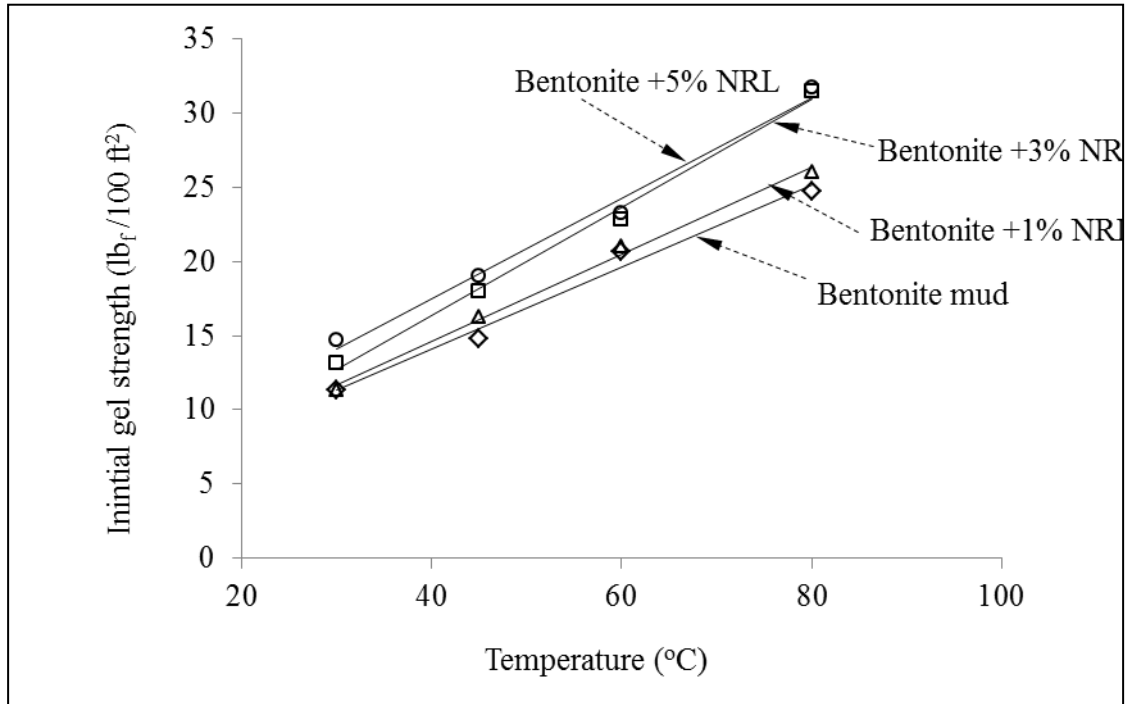


รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดคราก (Yield point) กับอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลน

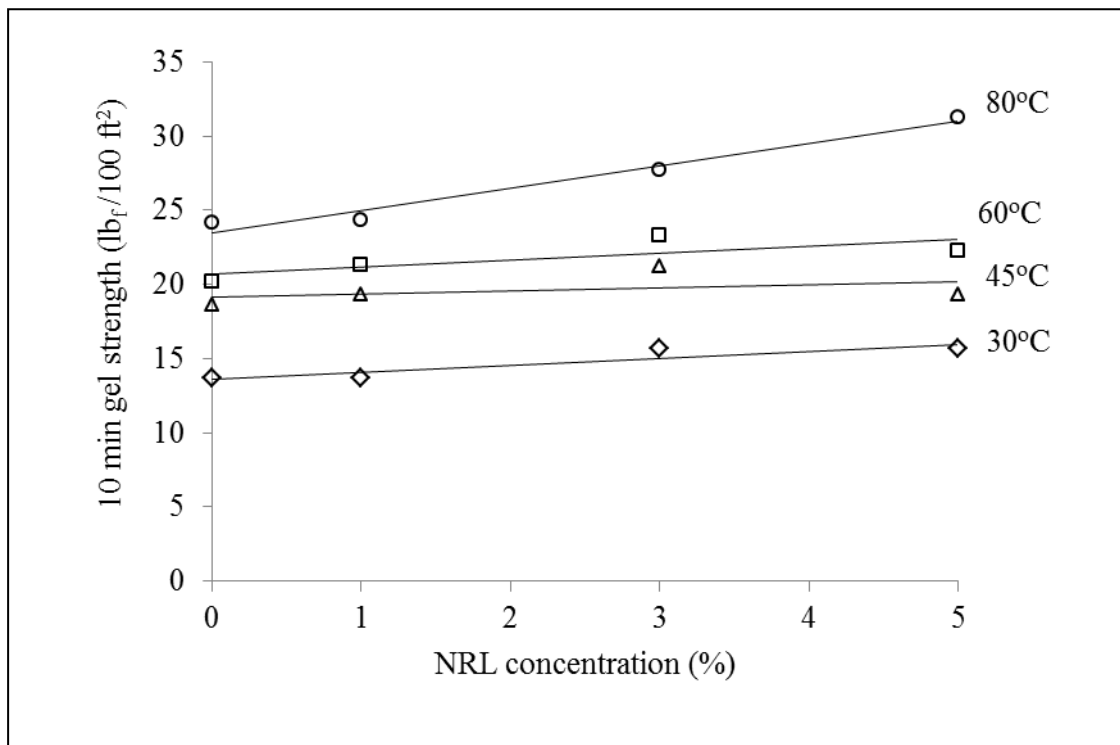
ในการวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบค่าความแข็งแรงของเจลเริ่มต้น (Initial gel strength) และค่าความแข็งแรงของเจลที่เวลา 10 นาที (10 minutes gel strength) โดยได้แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของเจลของตัวอย่างน้ำโคลนโดยทำการพล็อตเทียบความสัมพันธ์กับน้ำยางธรรมชาติและอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 4.13 ถึง 4.16 จากการทดลองพบว่าค่าความแข็งแรงของเจล (Gel strength) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นน้ำยางพาราธรรมชาติและอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลนสูงขึ้น พิจารณาตัวอย่างน้ำโคลนที่ผสมน้ำยางพาราธรรมชาติที่อุณหภูมิ 30 และ 45 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.2) ค่าความแข็งแรงของเจลที่เวลา 10 นาที มีค่าสูงกว่าค่าความแข็งแรงของเจลเริ่มต้น ทั้งนี้เป็นเพราะเวลาที่ตัวอย่างน้ำโคลนไม่ถูกรบกวนมากกว่าทำให้โคลนเกิดการสร้างโครงสร้างของเจลที่แข็งแรงกว่า แต่เมื่อพิจารณาตัวอย่างน้ำโคลนที่ผสมน้ำยางพาราธรรมชาติที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส กลับพบว่าค่าความแข็งแรงของเจลที่เวลา 10 นาที มีค่าน้อยกว่าค่าความแข็งแรงของเจลเริ่มต้น ทั้งนี้เป็นเพราะว่ามีการเกิดการลดลงของอุณหภูมิที่มากในระหว่างช่วงเวลา 10 นาทีของการตั้งน้ำโคลนทิ้งไว้ใน ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลที่เวลา 10 นาที มีค่าน้อยลงกว่าที่ควรจะเป็น ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงของโครงสร้างเจลมีค่าขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิ จากผลการทดลองสรุปได้ว่าความเข้มข้นน้ำยางพาราธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นนั้นทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลของตัวอย่างน้ำโคลนสูงขึ้น อันจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของน้ำโคลนในการทำมาดหลุมและแขวนลอยเศษหินเจาะที่มีน้ำหนักในระหว่างการหยุดการเจาะหรือไม่มีการหมุนเวียนเวียนน้ำโคลนมีประสิทธิภาพดีขึ้นด้วย



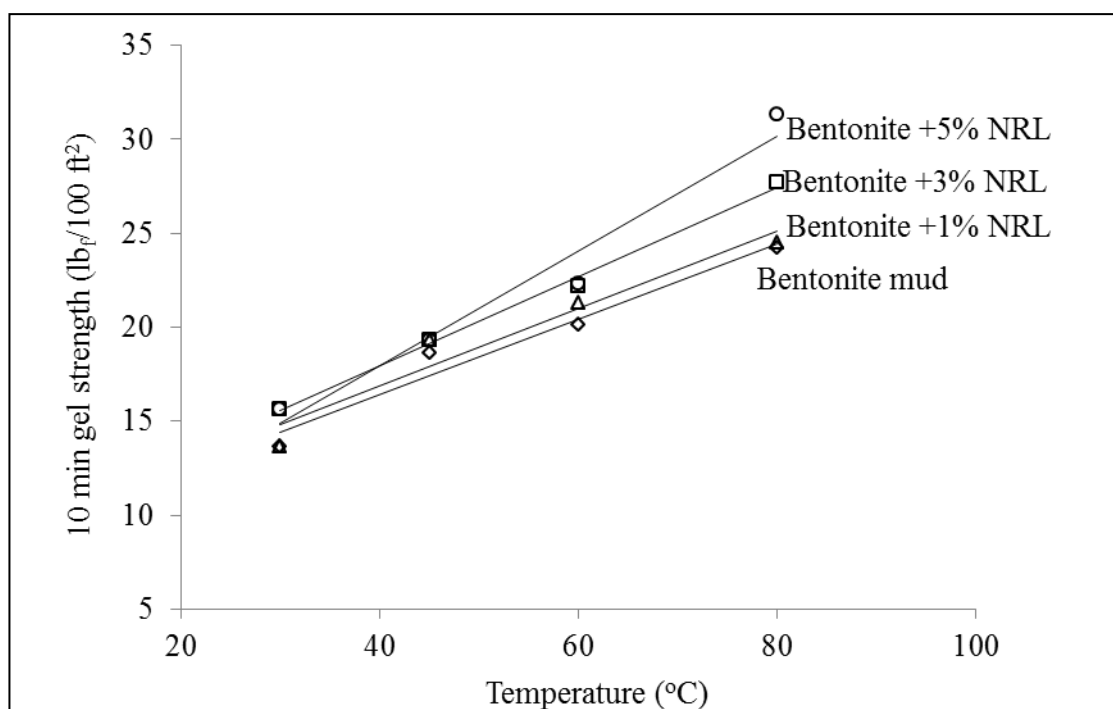
รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของเจลเริ่มต้น (Initial gel strength) กับความเข้มข้นน้ำยางพาราธรรมชาติ



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของเจลเริ่มต้น (Initial gel strength) กับ อุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลน



รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของเจลที่เวลา 10 นาที (10 minutes gel strength) กับความเข้มข้นน้ำยางพาราธรรมชาติ



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของเจลที่เวลา 10 นาที (10 minutes gel strength) กับอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำโคลน

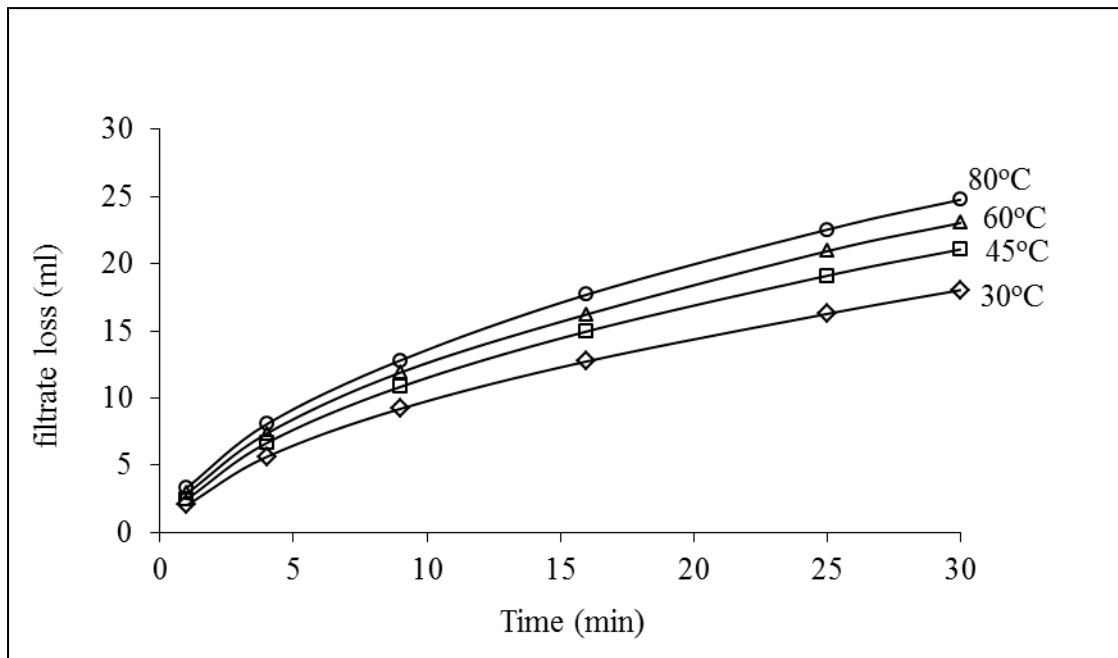
4.4 คุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำโคลนที่ผสมน้ำยาพาราธรรมชาติ

ตารางที่ 4.3 แสดงผลเฉลี่ยของค่าการทดสอบปริมาณการสูญเสียในน้ำโคลนในสถานะสถิตตามมาตรฐาน API (API static filtrate loss) ในเวลา 30 นาทีของน้ำโคลนที่ผสมน้ำยาพาราธรรมชาติที่ได้จากการทดลอง โดยค่าที่วัดจากการทดลองทั้ง 3 ครั้งรวมถึงความหนาของชั้นผนังโคลน (Mudcake) ที่ได้แสดงผลอยู่ใน ภาคผนวก ข

รูปที่ 4.17 แสดงการพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านของตัวอย่างน้ำโคลนเบนโทไนต์ที่อุณหภูมิต่างๆเทียบกับเวลา และรูปที่ 4.18 แสดงการพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านของตัวอย่างน้ำโคลนที่ผสมน้ำยาพาราธรรมชาติที่อัตราส่วนต่าง ๆ โดยพบว่าทั้งสองกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าการสูญเสียในน้ำโคลนนั้นจะขึ้นอยู่กับเวลา เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นค่าการสูญเสียในน้ำโคลนจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น แล้วค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในอัตราลดลง ทั้งนี้การลงของค่าซึมผ่านก็เนื่องมาจากการเกิดการสร้างชั้นผนังโคลนอย่างต่อเนื่องจนเกิดเป็นชั้นผนังโคลนที่หนาและเสถียร จากรูปที่ 4.17 พบว่าค่าการซึมผ่านของน้ำโคลนเบนโทไนต์มีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของอุณหภูมิที่สูงขึ้นเป็นผลให้ความหนืดของวัฏภาคของเหลวของน้ำโคลนลดลงและอนุภาคแขวนลอยของโคลนเกิดการจับตัวกันและเป็นผลทำให้เกิดการซึมผ่านของของเหลวผ่านชั้นผนังโคลนได้เพิ่มขึ้น

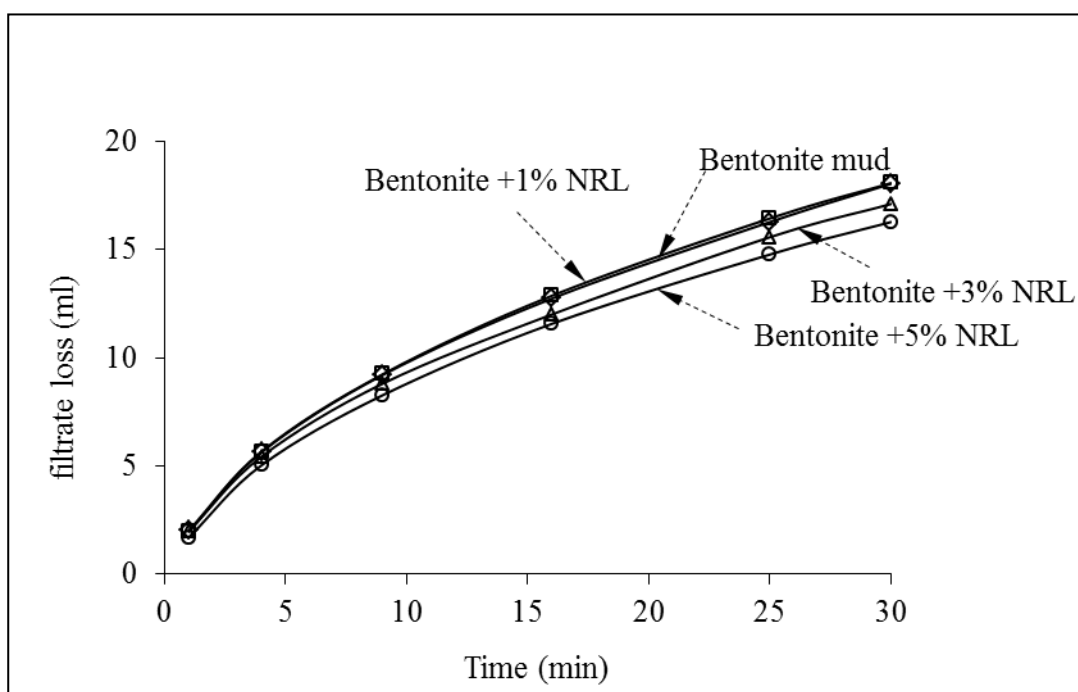
ตารางที่ 4.3 ค่าการทดสอบปริมาณการสูญเสียในน้ำโคลนในสภาวะสถิตตามมาตรฐาน API (API static filtrate loss) ในเวลา 30 นาที

อุณหภูมิ ตัวอย่างน้ำ โคลน	ส่วนประกอบของ น้ำโคลน	ค่าการสูญเสียในน้ำโคลนเฉลี่ย (มล.)					
		นาทีที่ 1	นาทีที่ 4	นาทีที่ 9	นาทีที่ 16	นาทีที่ 25	นาทีที่ 30
30°C	Bentonite	2.0	5.6	9.2	12.7	16.3	18.0
	Bentonite+ 1%NRL	2.0	5.7	9.2	12.9	16.4	18.1
	Bentonite+ 3%NRL	2.0	5.4	8.8	12.0	15.6	17.1
	Bentonite+ 5%NRL	1.7	5.0	8.3	11.6	14.8	16.3
45°C	Bentonite	2.5	6.7	10.8	15.0	19.1	21.1
	Bentonite+ 5%NRL	2.2	6.1	9.9	13.6	17.3	19.1
60°C	Bentonite	2.9	7.4	11.9	16.2	20.9	23.0
	Bentonite+ 5%NRL	2.6	6.8	10.9	14.9	18.8	20.7
80°C	Bentonite	3.3	8.1	12.8	17.7	22.5	24.8
	Bentonite+ 5%NRL	2.7	7.0	11.1	15.2	19.2	21.2



รูปที่ 4.17 ปริมาณการสูญเสียในน้ำโคลนแบบสถิต (Static filtration volume) ของน้ำโคลนเบนโทไนต์

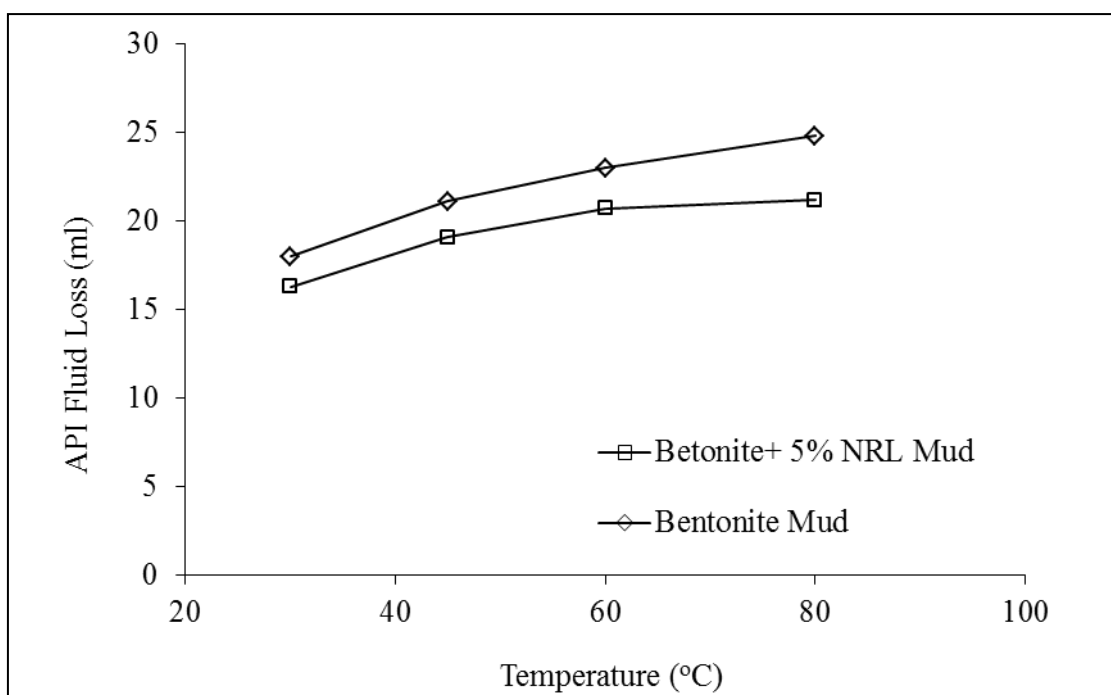
รูปที่ 4.18 แสดงอิทธิพลของความเข้มข้นน้ำยางพาราธรรมชาติที่มีผลต่อคุณสมบัติการซึมผ่านที่ 30 องศาเซลเซียส เส้นโค้งจากกราฟแสดงให้เห็นว่าน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราธรรมชาติที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 นั้นไม่พบว่าการปรับปรุงคุณสมบัติการป้องกันการซึมผ่านให้ดีขึ้นแต่อย่างใด แต่หากเมื่อทำการเปรียบเทียบน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราธรรมชาติที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 และร้อยละ 5 กับน้ำโคลนเบนโทไนต์จะเห็นได้อย่างชัดเจนกว่าว่า ค่าการสูญเสียในน้ำโคลนมีค่าลดลง โดยภายในระยะเวลา 30 นาที น้ำโคลนที่ผสมน้ำยางพาราธรรมชาติมีค่าการสูญเสียในน้ำโคลนลดลงร้อยละ 3 และร้อยละ 5 ตามลำดับ อันเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดการบวมตัวของของโคลนเบนโทไนต์และการกระจายตัวของสารเติมแต่งน้ำยางพาราธรรมชาติทำให้เกิดการสร้างสร้างชั้นของชั้นผนังโคลนที่มีความแข็งแรงและมีรูพรุนน้อยลงบนกระดาษกรอง



รูปที่ 4.18 ปริมาณการสูญเสียในน้ำโคลนแบบสถิต (Static filtration volume) ของน้ำโคลนอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.19 แสดงคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำโคลนที่อุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ 30 45 60 และ 80 องศาเซลเซียส จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียในน้ำโคลนในเวลา 30 นาทีของน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราธรรมชาติที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 กับน้ำโคลนเบนโทไนต์ โดยพบว่าค่าการสูญเสียในน้ำโคลนลดลงร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 15 ในช่วงของอุณหภูมิที่ทำการทดสอบ และไม่พบการสูญเสียสภาพทางความร้อนของน้ำยางพาราธรรมชาติในตัวอย่างน้ำโคลน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสารเติมแต่งน้ำยางพาราธรรมชาตินี้สามารถใช้เป็นสารเติมแต่งได้ในช่วงอุณหภูมิ

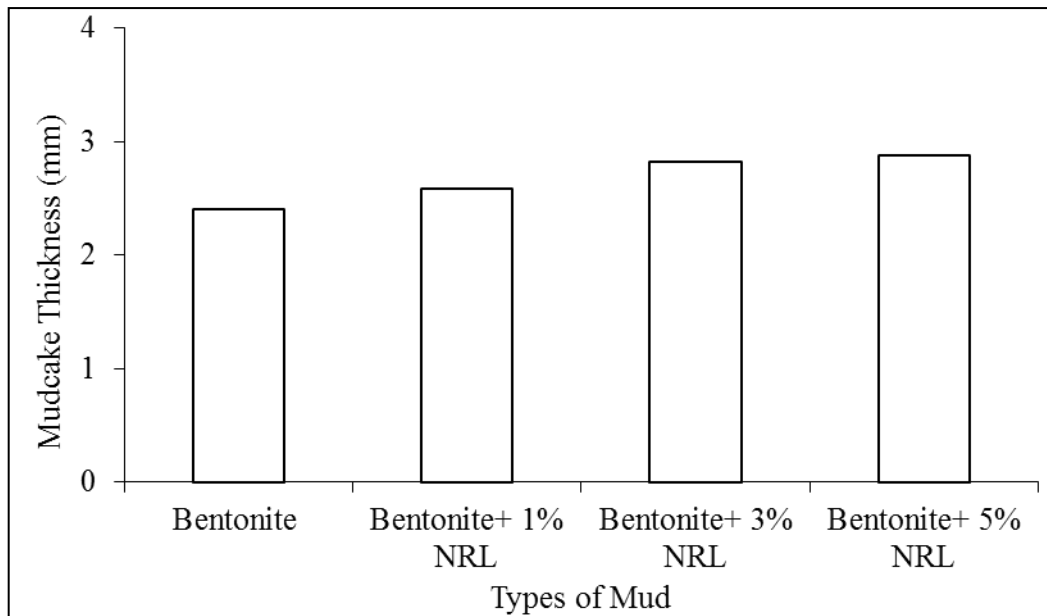
ดังกล่าว โดยความเสถียรทางความร้อนน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราธรรมชาติแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ได้ในการเจาะหลุมที่มีอุณหภูมิสูงถึง 80 องศาเซลเซียส ได้ ยกตัวอย่างในอ่าวไทยซึ่งมีค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามความลึก (Geothermal gradient) ในบริเวณที่มีการสำรวจและผลิตปิโตรเลียมมีค่าอยู่ในช่วง 2.95 ถึง 7.00 องศาเซลเซียส ต่อความลึก 100 เมตร (Lekuthai *et al.*, 1995) ดังนั้นน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราธรรมชาติจึงสามารถใช้เจาะหลุมที่มีความลึกอยู่ในช่วงระหว่าง 700 ถึง 1600 เมตรในบริเวณอ่าวไทยนี้ได้โดยความลึกนั้นจะขึ้นอยู่กับสภาวะอุณหภูมิของชั้นหินในบริเวณที่ทำการขุดเจาะ



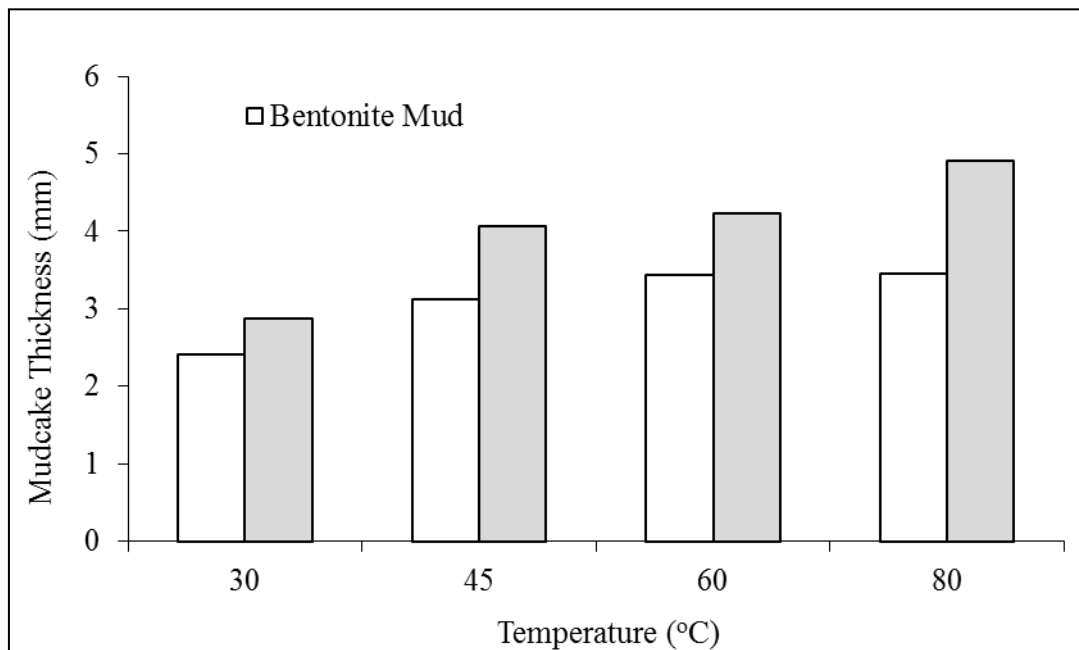
รูปที่ 4.19 ปริมาณการสูญเสียในน้ำโคลนแบบสถิตตามมาตรฐาน API (API Static filtration loss volume) ของตัวอย่างน้ำโคลนเบนโทไนต์และน้ำโคลนที่ผสมน้ำยางพาราธรรมชาติเข้มข้นร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

รูปที่ 4.20 และ 4.21 แสดงความหนาของชั้นผนังโคลนที่เกิดจากน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราธรรมชาติ จากแผนภูมิแท่งแสดงให้เห็นว่าชั้นผนังโคลนมีความหนามากขึ้นเมื่อสัดส่วนความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติและอุณหภูมิสูงขึ้น และเมื่อทำการตรวจสอบคุณภาพของชั้นผนังโคลนพบว่าชั้นผนังโคลนที่เกิดจากน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราธรรมชาตินั้นมีความเหนียวและนุ่มมากกว่าชั้นผนังโคลนที่เกิดจากน้ำโคลนเบนโทไนต์ธรรมดา และยังพบว่ามีความแข็งแรงและลื่นมากกว่าด้วย นอกจากนี้ชั้นผนังโคลนที่มีน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราธรรมชาติดังแสดงคุณภาพที่ดีในช่วงของอุณหภูมิที่ทำการทดลอง โดยทั่วไปชั้นผนังโคลนที่มีคุณภาพที่ดีนั้นอาจ

กล่าวได้ว่ามีคุณสมบัติที่สามารถป้องกันการไหลเข้ามาของของไหลจากชั้นหินใต้ดิน (Formation fluid inflow) และไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ชั้นหินใต้ดิน (Formation damage) โดยจะต้องสามารถป้องกันอนุภาคที่มีความละเอียดสูงไหลเข้าสู่ชั้นหินและสามารถขจัดออกได้ง่ายเมื่อเปิดชั้นผลิตน้ำมัน (Amanullar *et al.*, 1995)

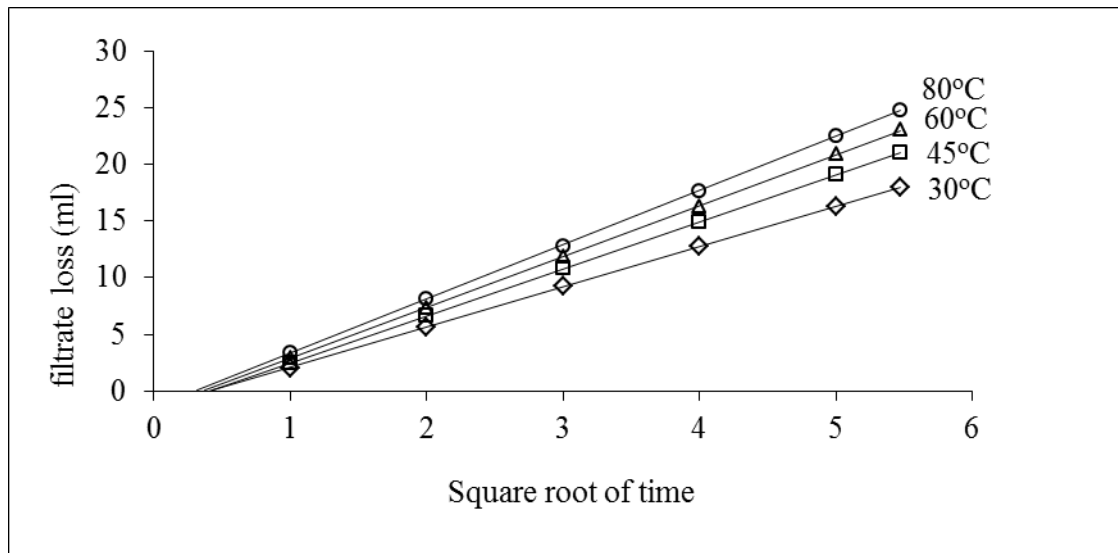


รูปที่ 4.20 ความหนาของชั้นผนังโคลน (Mudcake) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

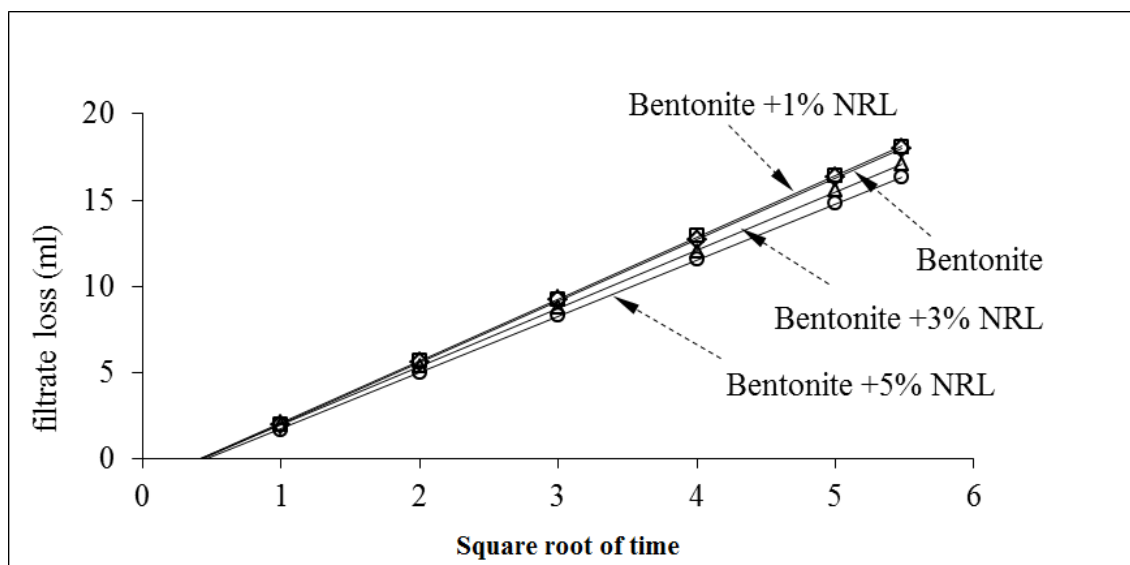


รูปที่ 4.21 ความหนาของชั้นผนังโคลน (Mudcake) ของน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของน้ำยาพารา
ธรรมชาติร้อยละ 5

รูปที่ 4.22 และ 4.23 แสดงค่าปริมาณน้ำที่มีการซึมผ่านกระดาศกรองก่อนการเกิดขึ้นของชั้นผนังโคลน (Spurt loss volume, ml) ของน้ำโคลนเบนโทไนต์และน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราธรรมชาติ โดยเป็นการพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ซึมหายไป (Filtrate loss volume, ml) กับค่ารากที่สองของเวลา จากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าการสูญเสียในน้ำโคลนนั้นเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามรากที่สองของเวลาที่เพิ่มขึ้น นั่นคือค่าการสูญเสียน้ำโคลนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่ารากที่สองของเวลา จากกราฟแสดงให้เห็นว่าไม่พบการเกิดค่าปริมาณน้ำที่มีการซึมผ่านกระดาศกรองก่อนการเกิดขึ้นของชั้นผนังโคลนที่เวลาเท่ากับศูนย์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากค่าความซึมผ่าน (Permeability) ของกระดาศกรองที่ใช้มีค่าต่ำเกินไป ทำให้ไม่สามารถหาค่าปริมาณน้ำที่มีการซึมผ่านกระดาศกรองก่อนการเกิดขึ้นของชั้นผนังโคลนได้ สำหรับการทดสอบวัดค่าการซึมผ่านแบบสถิต (Static filtration test) ที่อาจให้ผลการทดลองที่แม่นยำขึ้นนั้นอาจใช้การทดสอบที่เรียกว่าการทดสอบ Permeability Plugging Test (PPT) โดยใช้แผ่นเซรามิกที่ทราบค่าความซึมผ่านที่แน่นอน



รูปที่ 4.22 ผลการทดสอบวัดค่าการซึมผ่านแบบสถิต (Static filtration test) ของน้ำโคลนเบนโทไนต์เทียบกับรากที่สองของเวลา



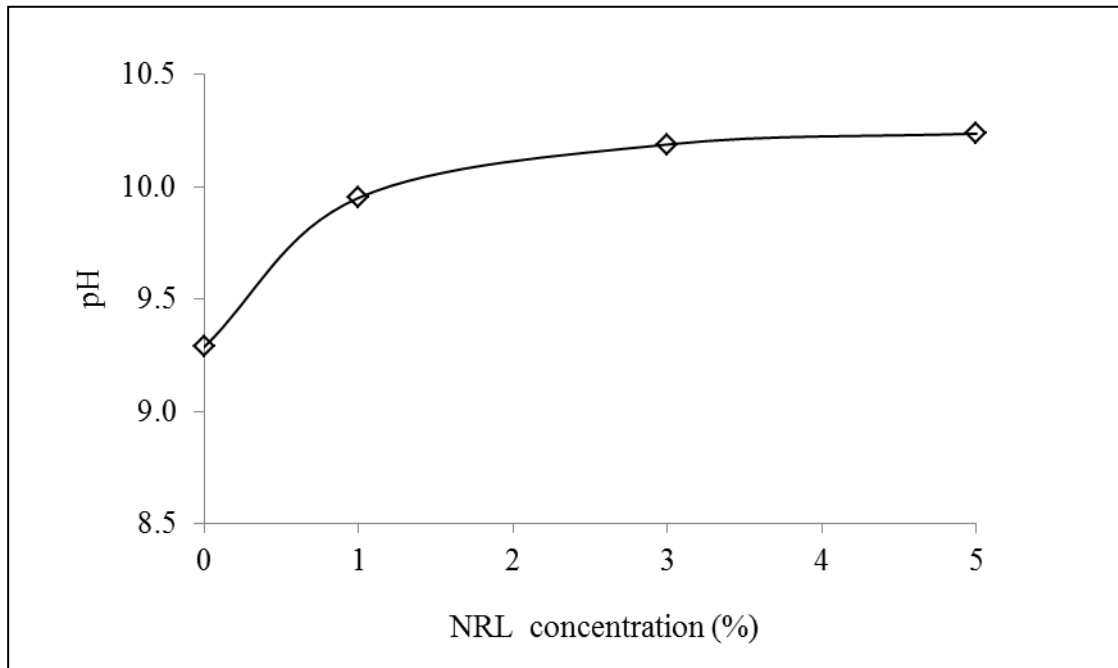
รูปที่ 4.23 ผลการทดสอบวัดค่าการซึมผ่านแบบสถิต (Static filtration test) ของน้ำโคลนที่มี ส่วนผสมของน้ำยางธรรมชาติที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เทียบกับรากที่สองของเวลา

4.5 การทดสอบวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราธรรมชาติ

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองการทดสอบการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราธรรมชาติที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าจากการวัดทั้งสามครั้งได้ถูกเฉลี่ย และแสดงผลไว้ในรูปที่ 4.24 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของตัวอย่างน้ำโคลนสูงขึ้นเมื่อสัดส่วนความเข้มข้นของน้ำยางพาราธรรมชาติเพิ่มสูงขึ้น นั่นคือน้ำโคลนมีความเป็นด่าง (Alkaline) มากขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำโคลนเจาะที่ใช้เป็นส่วนผสมหลัก (Water-based mud) โดยทั่วไปจะถูกปรับปรุงให้มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 9.5 ถึง 10.5 (Baker Hughes, 2006) ซึ่งสอดคล้องกับตัวอย่างน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราธรรมชาติซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ที่ 9.9 ถึง 10.2 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าความเป็นด่างของน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราธรรมชาตินั้นสามารถช่วยลดปัญหาการกัดกร่อนของท่อและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการเจาะได้อีกทางหนึ่งด้วย

ตารางที่ 4.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราธรรมชาติ

ส่วนประกอบ ของตัวอย่างน้ำโคลน	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของตัวอย่างน้ำโคลน			
	#1	#2	#3	เฉลี่ย
Bentonite	9.332	9.235	9.295	9.287
Bentonite+ 1%NRL	10.032	9.912	9.910	9.952
Bentonite+ 3%NRL	10.251	10.226	10.089	10.189
Bentonite+ 5%NRL	10.154	10.300	10.257	10.237



รูปที่ 4.24 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของตัวอย่างน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราธรรมชาติที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

4.6 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

โดยทั่วไปน้ำโคลนจะนั้นมีราคาค่อนข้างแพง จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์และสรุปถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของน้ำโคลนที่นำมาใช้ โดยทำการเปรียบเทียบราคาของสารเติมแต่งน้ำยางพาราธรรมชาติกับสารเติมแต่งที่ใช้กันทั่วไปในการเจาะ ตารางที่ 4.5 แสดงรายการชนิดของสารเติมแต่งที่ใช้ผสมในน้ำโคลนเจาะพร้อมทั้งราคาต่อหน่วย

ตารางที่ 4.5 ราคาของสารเติมแต่ง

สารเติมแต่ง	ราคา (บาท)	หน่วย (กก.)	ราคาต่อหน่วย (บาท/กก.)
API Bentonite	16,100	1,000	16.10
Barite	4,500	1,000	4.5
PAC Polymer	72,000	25	2,880
Guar Gum	120,00	1,000	120
Xanthan Gum	105,000	1,000	105
Natural Rubber Latex	75	1	75

สารเติมแต่งในตารางเป็นชนิดของสารเติมแต่งที่ใช้ทั่วไปในหลุมเจาะ จากตารางจะเห็นได้ว่า ราคาของสารเคมีที่เป็นสารเติมแต่งมีราคาแพงกว่าน้ำยางธรรมชาติ เมื่อเปรียบเทียบกับสารเพิ่มความหนืด (viscosifier) นั่นคือ Guar gum และ Xanthan gum น้ำยางพาราธรรมชาติก็มีราคาถูกกว่าร้อยละ 38 และร้อยละ 29 ตามลำดับ และยังถูกกว่า PAC polymer ซึ่งเป็นสารลดการสูญเสียในน้ำโคลนอยู่มาก ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ราคาของน้ำโคลนที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราธรรมชาตินั้นมีราคาถูกกว่าน้ำโคลนที่ผสมด้วยสารเติมแต่งอื่น ๆ โดยทั่วไป ดังนั้นด้วยความที่มีราคาไม่แพงและเป็นสารที่มาจากธรรมชาติ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและยังจัดหาได้ง่ายในประเทศไทย ดังนั้นน้ำยางพาราธรรมชาติจึงเหมาะสมที่จะนำมาผสมเป็นสารเติมแต่งในโคลนเจาะเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านการเสกวิทยาและคุณสมบัติทางด้านการป้องกันการสูญเสียในน้ำโคลนหรือน้ำในน้ำโคลนเจาะได้เป็นอย่างดี