

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ลักษณะสมบัติน้ำคิบสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง

เนื่องจากน้ำคิบสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองเตรียมขึ้นจากการละลายสารโซเดียมเมตาซิลิเกตหนัก 0.284 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร ลักษณะสมบัติของน้ำคิบสังเคราะห์ภายหลังจากการปรับพีเอชด้วย 1+1 HCl จะเป็นดังนี้

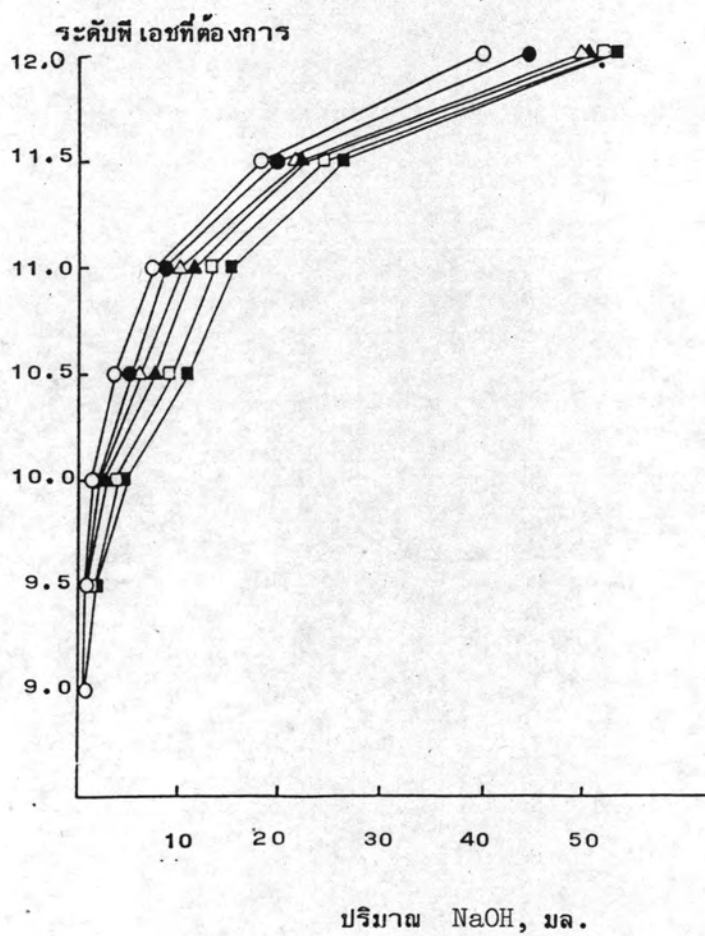
ความเข้มข้นของซิลิกา	56.62	มก/ล
ความเป็นด่าง	4-7	มก/ล ในรูปของหินปูน
ความขุ่น	0.4	เอ็นทียู
ความนำไฟฟ้า	215	ไมโครโมส์/ซม
พีเอชสารละลาย	6.8-7.6	

4.2 การทดลองการกำจัดซิลิกาในระยะที่ 1

การทดลองการกำจัดซิลิกาในระยะที่ 1 เป็นการทดลองหาพีเอชและปริมาณของสารเคมีที่เหมาะสมที่ใช้ในการกำจัดซิลิกาด้วยการใช้สารเคมีต่าง ๆ ดังนี้คือ สารประกอบแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$) และอลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$) โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอช ผลการทดลองการกำจัดซิลิกาเนื่องจากสารเคมีทั้ง 3 เป็นดังนี้

4.2.1 การกำจัดซิลิกาคด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์

ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการปรับพีเอชสารละลายในช่วงระหว่าง 9 ถึง 12 ที่ปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์ที่เติมตั้งแต่ 1 ถึง 6mM แสดงไว้ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การไตเตรชันระหว่าง NaOH กับน้ำส้มเคราะหที่เติมแมกนีเซียมคลอไรด์
ปริมาณต่าง ๆ ตั้งแต่ 1 ถึง 6mM

ผลการทดลองการกำจัดซิลิกาด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์ สรุปไว้ในตารางที่ 4.1

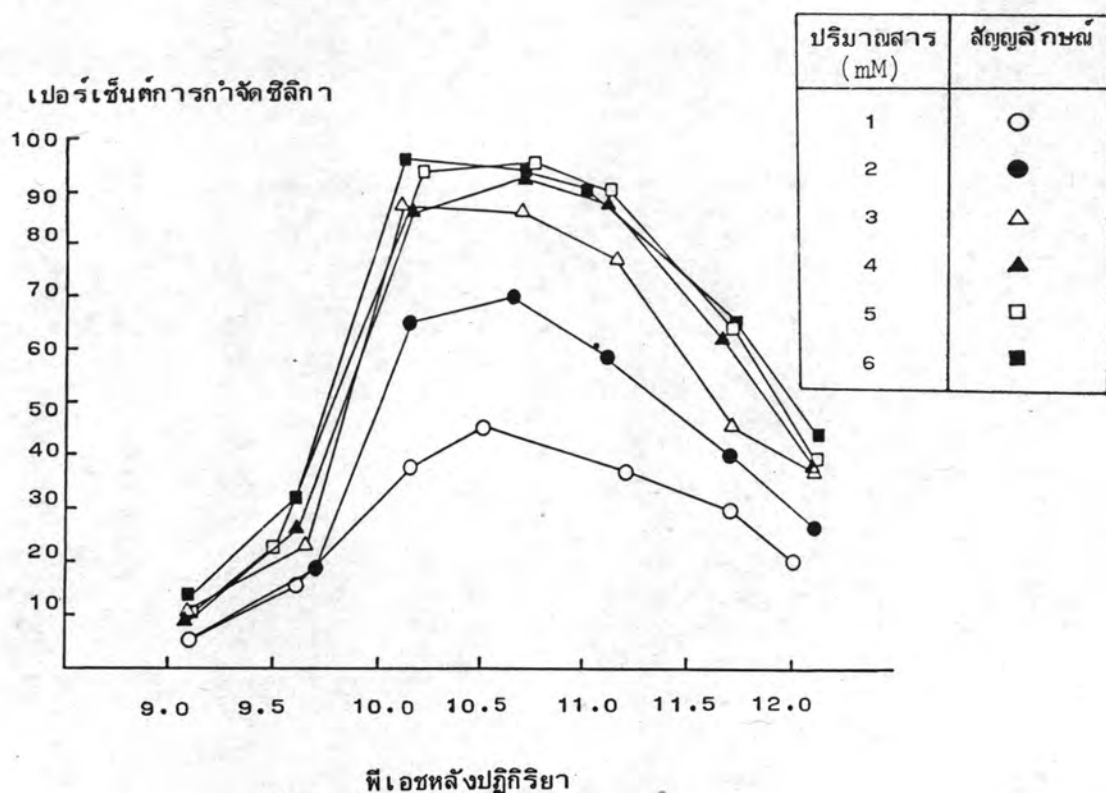
ตารางที่ 4.1 เปรอ์เซ็นต์การกำจัดซิลิกาด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์ปริมาณความเข้มข้นตั้งแต่ 1 - 6 mM ที่พีเอชสารละลายในช่วง 9-12

ปริมาณ พีเอช สารละลาย	ปริมาณ สารเคมี (mM)	1 (203)	2 (406)	3 (609)	4 (812)	5 (1015)	6 (1218)
9.0		5.4	5.4	14.3	8.9	10.7	10.7
9.5		16.1	19.6	32.1	26.8	23.2	23.2
10.0		38.4	65.5	87.5	86.6	94.6	96.4
10.5		45.5	70.0	86.6	93.0	95.5	94.6
11.0		37.5	59.8	77.7	88.4	90.4	91.3
11.5		30.8	40.2	46.4	62.9	64.6	65.4
12.0		20.5	26.8	37.5	38.4	39.3	44.6

() ปริมาณสารเคมีในหน่วย มก/ล

ข้อมูลอื่น ๆ ที่ได้จากการทดลอง Jar test สรุปไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข-1

ผลการทดลองหาพีเอชและปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสม ในการกำจัดซิลิกา
แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 อิทธิพลของพีเอชที่มีต่อการกำจัดซิลิกาด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์ปริมาณต่าง ๆ ตั้งแต่ 1-6 mM จากตารางผลการทดลองที่ 4.1

จากรูป 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดซิลิกาเปรียบเทียบกับค่าพีเอชหลังปฏิกิริยาโดยวัดพีเอชภายหลังจากการจมตัวของตะกอนเมื่อ ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อที่จะหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำที่ให้ผลในการกำจัดซิลิกาที่ดีที่สุด ในรูปจะแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดซิลิกาสูงสุดที่พีเอชในช่วง 10.1 - 10.8 ซึ่งค่อนข้างแคบ ค่าพีเอชหลังปฏิกิริยาที่มากกว่า 11 ขึ้นไปและต่ำกว่า 10 ลงมา ประสิทธิภาพการกำจัดซิลิกาจะลดลงอย่างรวดเร็ว ปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะปริมาณแมกนีเซียมที่เดิมเข้าไปมากกว่า 3 mM (609 มก/ล) หลังจากนั้นการเติมสารเคมีเพิ่มขึ้นจะไม่ให้ผลแตกต่างกันมากนักในการกำจัดซิลิกา นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์การกำจัดซิลิกาที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้การควบคุมพีเอชมีความสำคัญน้อยลง กล่าวคือช่วงพีเอชที่เหมาะสมจะมีช่วงกว้างกว่าที่เปอร์เซ็นต์การกำจัดซิลิกาค่า ๆ ซึ่งจะมีพีเอชเหมาะสมแคบกว่า

คุณภาพน้ำภายหลังจากการกำจัดซิลิกาจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามพีเอชของสารละลาย ดังแสดงในรูป 4.3 ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่าง ๆ เช่น ซิลิกาที่เหลืออยู่ในน้ำ ปริมาณแมกนีเซียมไอออนที่เหลือ ความขุ่น และความสูงชั้นตะกอนเมื่อเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ปริมาณต่าง ๆ โดยมีความสัมพันธ์ตามค่าพีเอชที่เปลี่ยนไปดังนี้คือ

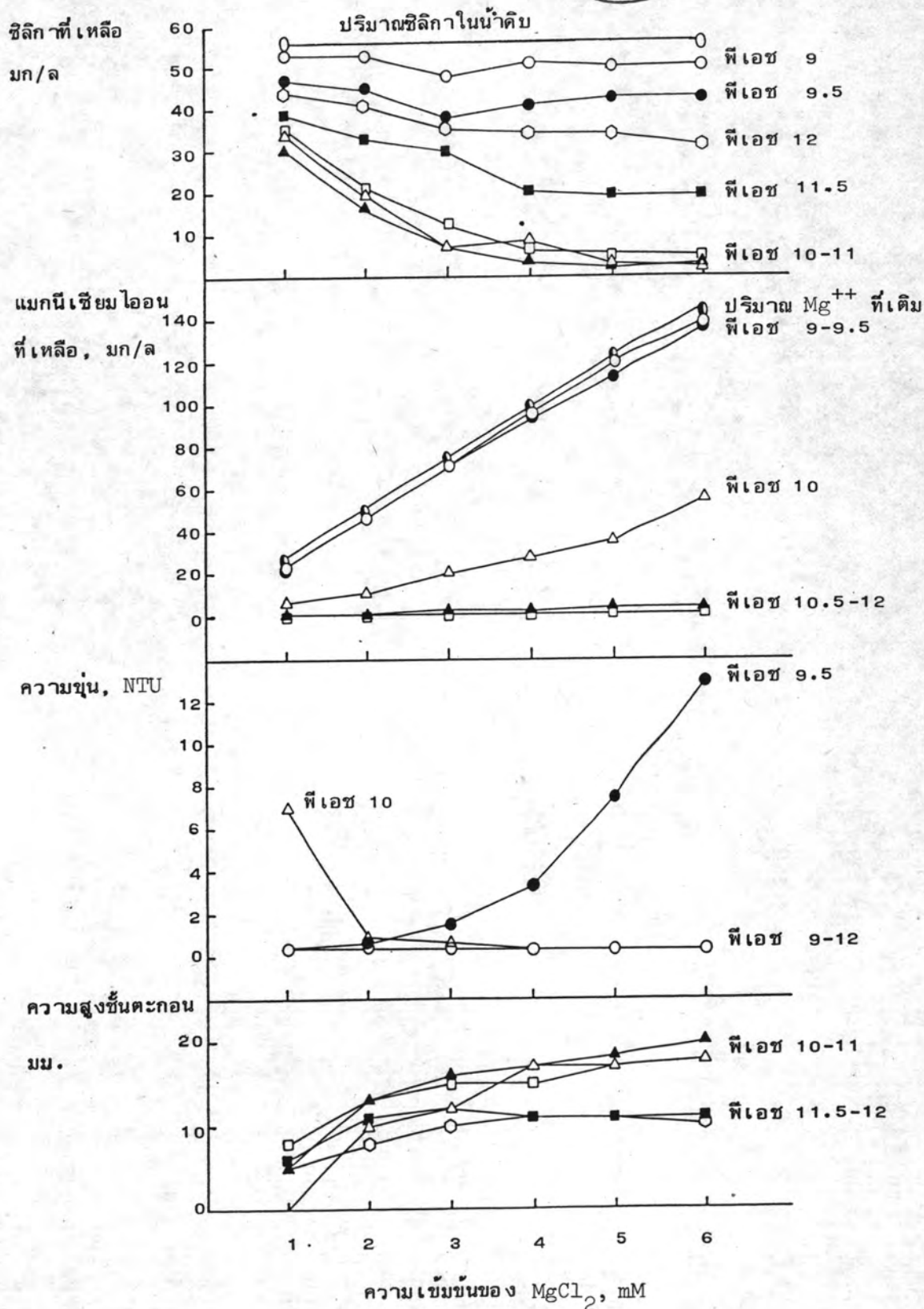
พีเอช 9 ปริมาณความเข้มข้นของซิลิกาตกลงเล็กน้อย เช่นเดียวกับปริมาณ Mg^{++} ที่เหลืออยู่มีค่าไม่แตกต่างจากปริมาณที่เติมเข้าไป น้ำมีความขุ่นเท่ากับน้ำดิบ

พีเอช 9.5 ปริมาณซิลิกาตกลง ส่วนปริมาณ Mg^{++} ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด เริ่มสังเกตเห็นฟlocsมากขึ้นตามปริมาณสารเคมีที่เติม แต่ไม่ตกตะกอนแยกตัวจากน้ำยังคงแขวนลอยอยู่ในน้ำ

พีเอช 10 เริ่มมีการกำจัดซิลิกาตั้งจะเห็นได้ว่าปริมาณซิลิกาตกลงอย่างเห็นได้ชัด เช่นเดียวกับที่ปริมาณ Mg^{++} ก็ลดต่ำลงด้วย เริ่มมีการตกตะกอนเมื่อปริมาณสารเคมีมากกว่า 1 mM (203 มก/ล) ฟlocsมีปริมาณและขนาดใหญ่ขึ้น ความสูงชั้นตะกอนมากขึ้นตามลำดับของปริมาณสารเคมีที่เพิ่มขึ้น

พีเอช 10.5 ถึงพีเอช 11 ปริมาณซิลิกาเหลืออยู่ในน้ำน้อยที่สุด เช่นเดียวกับปริมาณ Mg^{++} ที่มีการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ ตะกอนมีการจมตัวดีและใช้เวลาสั้น เป็นผลให้น้ำมีความขุ่นน้อยกว่า 1 NTU ชั้นตะกอนมีความสูงเพิ่มขึ้นตามลำดับของสารเคมีที่เพิ่มขึ้น

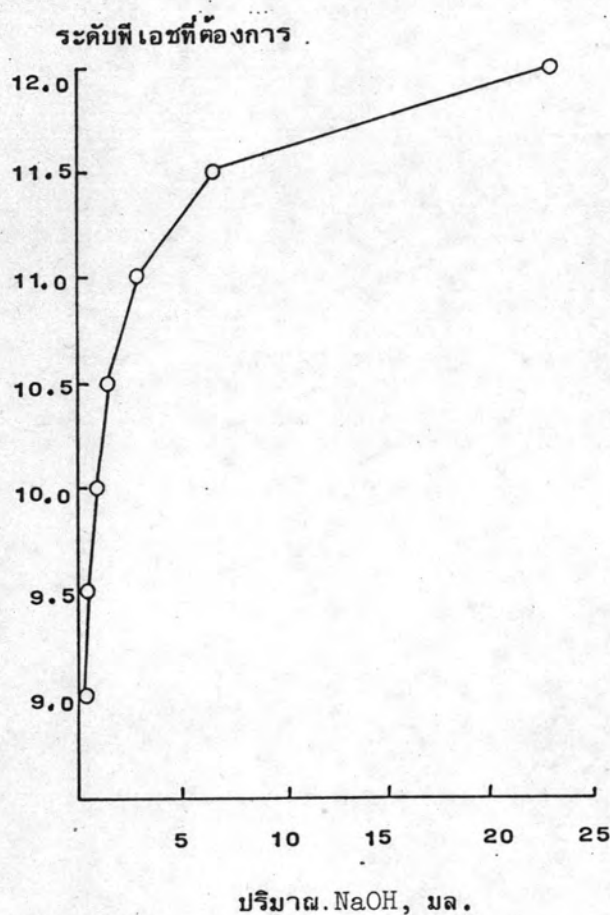
พีเอช 11.5 ถึง 12 ซิลิกาเหลืออยู่ในน้ำเพิ่มขึ้น แสดงว่าไม่มีการกำจัดซิลิกาในช่วงพีเอชนี้ ในขณะที่ Mg^{++} ตกตะกอนอย่างสมบูรณ์เหลืออยู่ในน้ำประมาณ 1-2 มก/ล (4-8.5 มก/ล ในรูปของหินปูน) เท่านั้น น้ำมีความขุ่นเหมือนเดิม ความสูงชั้นตะกอนลดลงน้อย เนื่องจาก Mg^{++} ตกผลึกเป็น $Mg(OH)_2$ เกือบหมดและมีปริมาณมากทำให้มีการอัดตัวของชั้นตะกอนมากขึ้น



รูปที่ 4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่าง ๆ ในน้ำที่ผ่านการกำจัดซิลิกาด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์ที่พีเอชต่าง ๆ

4.2.2 การกำจัดซิลิกาด้วยแคลเซียมคลอไรด์

ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการปรับพีเอชสารละลายในช่วงระหว่าง 9 ถึง 12 ที่ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่เดิมตั้งแต่ 1 ถึง 6 mM แสดงไว้ในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การโคเตรชันระหว่าง NaOH กับน้ำสังเคราะห์ที่เดิมแคลเซียมคลอไรด์ ปริมาณต่าง ๆ ตั้งแต่ 1-6 mM

ผลการทดลองการกำจัดซิลิกาด้วยแคลเซียมคลอไรด์ ดังสรุปไว้ในตาราง 4.2

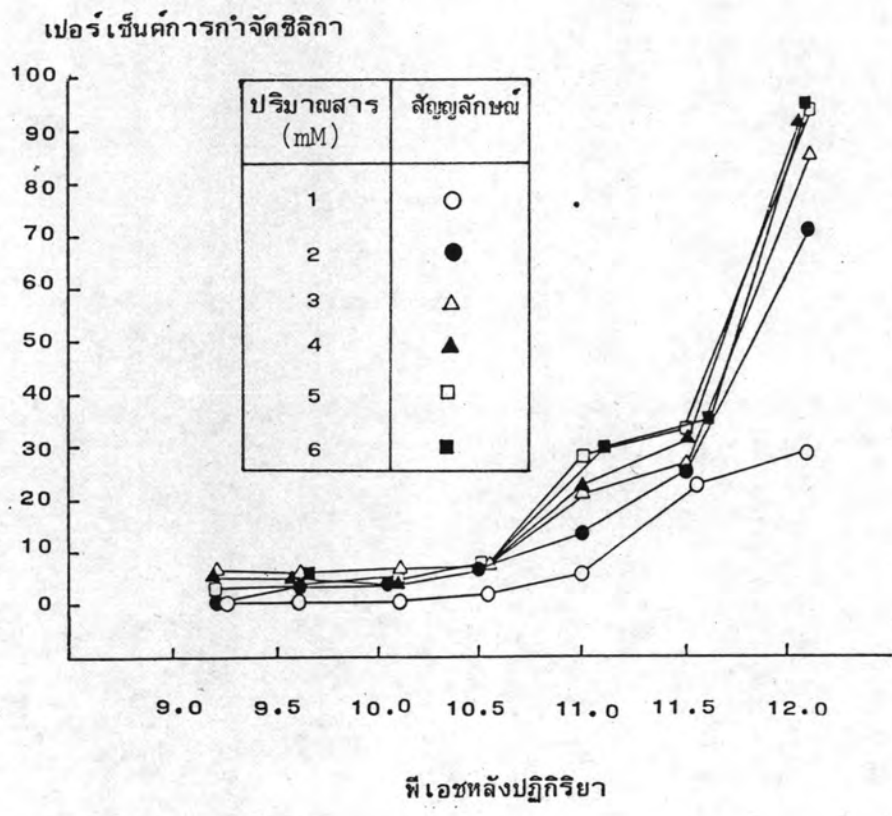
ตารางที่ 4.2 เปรอ์เซ็นต์การกำจัดซิลิกาด้วยแคลเซียมคลอไรด์ปริมาณความเข้มข้น
ตั้งแต่ 1-6 mM ที่พีเอชสารละลายในช่วง 9-12

ปริมาณ สารเคมี (mM) พีเอช สารละลาย	1 (147)	2 (294)	3 (441)	4 (588)	5 (735)	6 (882)
9.0	-	-	6.9	5.2	3.4	3.4
9.5	-	3.4	6.0	5.2	3.4	5.2
10.0	-	3.4	6.9	3.4	5.2	6.9
10.5	1.7	6.9	6.9	6.0	5.2	5.2
11.0	5.2	13.8	20.7	22.4	27.6	29.3
11.5	22.4	25.0	25.9	30.2	32.8	34.5
12.0	22.4	70.3	84.9	91.4	93.1	94.0

() ปริมาณความเข้มข้นในเทอม มก/ล

ข้อมูลอื่น ๆ ที่ได้จากการทดลอง Jar test สรุปไว้ในภาคผนวก ตารางที่ ข 2

ผลการทดลองหาพีเอชและปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการกำจัดซิลิกา ดังแสดง
ในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 อิทธิพลของพีเอชที่มีต่อการกำจัดซิลิกาด้วยแคลเซียมคลอไรด์ จากตารางผลการทดลองที่ 4-2

จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดซิลิกากับแคลเซียมคลอไรด์ สูงสุดที่พีเอช 12 และประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณสารเคมีที่เติมเข้าไป

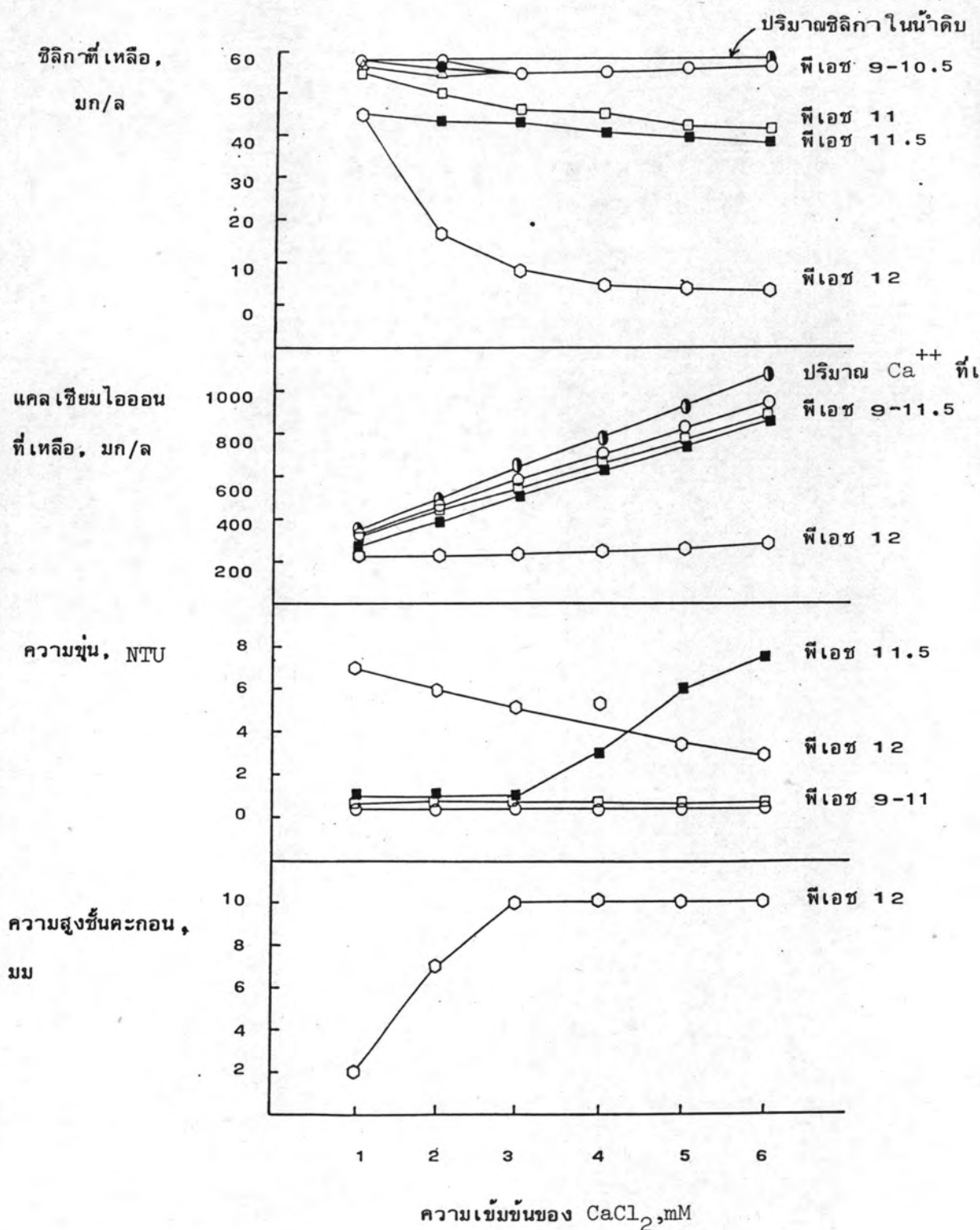
คุณภาพน้ำภายหลังจากการกำจัดซิลิกาจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามพีเอชของสารละลาย ดังแสดงในรูป 4.6 ซึ่งจะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่าง ๆ เช่น ซิลิกาที่เหลืออยู่ในน้ำ ปริมาณ Ca^{++} ที่เหลือ ความขุ่น และความสูงชันตะกอนเมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์ ปริมาณต่าง ๆ โดยมีความสัมพันธ์ตามค่าพีเอชที่เปลี่ยนไปดังนี้

พีเอช 9-10.5 ปริมาณซิลิกาในน้ำลดลงเพียงเล็กน้อย ในเวลาเดียวกัน Ca^{++} ที่เหลืออยู่ ยังคงมีค่าใกล้เคียงกับที่เดิมลงไป น้ำยังคงใสมีความขุ่นเท่ากับน้ำดิบสังเคราะห์

พีเอช 1.1-11.5 ปริมาณซิลิกาในน้ำเริ่มลดลงอีกเล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณ Ca^{++} ก็ลดลงเช่นเดียวกัน เริ่มสังเกตเห็นฟล็อกที่พีเอช 11.5 โดยเพิ่มปริมาณมากขึ้นตามปริมาณสารที่เติมลงไป แต่ตะกอนไม่ตกแยกตัวออกจากน้ำยังคงแขวนลอยอยู่ทั่วไป เป็นผลให้ความขุ่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณสาร

พีเอช 12 เริ่มมีการกำจัดซิลิกาเมื่อเติมสารเคมีเข้าไปมากกว่า 1 mM (147 มก/ล) โดยจะกำจัดซิลิกาให้เหลือน้อยลงตามลำดับ ในขณะเดียวกัน Ca^{++} จะเหลืออยู่น้อยที่สุดโดยเกิดผลึก $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ปริมาณมากและรวมตัวกันจนมีน้ำหนักมากขึ้นตกตะกอนแยกตัวจากน้ำเกิดขึ้นตะกอนสูงขึ้นตามปริมาณสารเคมีที่เติม ในขณะเดียวกันน้ำก็จะมี ความขุ่นลดน้อยลงด้วยเช่นเดียวกัน

ทุกถ้อยการทดลองที่พีเอชมากกว่า 11 จะปรากฏตะกอนขนาดเล็กลอยเป็นฝ้าอยู่ทั่วไปที่บริเวณผิวน้ำเนื่องจากเป็นตะกอน $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ที่ไม่ตกตะกอนแยกตัวจากน้ำแขวนลอยอยู่ทั่วไป และมีปริมาณมากขึ้นตามปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่เติมเข้าไป

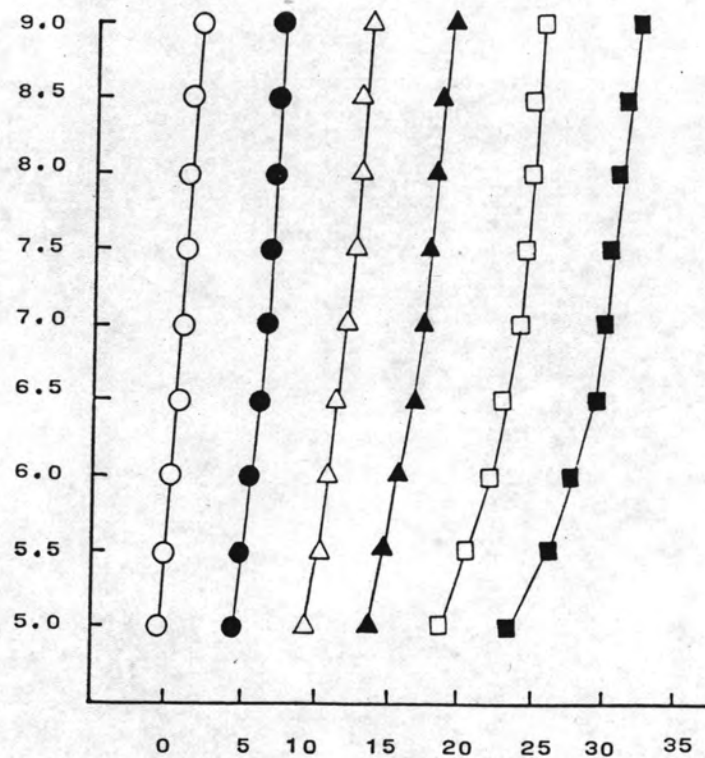


รูปที่ 4.6 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่าง ๆ ในน้ำที่ผ่านการกำจัดชิลิกาด้วย แคลเซียมคลอไรด์ที่ฟิเอชต่าง ๆ

4.2.3 การกำจัดซิลิกาด้วยอลูมิเนียมซัลเฟต

ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการปรับพีเอชสารละลายในช่วงระหว่าง 5 ถึง 9 ที่ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เติมตั้งแต่ 1 ถึง 6 mM แสดงไว้ในรูปที่ 4.7

ระดับพีเอชที่ต้องการ



ปริมาณ NaOH ที่ใช้, มล

รูปที่ 4.7 การไตเตรชันระหว่าง NaOH กับน้ำสังเคราะห์ที่เติมอลูมิเนียมซัลเฟต ปริมาณต่าง ๆ ตั้งแต่ 1-6 mM

ผลการทดลองการกำจัดซิลิกาด้วยอลูมิเนียมซัลเฟต ดังสรุปไว้ในตาราง 4.3

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซนต์การกำจัดซิลิกาด้วยอลูมิเนียมซัลเฟตปริมาณความ เข้มข้นตั้งแต่ 1-6 mM ที่พีเอชสารละลายในช่วง 5-9

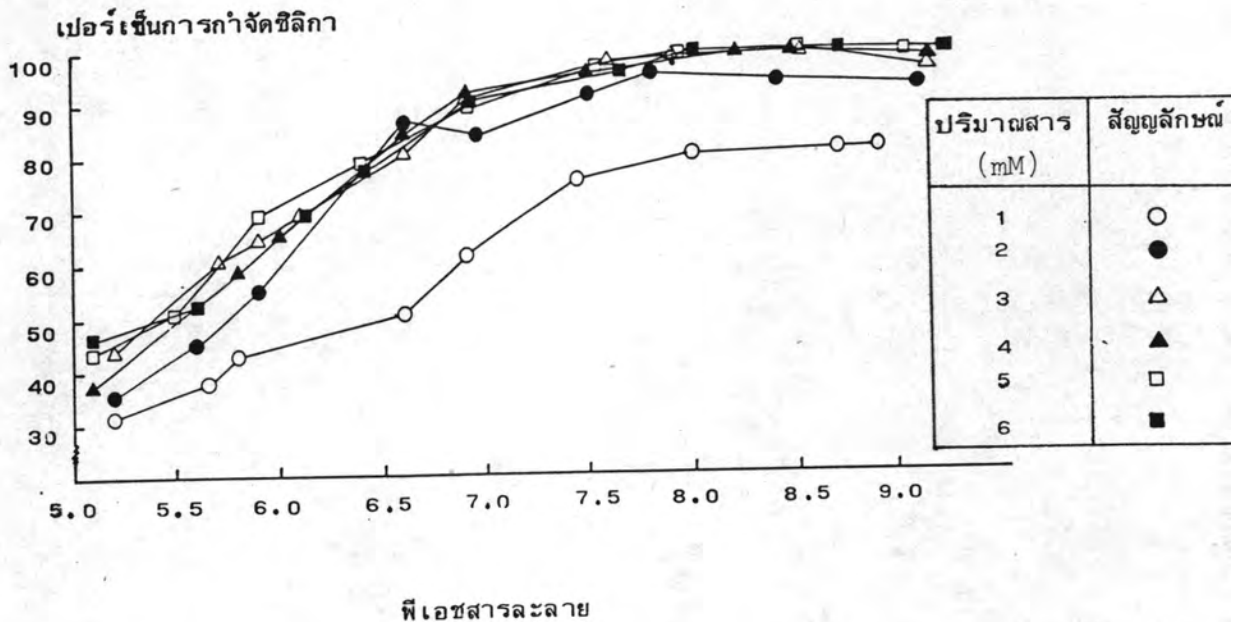
ปริมาณ พีเอช สารเคมี สารละลาย (mM)	1 (594)	2 (1188)	3 (1782)*	4 (2376)	5 (2970)	6 (3564)
5.0	31.6	35.1	43.9	37.7	43.9	46.5
5.5	37.7	45.6	60.5	58.8	50.9	52.6
6.0	43.0	55.3	64.9	65.8	69.3	69.3
6.5	50.9	87.7	80.7	84.2	89.5	78.1
7.0	71.4	84.6	90.4	91.2	89.5	89.5
7.5	75.4	91.6	97.4	95.6	96.0	95.8
8.0	80.7	95.4	98.4	99.1	99.1	99.3
8.5	81.0	93.9	99.3	99.5	99.6	99.3
9.0	81.6	93.2	96.3	98.8	99.3	99.3

() ปริมาณความ เข้มข้นใน เทอม มก/ล

ข้อมูลอื่น ๆ ที่ได้จากการทดลอง Jar test สรุปไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่

ข3

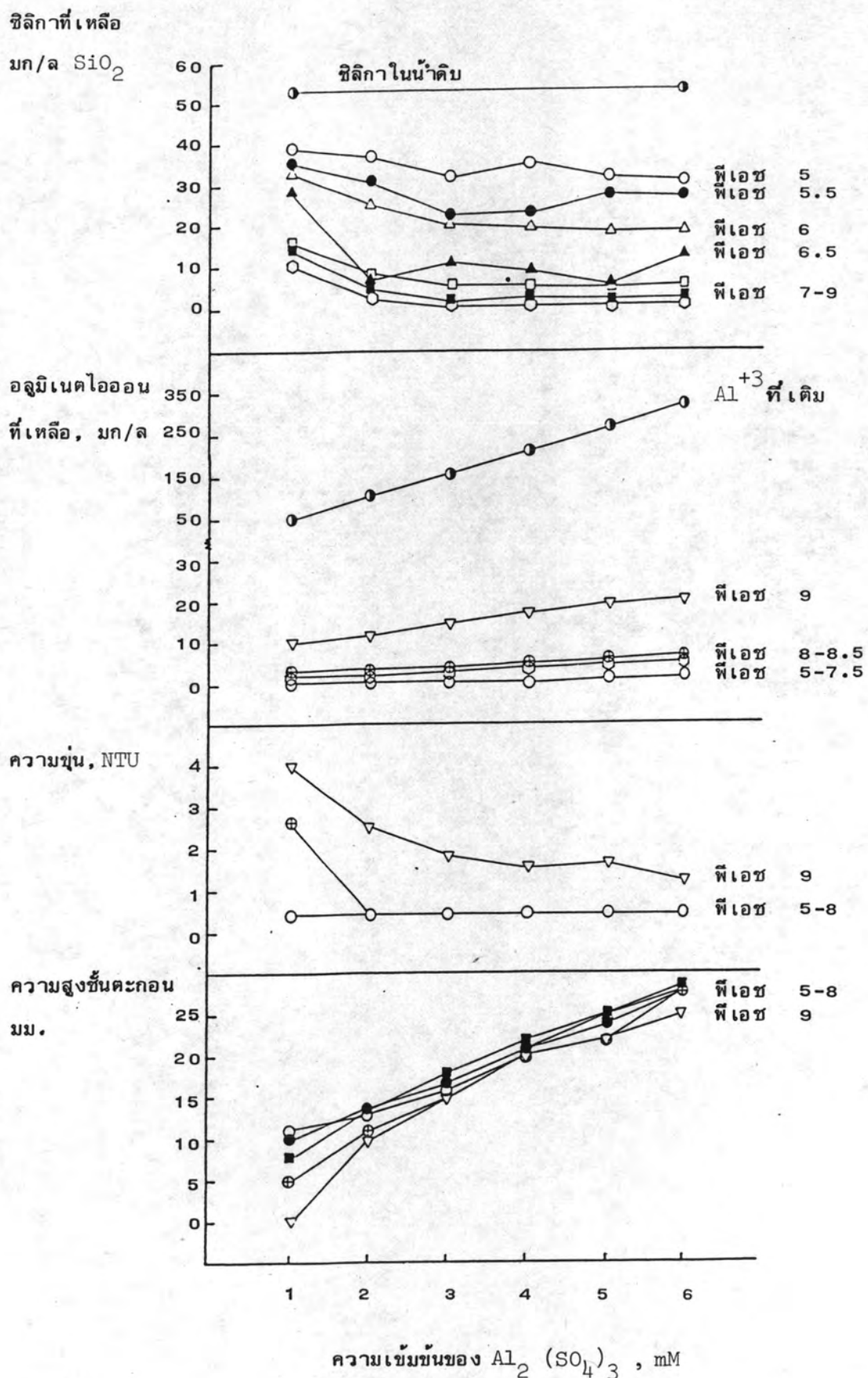
ผลการทดลองหาพีเอชและปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในการกำจัดซิลิกา
 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 อิทธิพลของพีเอชที่มีต่อการกำจัดซิลิกาด้วยอลูมิเนียมซัลเฟตจากตารางผลการทดลองที่ 4.3

จากรูปที่ 4.8 เป็นการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกำจัดซิลิกากับพีเอชสารละลาย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดซิลิกาเพิ่มสูงขึ้นเมื่อพีเอชสารละลายสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์การกำจัดซิลิกาสูงสุดที่พีเอชอยู่ในช่วงตั้งแต่ 7.5 ถึง 9 ปริมาณสารเคมีที่เพิ่มมากกว่า 1 mM (594 มก/ล) จะมีประสิทธิภาพการกำจัดซิลิกาใกล้เคียงกันปริมาณสารเคมีที่มากเกินไปจะไม่ช่วยทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงขึ้น ซึ่งแตกต่างจากการใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ปริมาณสารเคมีเพิ่มมากขึ้นเป็นผลให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดซิลิกามีแนวโน้มสูงขึ้น

คุณภาพน้ำหลังจากการกำจัดซิลิกาจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามพีเอชของสารละลาย ดังแสดงในรูป 4.9 ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่าง ๆ เช่นซิลิกาที่เหลืออยู่ในน้ำ ปริมาณ Al^{+3} ที่เหลือ ความขุ่น และความสูงชันตะกอนเมื่อเติมอลูมิเนียมซัลเฟต ปริมาณต่าง ๆ โดยมีความสัมพันธ์เปลี่ยนแปลงไปตามค่าพีเอช กล่าวคือปริมาณซิลิกาตกค้าง



รูปที่ 4.9 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่าง ๆ ในน้ำที่ผ่านการกำจัดซิลิกาด้วย อลูมิเนียมซัลเฟตที่พีเอชต่าง ๆ

เมื่อพีเอชสารละลายเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันอลูมิเนียมซัลเฟตจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เกิดเป็นผลึก $Al(OH)_3$ เกือบหมด มีอลูมิเนียมไอออนเหลือตกค้างอยู่เพียงเล็กน้อยในช่วงพีเอช 5-7.5 ภายหลังจากการตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนแล้วน้ำที่ได้อุ่น มีความสูงของชั้นตะกอนเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณสารที่เดิม เมื่อพีเอชเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 8-9 ปริมาณซิลิกาที่อยู่ในน้ำจะเหลือน้อยที่สุด ในเวลาเดียวกันอลูมิเนียมไอออนจะละลาย มากขึ้นทำให้อลูมิเนียมไอออน เหลืออยู่ในน้ำมากขึ้น น้ำมีความขุ่นเพิ่มขึ้นในขณะที่ความสูงชั้นตะกอนลดต่ำลงเล็กน้อย โดยเฉพาะที่ ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต 1 mM ที่พีเอช 8.5-9 น้ำที่ได้จะมีความขุ่นมากไม่ตกตะกอนแยกตัว จากน้ำ อลูมิเนียมซัลเฟตละลายเกือบหมดทำให้อลูมิเนียมไอออน เหลืออยู่ในน้ำมาก

4.3 การทดลองการกำจัดซิลิกาในระยะที่ 2

การทดลองระยะนี้ใช้สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ (PE) ช่วยในการตกตะกอนโดย ทำการทดลองใช้ PE 3 ชนิดคือชนิดประจุบวก (Cationic) ประจุลบ (Anionic) และไม่มีประจุ (Nonionic) สาร PE ทั้ง 3 มีชื่อทางการค้าว่า Accofloc C577, A 100 และ N 100S ตามลำดับ ซึ่งผลิตโดยบริษัทคิซุชิ ไชยานามิค จำกัด (ประเทศญี่ปุ่น) ปริมาณความเข้มข้นของ PE ที่ใช้ในการทดลองตั้งแต่ 0-1 มก/ล สภาวะของปฏิกิริยาใช้ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองระยะที่ 1 ได้แก่พีเอชหลังปฏิกิริยาที่เหมาะสม สำหรับปริมาณสาร เคมีนั้นใช้ปริมาณต่ำกว่าปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากจะใช้ PE เป็นตัวช่วยสมานตะกอน และทดแทนปริมาณสารเคมี (Coagulant aids) ลักษณะสมบัติของ PE ทั้ง 3 ชนิด อยู่ในภาคผนวก ค

พีเอชและปริมาณสารเคมีที่ใช้ ดังสรุปในตาราง 4.4

ตารางที่ 4.4 พีเอชและปริมาณสารเคมีที่ใช้กำจัดซิลิกา 60 มก/ล ในเทอม SiO_2

สารเคมี	ความเข้มข้นที่ใช้		พีเอชที่เหมาะสม
	mM	mg/l	
แมกนีเซียมคลอไรด์	1	203	10.5
แคลเซียมคลอไรด์	4	588	12.0
อลูมิเนียมซัลเฟต	1	594	7.5

ผลการทดลองการกำจัดซิลิกา สรุปลงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการกำจัดซิลิกาด้วยสารเคมีต่าง ๆ ร่วมกับ PE 3 ชนิด
ที่ปริมาณความเข้มข้นระหว่าง 0-1 มก/ล

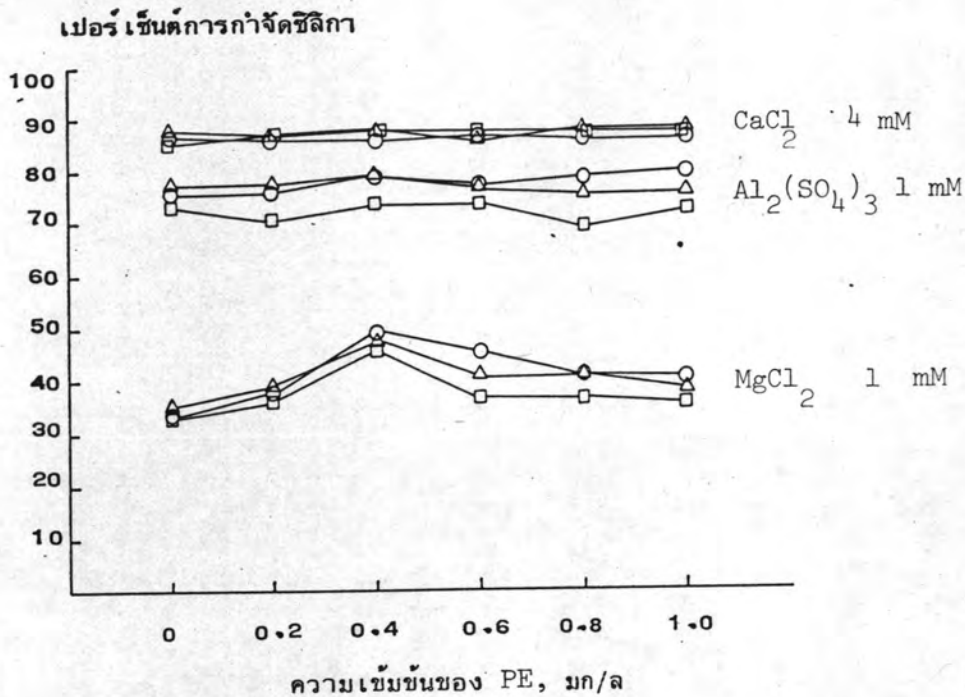
สารเคมี		ความเข้มข้น PE, มก/ล	ชนิดของ PE				
			0	0.2	0.4	0.6	0.8
MgCl ₂ ·6H ₂ O 1 mM	ประจุบวก	33.4*	38.6	49.1	45.6	40.4	40.4
	ประจุลบ	33.4	36.8	45.6	36.8	36.8	35.1
	ไม่มีประจุ	35.1	38.6	48.2	40.4	40.4	38.6
CaCl ₂ ·2H ₂ O 4 mM	ประจุบวก	86.7	86.7	86.3	86.7	85.9	85.5
	ประจุลบ	86.3	87.1	85.5	85.5	87.1	85.9
	ไม่มีประจุ	87.1	86.7	87.5	86.7	87.9	87.5
Al ₂ (SO ₄) ₃ ·14H ₂ O 1 mM	ประจุบวก	75.8	76.6	79.0	77.1	78.9	79.8
	ประจุลบ	74.4	70.8	73.5	74.0	69.0	72.4
	ไม่มีประจุ	77.1	77.7	79.0	76.9	75.0	75.0

* เปอร์เซนต์การกำจัดซิลิกา

ข้อมูลอื่น ๆ ที่ได้จากการทดลอง Jar test สรุปลงในภาคผนวก ข ตาราง ข4-ข6

ผลของการใช้ PE ทั้ง 3 ชนิดร่วมกับสารเคมีทั้ง 3 ในการกำจัดซิลิกาแสดงไว้

ในรูป 4.10



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบผลการกำจัดซิลิกาด้วยสารเคมีต่าง ๆ ร่วมกับ PE 3 ชนิด จากตารางผลการทดลองที่ 4.5

จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดซิลิกาของแต่ละสารเมื่อใช้ร่วมกับ PE 3 ชนิด ไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นการทดลองระยะนี้จะมุ่งประเด็นการพิจารณาถึงการใช้ PE ช่วยในการสมานตะกอนที่เกิดขึ้น และช่วยให้ตะกอนเกิดการจมตัวเร็วขึ้นเนื่องจากเหตุผลต่อไปนี้คือ

1. PE จะช่วย เชื่อมอนุภาคตะกอนไฮดรอกไซด์ ตะกอนซิลิเกตที่มีขนาดเล็ก ๆ รวมตัวกันทำให้ เป็นอนุภาคนขนาดใหญ่ขึ้น
2. PE จะช่วยทำให้อนุภาคสมานจับตัวกันอย่างแข็งแรง สามารถทนแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากการกวนด้วยดี

จากผลการทดลองเมื่อใช้ PE ชนิดประจุลบจะรวมตะกอนให้มีขนาดใหญ่อย่างเห็นได้ชัด อัตราการตกตะกอนเร็ว ตะกอนมีการจมตัวดี สำหรับชนิดประจุบวกและชนิดไม่มีประจุขนาดของตะกอนที่เกิดขึ้นมีขนาดไม่ใหญ่ขึ้นมากอย่างเห็นได้ชัด เช่น ชนิดประจุลบ แต่ตะกอนก็ยังมีอาการจมตัวดีเช่นเดียวกัน

คุณภาพน้ำหลังจากการดั่งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน สรุปได้ดังนี้

4.3.1 การใช้ PE ร่วมกับ $MgCl_2 \cdot 6H_2O$

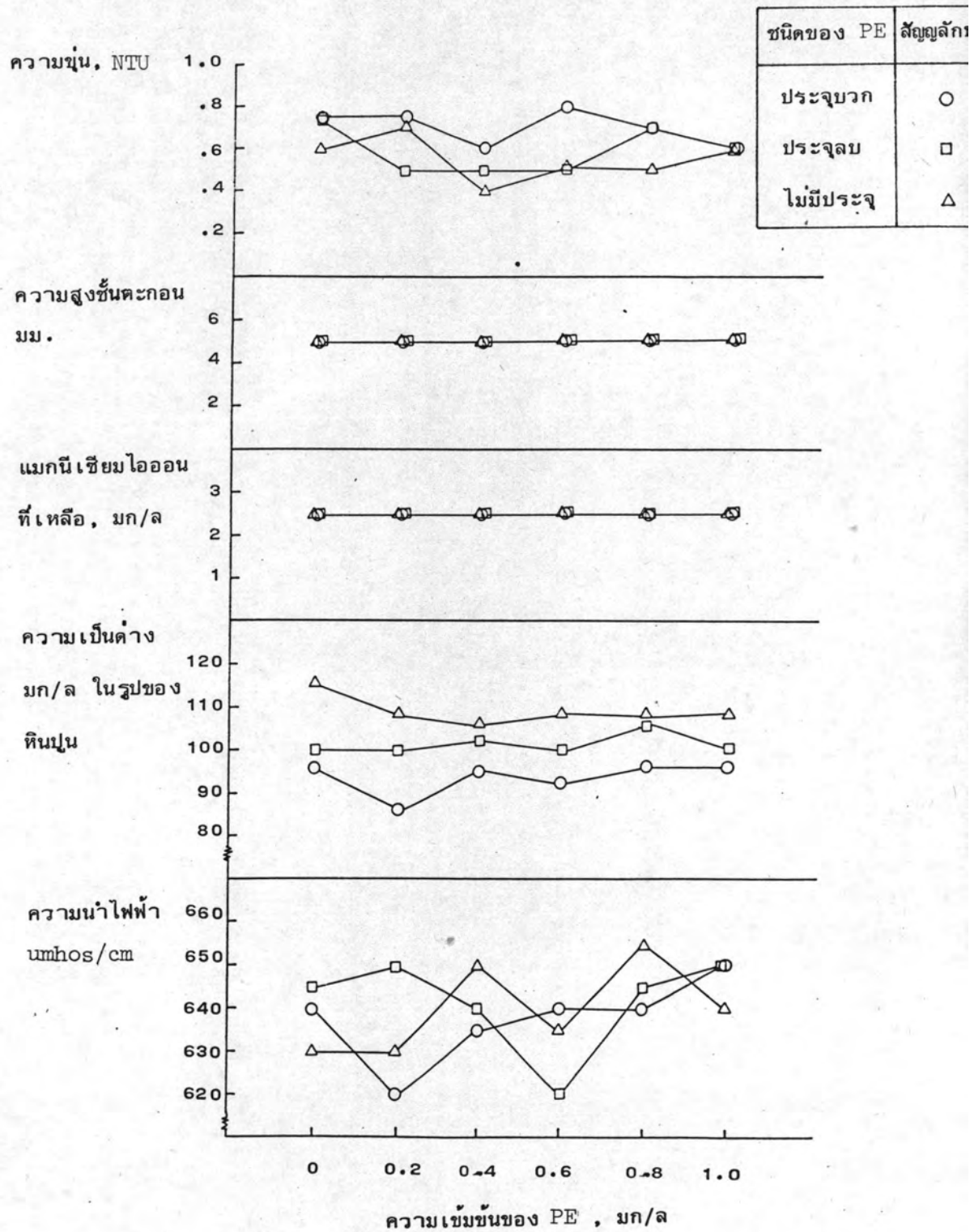
ตะกอน $Mg(OH)_2$ ที่เกิดขึ้นมีการจมตัวเองดีอยู่แล้ว การใช้ PE ทั้ง 3 ชนิดจะไม่ช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.11. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวแปรต่าง ๆ ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากถ้วยควบคุม

4.3.2 การใช้ PE ร่วมกับ $CaCl_2 \cdot 2H_2O$

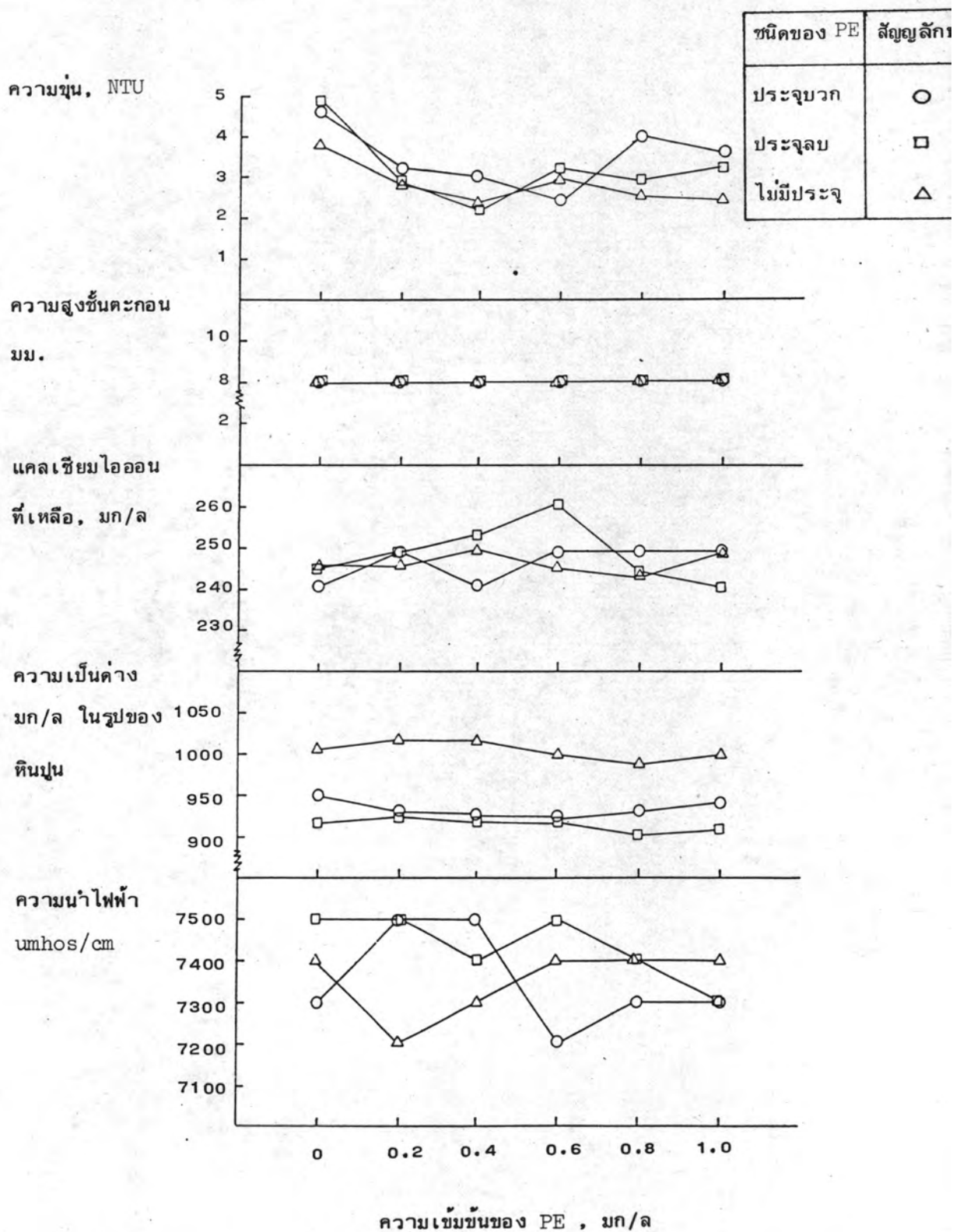
ตะกอน $Ca(OH)_2$ จมตัวดี เช่นเดียวกับตะกอน $Mg(OH)_2$ แต่ก็มีบางส่วนยังคงแขวนลอยอยู่และปรากฏเป็นฝ้าลอยอยู่บนผิว น้ำที่ 7 ไป คุณภาพน้ำแสดงไว้ในรูป 4.12 สรุปได้ว่า PE ทั้ง 3 มีส่วนช่วยทำให้น้ำมีความขุ่นลดน้อยลงแต่ก็ยังคงมีฝ้าแขวนลอยอยู่ทั่วไป

4.3.3 การใช้ PE ร่วมกับ $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$

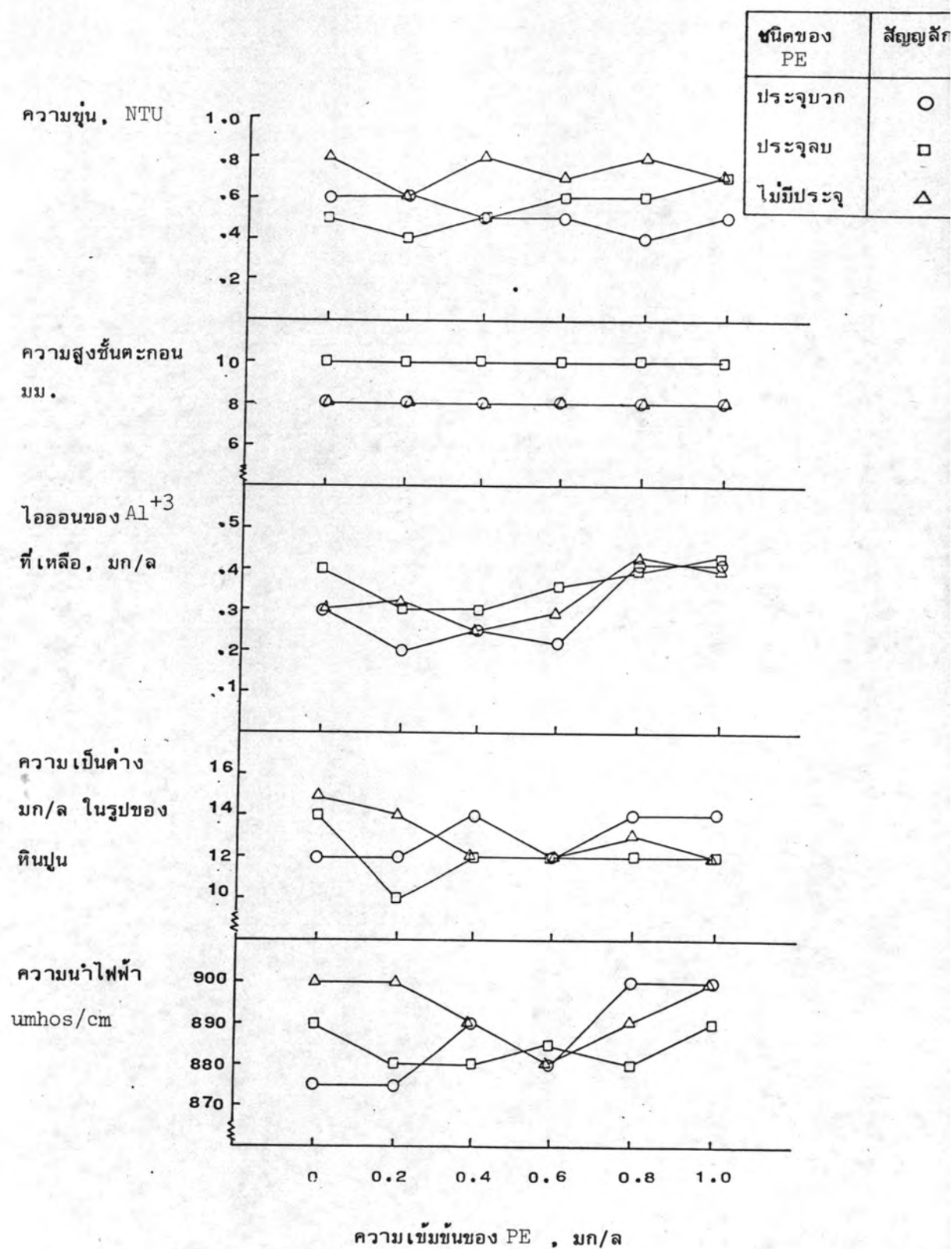
เนื่องจากว่าการจมตัวของตะกอนที่เกิดจากอลูมิเนียมซัลเฟตจะจมตัวค้ำยกว่าตะกอนที่เกิดจาก $MgCl_2$ และ $CaCl_2$ แต่ตะกอนนี้ก็ยังสามารถจมตัวลงได้ภายในเวลาที่กำหนด (30 นาที) แต่ถ้าหากจะพิจารณาในประเด็นที่ต้องการลดเวลาในการตกตะกอนหรือต้องการลดปริมาณของถังตกตะกอนหรือต้องการปรับปรุงถังตกตะกอนที่ใช้อยู่ในงานสนามที่มีขนาดเล็กเกินไปอย่างใดอย่างหนึ่งก็ตาม การใช้ PE ชนิดใดชนิดหนึ่งจะช่วยได้อย่างมาก คุณภาพน้ำหลังจากการดั่งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ เมื่อใช้ PE แต่ละชนิด ร่วมกับ $MgCl_2$ 1 mM ที่พีเอช 10.5



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ เมื่อใช้ PE แต่ละชนิดร่วมกับ CaCl_2 4 mM ที่พีเอช 12.0



รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ เมื่อใช้ PE แต่ละชนิดร่วมกับ $Al_2(SO_4)_3$, 1 mM ที่พีเอช 7.5

เนื่องจากการทดลองในระยะที่ 2 นี้ เป็นพื้นฐานสำหรับการทดลองใช้ PE
เท่านั้นจึงกำหนดขอบเขตการวิจัยไว้กว้าง ๆ ทำให้ไม่สามารถทำการวิจัยให้ละเอียดลึกลงไปอีก
อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองนี้อาจสรุปได้ว่า PE อาจใช้เป็นโคแอกูแลนต์ในการรวมผลึกที่เกิด
ขึ้นได้ และทำให้มีตะกอนเกิดขึ้นน้อย การดึงน้ำออกจากตะกอนกระทำได้ง่ายและไม่ทำให้พีเอช
เปลี่ยนแปลง

4.4 การทดลองการกำจัดซิลิกาในระยะที่ 3

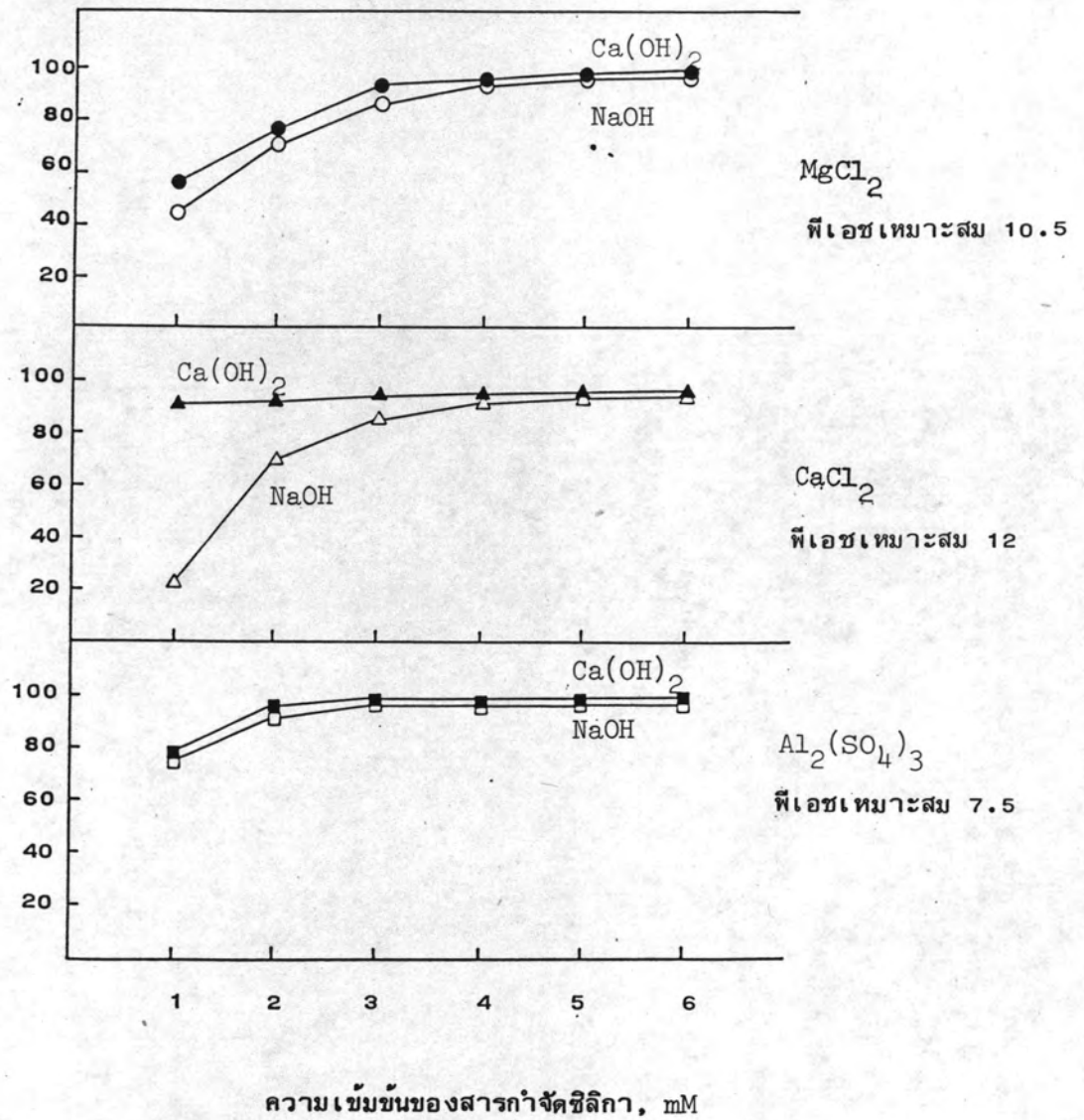
สารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอชได้แก่สารประกอบของโซเดียมและแคลเซียมการเลือกใช้สารเคมีตัวใดจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้านทั้งทางด้านราคา ความสะดวกในการใช้งาน และผลกระทบต่อขบวนการอื่น ๆ การทดลองในระยะนี้เป็นการใช้ปูนขาว ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) เป็นสารปรับพีเอช โดยการใช้แมกนีเซียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์และอลูมิเนียมซัลเฟตที่ปริมาณความเข้มข้นต่าง ๆ ตั้งแต่ 1 ถึง 6 mM ที่พีเอชเหมาะสมที่ได้จากการทดลองระยะที่ 1 ผลการทดลองการกำจัดซิลิกาที่ได้น่ามาเปรียบเทียบกับการใช้โซดาไฟ (NaOH) ปรับพีเอชสารละลาย สรุปไว้ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เปรอ์เซ็นต์การกำจัดซิลิกาคด้วยสารเคมีต่าง ๆ เปรียบเทียบกันระหว่างการใช้ NaOH และ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ เพื่อปรับพีเอชสารละลาย

สารเคมีที่ใช้		1	2	3	4	5	6
ความเข้มข้น สารปรับพีเอช (mM)							
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	NaOH	45.5	70.0	86.6	93.0	95.5	94.6
	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	56.0	76.2	92.6	94.8	98.3	98.7
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	NaOH	22.4	70.3	84.9	91.4	93.1	94.0
	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	91.4	92.4	94.8	94.8	95.9	96.6
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$	NaOH	75.4	91.6	97.4	95.6	96.0	95.8
	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	78.4	96.7	99.3	99.5	99.7	99.7

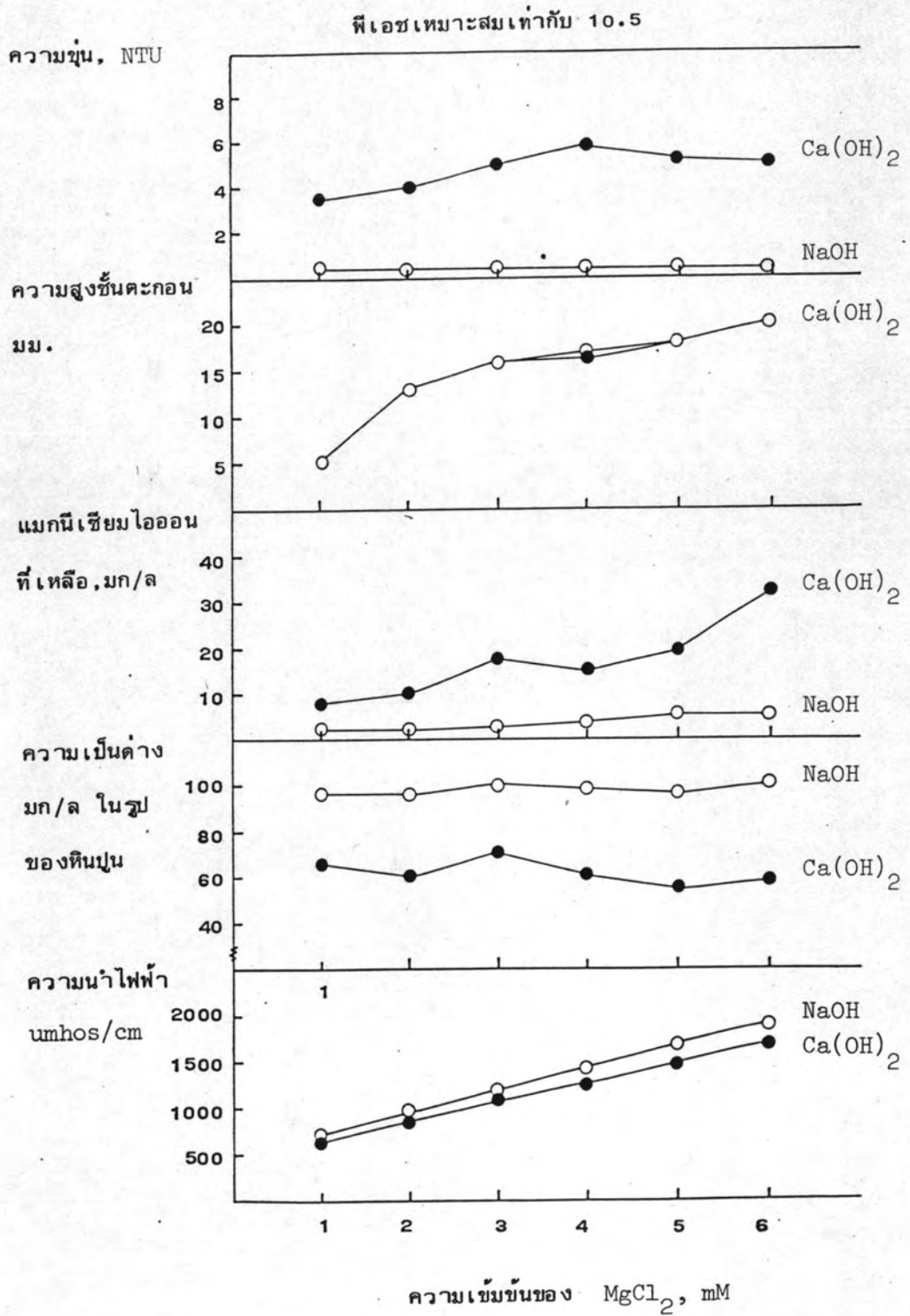
ข้อมูลอื่น ๆ ที่ได้จากการทดลอง Jar test สรุปไว้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข-7 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกำจัดซิลิการะหว่างการใช้ NaOH กับ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ในการปรับพีเอช แสดงไว้ในรูป 4.14

เปอร์เซ็นต์การกำจัดซิลิกา



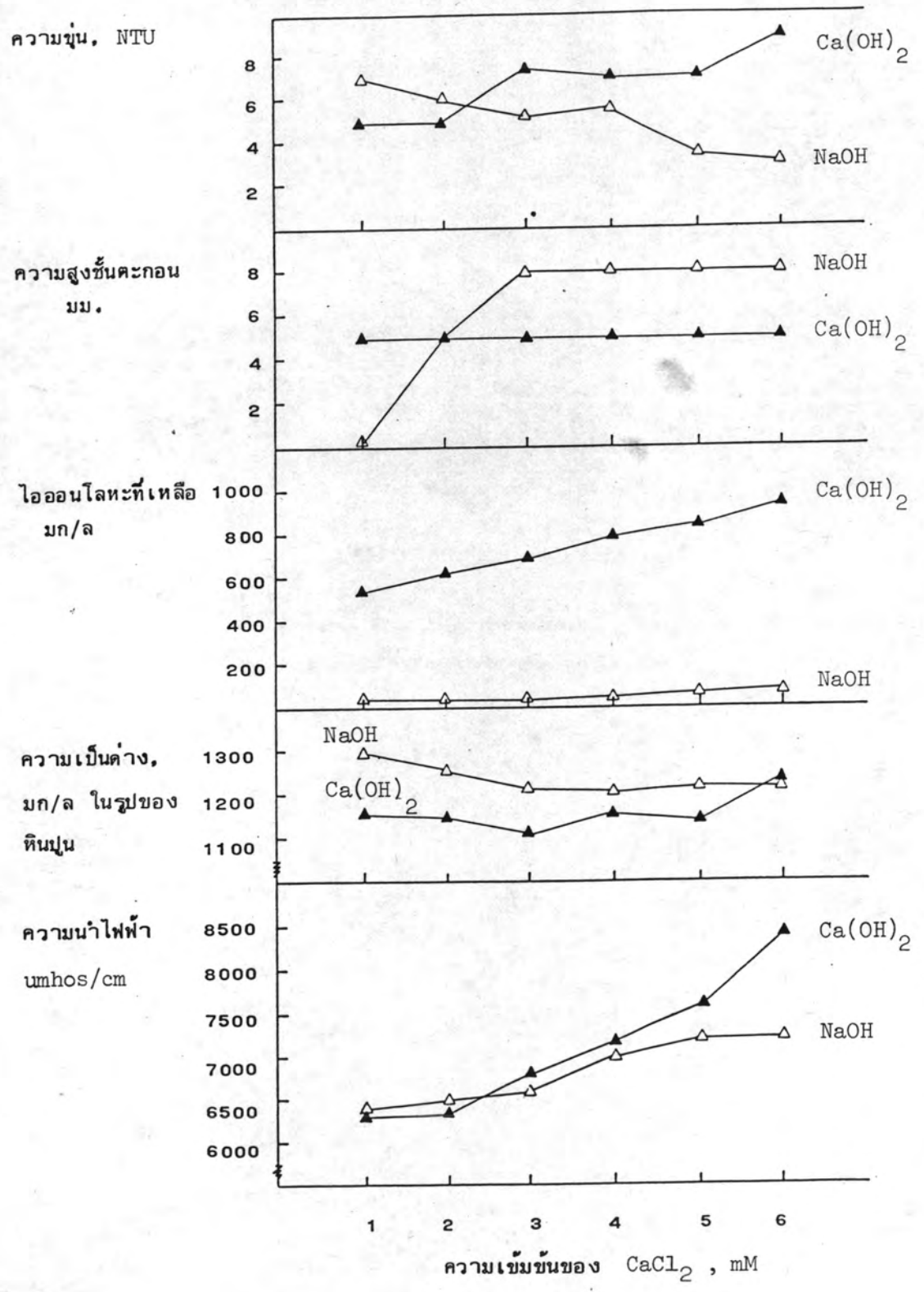
รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกำจัดซิลิการะหว่างการใช้นาโอไฮด์กับ $Ca(OH)_2$ เพื่อรับพีเอชจากตารางผลการทดลองที่ 4.6

จากรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าการกำจัดซิลิกาด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์และอลูมิเนียมซัลเฟต โดยใช้ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ปรับพีเอชจะมีประสิทธิภาพการกำจัดซิลิกาเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้โซดาไฟอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ทุก ๆ ปริมาณสารเคมีที่เพิ่มขึ้น แต่สำหรับการกำจัดซิลิกาด้วยแคลเซียมคลอไรด์เมื่อใช้ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ปรับพีเอช จะมีประสิทธิภาพการกำจัดซิลิกาสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดที่ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ต่ำ แสดงให้เห็นว่า $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ที่ใช้จะช่วยเพิ่ม Ca^{++} ในน้ำให้มากขึ้นซึ่งมีผลทำให้การกำจัดซิลิกาได้ผลดียิ่งขึ้น สำหรับคุณภาพน้ำอื่น ๆ จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เช่นความขุ่นจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของปูนขาวที่ละลายน้ำได้น้อย เป็นผลให้มีปูนขาวตกค้างอยู่มาก ทุกด้วยการทดลองจึงมีฟ้ตะกอน $\text{Ca}(\text{OH})_2$ แขนวลอยอยู่ทั่วไป ระดับสารที่ละลายอยู่ในน้ำมีปริมาณใกล้เคียงกัน ตัวแปรต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ได้สำหรับแมกนีเซียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ และอลูมิเนียมซัลเฟต แสดงไว้ในรูป 4.15, 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ

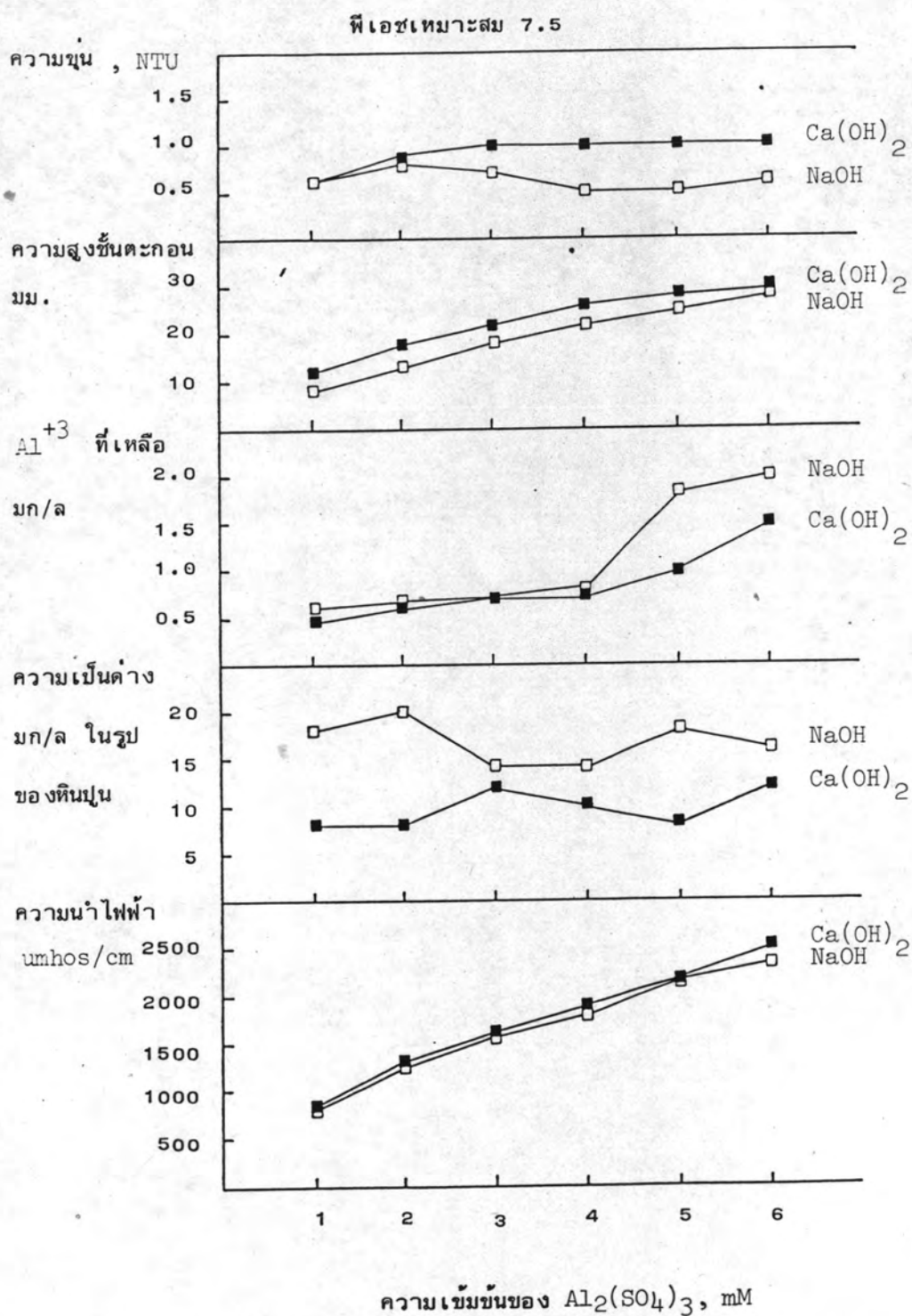


รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ ระหว่างการใช้ NaOH กับ Ca(OH)₂ ปรับพีเอชสำหรับการใช้ MgCl₂ กำจัดซิลิกา

พีเอชเหมาะสมเท่ากับ 12.0



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ ระหว่างการใช้ NaOH กับ Ca(OH)₂ ปรับพีเอชสำหรับการใช้ CaCl₂ ในการกำจัดซิลิกา



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ ระหว่างการใช้ NaOH กับ $Ca(OH)_2$ ปรับพีเอช สำหรับการใช้ $Al_2(SO_4)_3$ กำจัดซิลิกา

4.5 กลไกการกำจัดซิลิกา

จากผลการทดลองการกำจัดซิลิกาด้วยสารเคมีต่าง ๆ ได้แก่ แมกนีเซียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ และอลูมิเนียมซัลเฟต มีพีเอชเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการกำจัดซิลิกา เนื่องจากพีเอชมีความสำคัญต่อสภาวะสมดุลของความเข้มข้นของ ionic species มาก ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่ากลไกหลักของการกำจัดซิลิกาด้วยสารเคมีดังกล่าวข้างต้นเกิดขึ้นจากกระบวนการตกผลึกทางเคมี (Precipitation) ซึ่งกลไกแบบนี้มีลักษณะสำคัญคือเป็นกระบวนการฟิสิกส์-เคมี ที่เปลี่ยนสารที่อยู่ในรูปของสารละลาย (dissolved) ให้มาอยู่ในสถานะของแข็งซึ่งแยกออกได้จากสารละลายนั้น กระบวนการ precipitation ขึ้นอยู่กับสภาวะสมดุลทางเคมีที่มีผลต่อการละลายน้ำของสารนั้น ๆ ซึ่งเกิดขึ้นได้หลายวิธีโดยอาจจะเป็นไปตามขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งหรือหลายขั้นตอนรวมกัน ดังต่อไปนี้

1. ใส่สารซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารที่อยู่ในสารละลายเพื่อให้สารนั้นสามารถละลายน้ำได้น้อยลง
2. ใส่สารซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะสมดุลของการละลายน้ำ (Solubility equilibrium)
3. เปลี่ยนอุณหภูมิของสารละลายอิ่มตัวหรือ เกือบอิ่มตัวไปในทิศทางที่ทำให้มีการละลายน้ำ (Solubility) ลดลง (ค่า Solubility ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ) จนเปลี่ยนไปอยู่ในสภาวะของของแข็ง

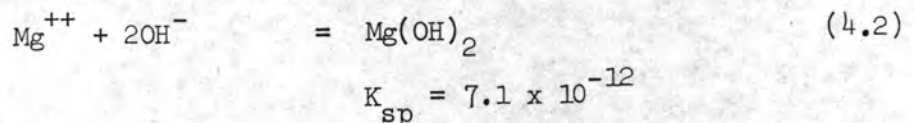
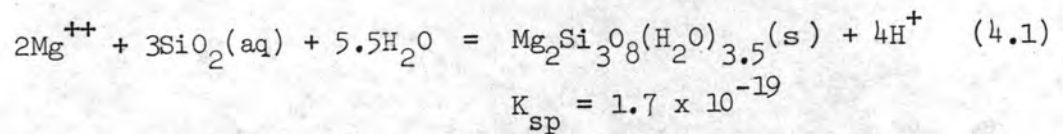
เนื่องจากการเกิด precipitation ชั้นแรกนั้นจะเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก จำพวก metal-silicate จึงยังคงแขวนลอยอยู่ในน้ำในรูปของ colloid แต่เนื่องจากสารเคมีบางส่วนจะไปทำปฏิกิริยากับต่าง เกิดผลึกไฮดรอกไซด์ซึ่งจะดึงเอาโมเลกุลของซิลิกามายึดติดกับผลึกของตัวเองในช่วงระหว่างการก่อตัวเป็นรูปผลึกซึ่งจะเรียกว่า เกิดกระบวนการดูดติดผิว (Adsorption) (20, 23, 24) ในขณะที่เดียวกันผลึกไฮดรอกไซด์จะดึงเอาผลึกโลหะซิลิเกตเข้ามาติดที่ผิวด้วย เกิดเป็นสารเชิงซ้อนจำพวก metal silicate-metal hydroxide (19) ปริมาณสารเคมีที่ใช้จึงไม่เป็นไปตามสตอยชิโอเมตริก (ปริมาณสารเคมีที่ใช้จำนวนแน่นอน)

สารเคมีทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แมกนีเซียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ และอลูมิเนียมซัลเฟต ที่นำมาใช้ในการทดลองจะมีพฤติกรรมในการกำจัดซิลิกาแตกต่างกัน ดังต่อไปนี้คือ

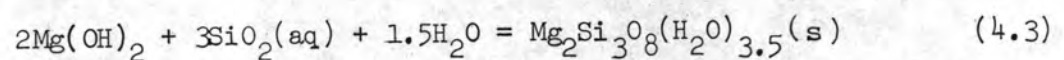
4.5.1 กลไกการกำจัดซิลิกาด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์

เนื่องจากแมกนีเซียมคลอไรด์เป็นสารเคมีที่ละลายน้ำได้ดี เมื่อเติมสารนี้ลงไปในพื้นที่ที่มีการปรับพีเอชสารละลายตั้งแต่ 9 จนกระทั่งถึงพีเอช 12 Mg^{++} จะทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำ เกิดเป็นสารประกอบผลึกต่าง ๆ กล่าวคือ Mg^{++} บางส่วนจะไปทำปฏิกิริยากับซิลิกา เกิดเป็นผลึกแมกนีเซียมซิลิเคต (3, 19) และอีกบางส่วนจะไปทำปฏิกิริยากับด่าง (NaOH) เกิดเป็นผลึกแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งผลึกนี้จะดึงเอาโมเลกุลของแมกนีเซียมซิลิเคตมายึดติดกับผลึกของตัวเอง (10) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์-แมกนีเซียมซิลิเคต

เคมีของการตกผลึกแมกนีเซียมซิลิเคต เป็นไปตามสมการต่อไปนี้



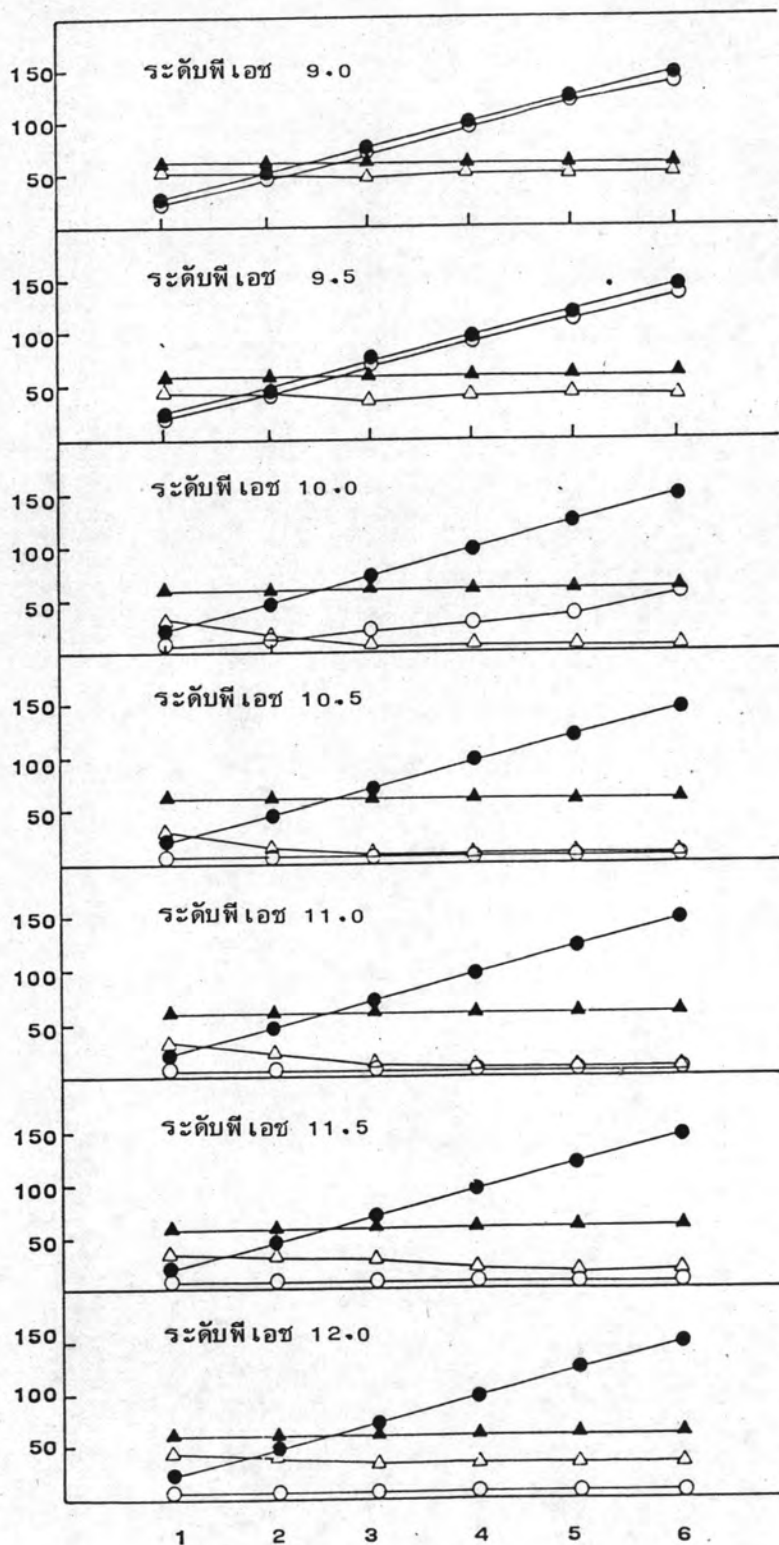
รวมสมการ (4.1) และ (4.2) จะได้สมการ (4.3) ดังนี้



จากสมการ (4.3) จะแสดงให้เห็นว่าในสภาวะสมดุล สารละลายจะมีของแข็ง 2 ชนิดอยู่รวมกัน ได้แก่แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ และแมกนีเซียมซิลิเคต ซึ่งเป็นสารประกอบระหว่างแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์-แมกนีเซียมซิลิเคต

ปฏิกิริยาการเกิดผลึกจะเกิดขึ้นตามลำดับกล่าวคือ Mg^{++} มีแนวโน้มที่จะทำปฏิกิริยากับซิลิกาเกิดเป็นแมกนีเซียมซิลิเคตก่อนจนกระทั่งสารละลายมี OH^- ในปริมาณที่มากพอที่จะตกผลึกเป็น $Mg(OH)_2$ ซิลิกาที่ละลายอยู่ในน้ำจะถูกกำจัดลงในปริมาณที่ขึ้นกับความเข้มข้นของแมกนีเซียมและพีเอชของสารละลาย ลักษณะของกลไกการกำจัดซิลิกาด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์ แสดงด้วยกราฟในรูปที่ 4.18 กล่าวคือการกำจัดซิลิกาเริ่มที่พีเอช สารละลายประมาณ 10 และลดน้อยลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งพีเอชสารละลายประมาณ 11 สารละลายซึ่งมีพีเอชในช่วงนี้จะมีอนุภาคซิลิกาอยู่ในรูปของ $H_3SiO_4^-$

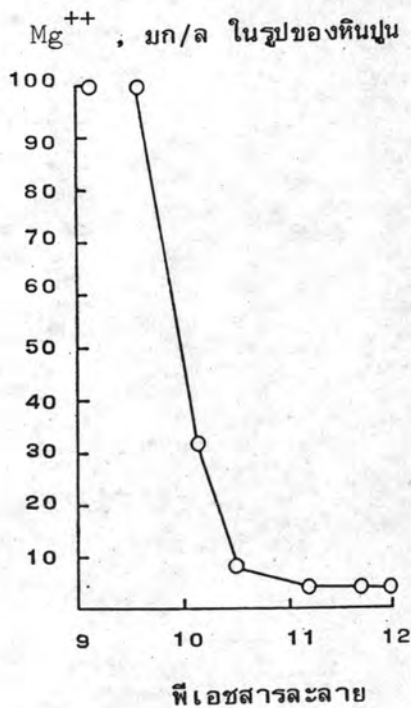
ปริมาณสาร, มก/ล



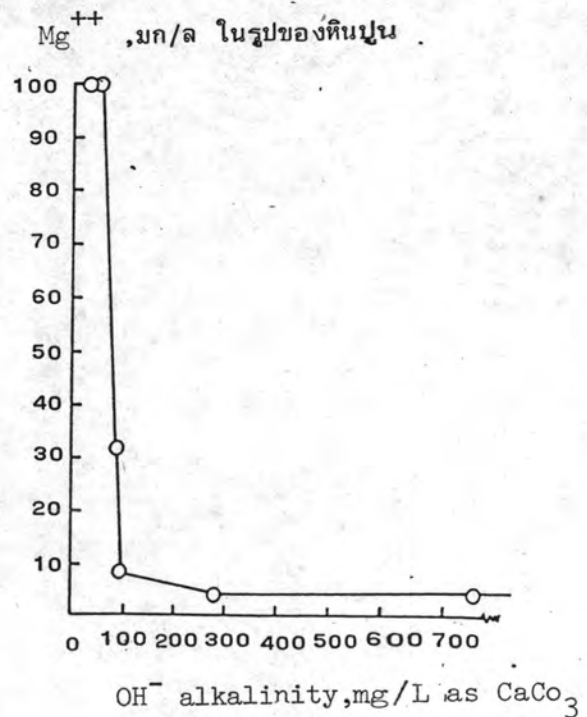
ชนิดของสารเคมี	สัญลักษณ์
SiO ₂ ในน้ำดิบ	▲
SiO ₂ ที่เหลือ	△
Mg ⁺⁺ ที่เดิม	●
Mg ⁺⁺ ที่เหลือ	○

รูปที่ 4.18 อิทธิพลของพีเอชที่มีต่อซิลิกาและไอออนของแมกนีเซียมที่เหลืออยู่ในน้ำ
ข้อมูลจากตารางผลการทดลองที่ ข1 ภาคผนวก

เป็นส่วนมาก ดังนั้นอนุภาคนี้จึงเป็นอนุภาคหลักที่จะทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียม เนื่องจากว่าซิลิกามีคุณสมบัติการละลายที่ขึ้นอยู่กับพีเอชโดยมีการเปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปของอนุภาคซิลิเกตต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 ตอนที่ 2.2.1.1 ดังนั้นการที่สารละลายมีพีเอชสูงขึ้นจากค่าที่เหมาะสม (มากกว่า 11) จะทำให้มีซิลิกาเหลืออยู่ในน้ำมากขึ้นและไม่มีการกำจัดซิลิกาในช่วงนี้ ในเวลาเดียวกันที่พีเอชสารละลายมากกว่า 10.5 ขึ้นไปจนกระทั่งถึงพีเอช 12 Mg^{++} ตกผลึกเป็น $Mg(OH)_2$ เกือบหมด เหลือ Mg^{++} อยู่ในน้ำน้อยมาก ดังแสดงในรูป 4.19 การที่มีปริมาณ Mg^{++} เหลือตกค้างอยู่ในน้ำมากหรือน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของ OH^- ในน้ำเป็นสำคัญ ทั้งนี้เพราะ Mg^{++} จะละลายในน้ำได้ในปริมาณที่ทำให้ $(Mg^{++})(OH^-)^2 = (K_{sp})Mg(OH)_2 = 7.1 \times 10^{-12}$ ซึ่งเป็นความสามารถในการละลายน้ำได้ตามธรรมชาติ แต่เมื่อมี OH^- อยู่ในน้ำปริมาณมาก (พีเอชสารละลายสูง) จึงทำให้เหลือ Mg^{++} อยู่ในน้ำน้อย ความสัมพันธ์ระหว่าง Mg^{++} และ OH^- แสดงไว้ในรูปที่ 4.20



รูป 4.19 ปริมาณสูงสุดของ Mg^{++} ที่ละลาย อยู่ในน้ำที่มีระดับพีเอชต่าง ๆ



รูป 4.20 ปริมาณสูงสุดของ Mg^{++} ที่ละลายอยู่ในน้ำที่มี OH^- ในระดับต่าง ๆ

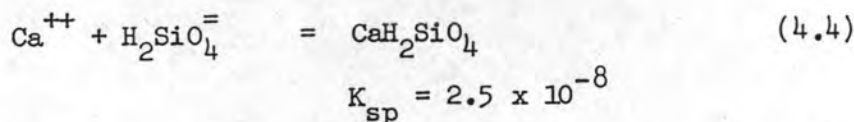


สรุปว่ากลไกการกำจัดซิลิกาด้วยแมกนีเซียมกลไกหลักคือ precipitation ส่วนกลไก Adsorption จะเกิดขึ้นภายหลังและเป็นกลไกที่ช่วยส่งเสริมการกำจัดซิลิกาเนื่องจากลักษณะของผลึก $Mg(OH)_2$ ที่มีประจุบวก (25) และมีลักษณะเหนียว (gelatinous) จึงสามารถดึงเอาอนุภาคเล็ก ๆ มารวมกันเป็นผลึกใหญ่จมตัวลงได้คั่นเอง

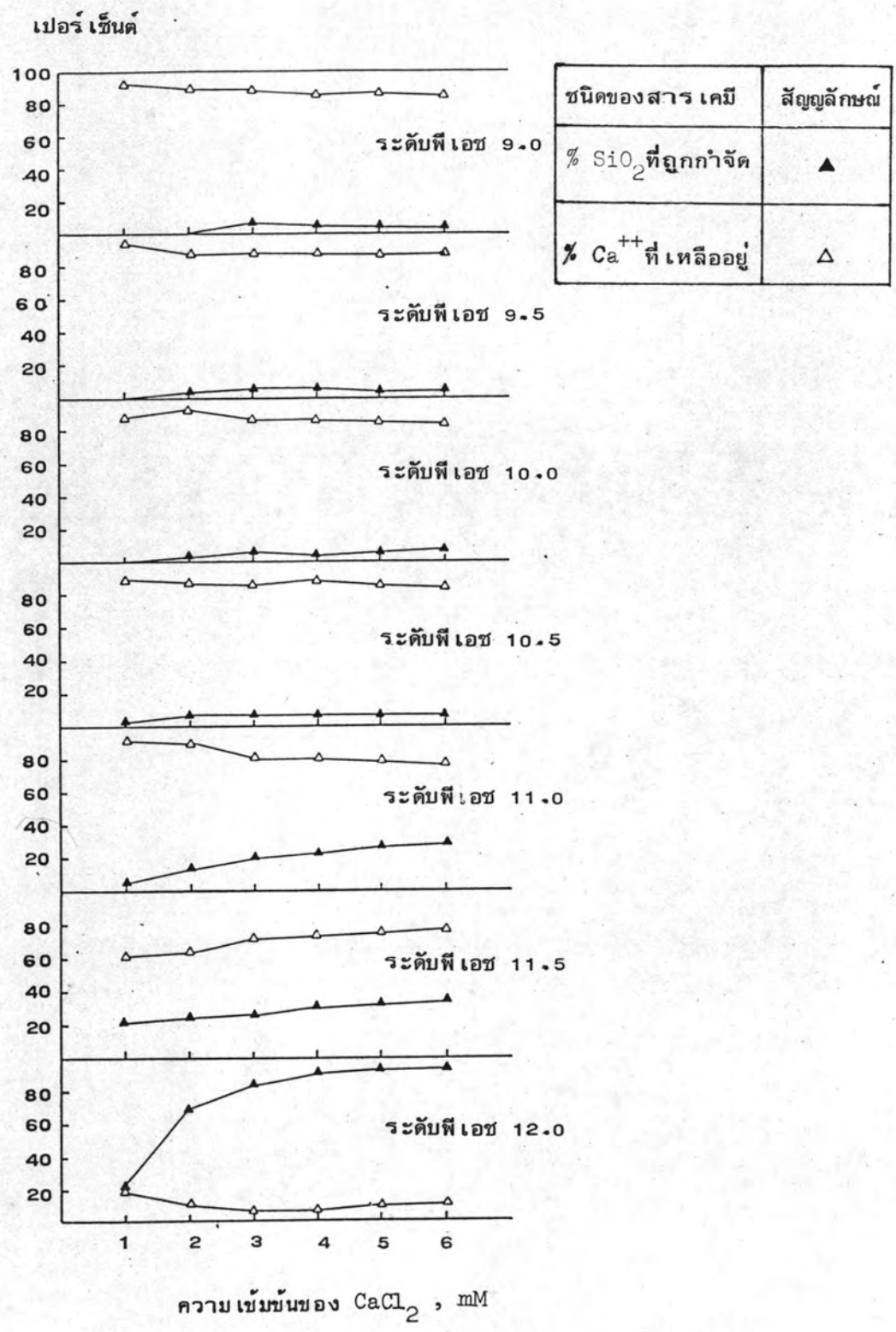
ปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ใช้ต่ำสุดได้แก่ 1. mM (203 มก /ล) สามารถลดซิลิกา ลงได้ประมาณ 40% จากปริมาณซิลิกาตั้งต้นในน้ำสังเคราะห์เท่ากับ 1 mM (60 มก/ล) และลดลงได้มากกว่า 90% เมื่อใช้ปริมาณสาร 6 mM (1218 มก/ล) แสดงให้เห็นว่าผลการกำจัดซิลิกาด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์ต้องการสารเคมีปริมาณมากกว่า 5 เท่า เมื่อพิจารณาสมการ (4.1) ซิลิกาในน้ำ 1 mM ต้องการแมกนีเซียมเพียง 2/3 mM ดังนั้นปฏิกิริยาการกำจัดซิลิกาด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์จึงไม่เป็นไปตามสโตยชิโอเมตริกเนื่องจากแมกนีเซียมจำนวนหนึ่งจะตกผลึกเป็น $Mg(OH)_2$ ด้วย

4.5.2 กลไกการกำจัดซิลิกาด้วยแคลเซียมคลอไรด์

แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารที่ละลายน้ำได้ดีเช่นเดียวกับแมกนีเซียมคลอไรด์ เมื่อเติมสารนี้ลงไปในพื้นที่ที่มีการปรับพีเอชสารละลายตั้งแต่ 9 จนกระทั่งถึงพีเอช 12 Ca^{++} จะทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำเกิดเป็นสารประกอบผลึกต่าง ๆ กล่าวคือ Ca^{++} บางส่วนจะไปทำปฏิกิริยากับซิลิกาเกิดเป็นผลึกแคลเซียมซิลิเคต และอีกบางส่วนจะไปทำปฏิกิริยากับด่าง (NaOH) เกิดเป็นผลึกแคลเซียมไฮดรอกไซด์ สภาวะของปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่พีเอชสูง ๆ ดังแสดงได้จากผลการทดลองการกำจัดซิลิกาด้วยแคลเซียมคลอไรด์ในรูปที่ 4.21 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการกำจัดซิลิกาเริ่มต้นที่พีเอช 11 และสูงสุดที่พีเอช 12 ในขณะที่เหลือแคลเซียมไอออนน้อยที่สุด เคมีของการกำจัดซิลิกาเกิดขึ้นดังสมการ 4.4

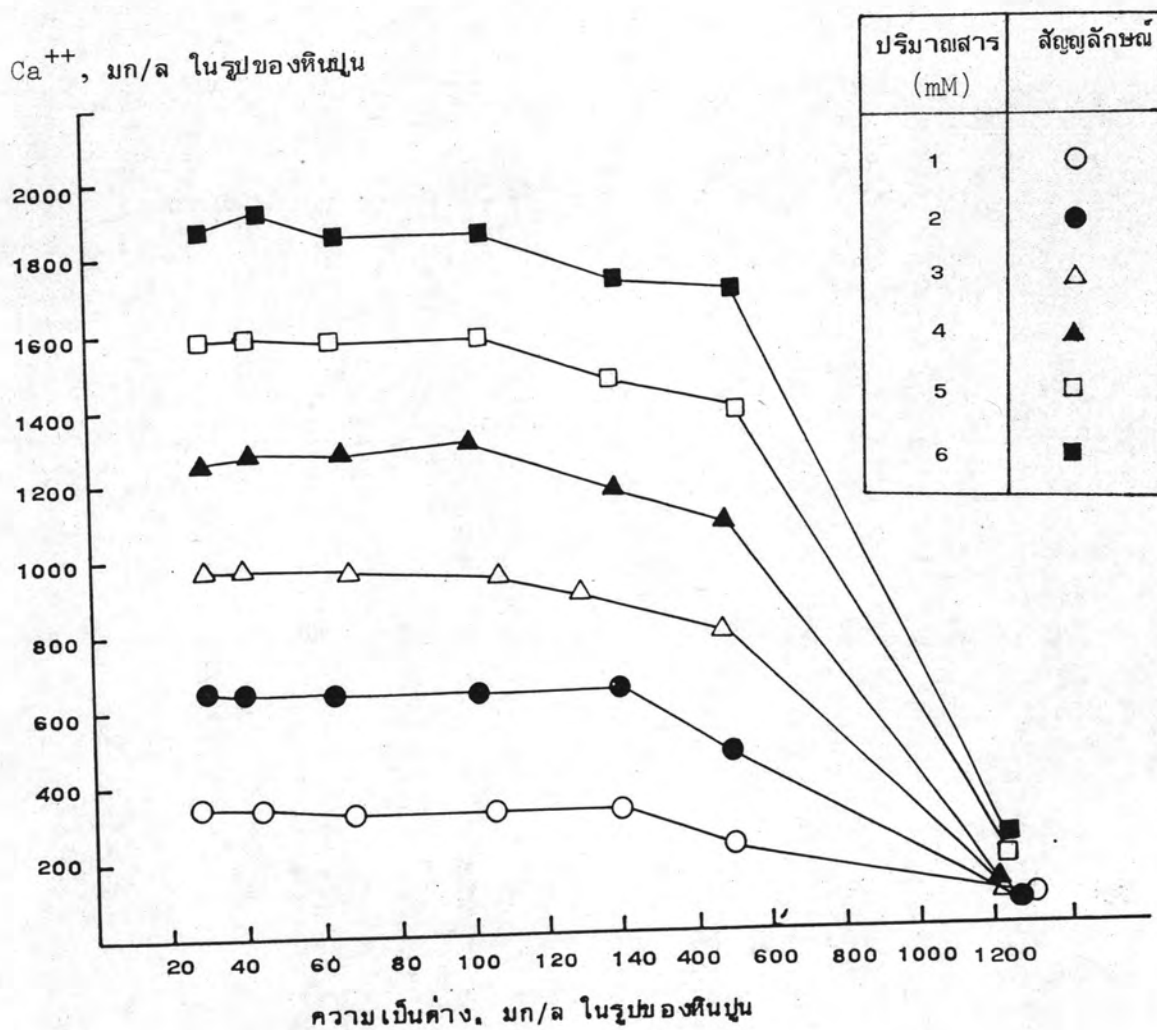


เนื่องจากปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดีที่พีเอช 12 อนุภาคของซิลิกาที่ละลายในน้ำจะอยู่ในรูปอนุโมลซิลิเคต $H_2SiO_4^-$ เป็นส่วนมาก และเป็นอนุภาคที่จะทำปฏิกิริยากับ Ca^{++} ขณะเดียวกันที่พีเอชสูง ๆ เช่นนี้ Ca^{++} จะทำปฏิกิริยากับ OH^- เกิดเป็นผลึก $Ca(OH)_2$ ซึ่งจะช่วยรวมผลึกแคลเซียมซิลิเคตให้เป็นฟล็อกขนาดใหญ่ ตกตะกอนได้ง่าย Ca^{++} จะ



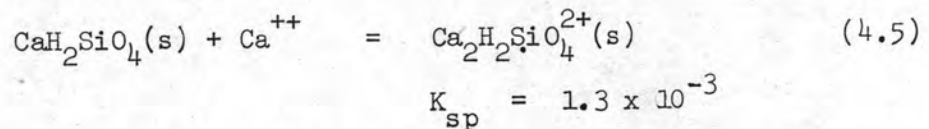
รูปที่ 4.21 อิทธิพลของพีเอชที่มีต่อซิลิกาและไอออนของแคลเซียมที่เหลืออยู่ในน้ำ

เหลืออยู่ในน้ำมากหรือน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของ OH^- ในน้ำเป็นสำคัญเช่นเดียวกับ Mg^{++} กล่าวคือ Ca^{++} จะละลายน้ำได้ในปริมาณที่พอดีทำให้ผลคูณของการละลายเท่ากับ K_{sp} หรือทำให้ $(\text{Ca}^{++})(\text{OH}^-)^2 = K_{sp} \text{Ca}(\text{OH})_2$ ซึ่งเท่ากับ 8×10^{-6} ผลการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง Ca^{++} และ OH^- ดังแสดงด้วยกราฟในรูปที่ 4.22

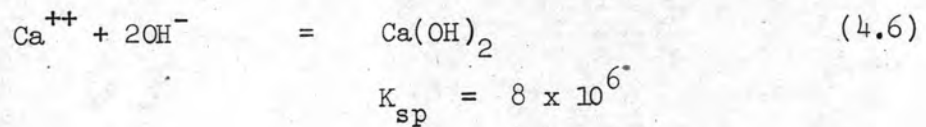


รูปที่ 4.22 ปริมาณสูงสุดของ Ca^{++} ที่ละลายอยู่ในน้ำที่มี OH^- ในระดับต่าง ๆ จากตารางผลการทดลอง ข 2

สำหรับปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่ต้องการ เพื่อลดปริมาณซิลิกาให้ เหลืออยู่น้อยที่สุด จากผลการทดลองพบว่าต้องใช้ปริมาณมากกว่า stoichiometric การที่ต้องใช้ปริมาณ สารเคมีจำนวนมากเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาอื่น ๆ ขึ้นต่อเนื่องกัน กล่าวคือ เกิดการดูดติดผิวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของผลึกแคลเซียมซิลิเกต (10) ดังแสดงในสมการ (4.5)



และการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Ca^{++} กับ OH^- ดังที่ได้กล่าวแล้ว ปฏิกิริยา เกิดขึ้นดังสมการ (4.6)



ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าการกำจัดซิลิกาด้วยแคลเซียมคลอไรด์จะต้องมีกลไก 2 ชนิด เกิดตามกันคือต้องมีตกผลึก (Precipitation) ก่อน จากนั้นต้องมีกลไกดูดติดผิว (Adsorption) ตามด้วยจึงจะส่งเสริมให้มีประสิทธิภาพการกำจัดดีที่สุด

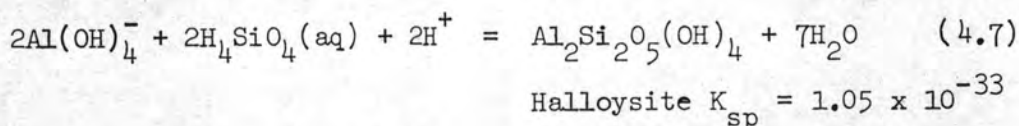
เนื่องจากน้ำที่ผ่านการกำจัดซิลิกาแล้วจะมี $\text{Ca}(\text{OH})_2$ แฉวนลอยตกค้างอยู่ในน้ำ จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ เนื่องจากมีพีเอชสูงและมีแนวโน้มในการตกผลึกได้อีกซึ่งถือว่าเป็นน้ำที่ไม่มีเสถียรภาพ การปรับแต่งน้ำทำได้โดยการลดพีเอชหรือสร้างเสถียรภาพให้กับน้ำ โดยการใช้ก๊าซ CO_2 หรือกรดแก่เช่น กรด H_2SO_4 เป็นต้น

4.5.3 กลไกการกำจัดซิลิกาด้วยอลูมิเนียมซัลเฟต

จากผลการทดลองใช้อลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) กำจัดซิลิกาดังกล่าวมาแล้ว แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดซิลิกาสูงสุดที่พีเอชสารละลายสูง ๆ โดยมีพีเอชเหมาะสมอยู่ในช่วง 7.5-9 ซึ่งค่าที่ได้นี้จะแตกต่างจากการใช้อลูมิเนียมซัลเฟตในการกำจัดความขุ่นอันเนื่องมาจากตะกอนดินในน้ำทั่ว ๆ ไป ซึ่งมีค่าจะอยู่ในช่วง 6.5-7.5 (26) สาเหตุที่มีความแตกต่างของค่าพีเอชอาจจะพิจารณาได้จากสาเหตุต่อไปนี้คือ ประการแรก เนื่องจากความแตกต่างของขนาดอนุภาคกล่าวคือ ซิลิกาจะละลายอยู่ในน้ำด้วยขนาดเล็กกว่า

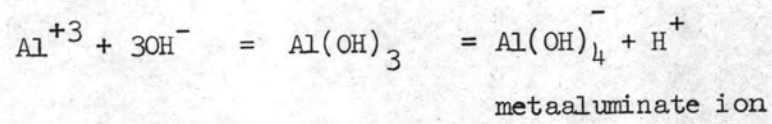
1 μm ซึ่งจัดว่าเป็น true solution ส่วนอนุภาคความขุ่นมีขนาดตั้งแต่ 1-500 μm จัดว่าเป็นอนุภาคคอลลอยด์ (23) ดังนั้นอนุภาคคอลลอยด์จึงมีขนาดใหญ่กว่าอะตอมหรือโมเลกุลขนาดเล็กของซิลิกา ประการที่สองเนื่องมาจากความแตกต่างในด้านประจุไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาคกล่าวคือประจุไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาคความขุ่น ส่วนใหญ่เกิดจากการดูดซับ (Adsorption) และการแลกเปลี่ยนไอออนต่าง ๆ ในสารละลายเข้ามาที่ผิวของอนุภาค (27) ในขณะที่ประจุบนอนุภาคของซิลิกาส่วนใหญ่เกิดมาจากการแตกตัวเป็นไอออนซิลิเกตต่าง ๆ โดยที่ลำดับการแตกตัวจะขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของน้ำ นอกจากนี้ยังมีโมเลกุลของน้ำมายึดเกาะ (Hydration) ทำให้พื้นผิวเกิดเป็นกลุ่ม Si-OH ที่มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี (5)

ผลของความแตกต่าง 2 ประการดังกล่าวจึงเป็นเหตุให้กลไกในการกำจัดแตกต่างกันกล่าวคือ กลไกการกำจัดซิลิกาจะเกิดขึ้นจากการสร้างผลึก (Precipitation) มากกว่า Coagulation เนื่องจากพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดซิลิกามีค่าสูง จะมีผลให้ซิลิกาเหลืออยู่ในน้ำน้อยลงและพีเอชที่สูงนี้จะช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างซิลิกากับอนุภาคลูมินัมเกิดเป็นผลึกลูมินัมซิลิเกตเร็วขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการละลายที่เพิ่มขึ้นของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เอง ดังสมการ (4.7)

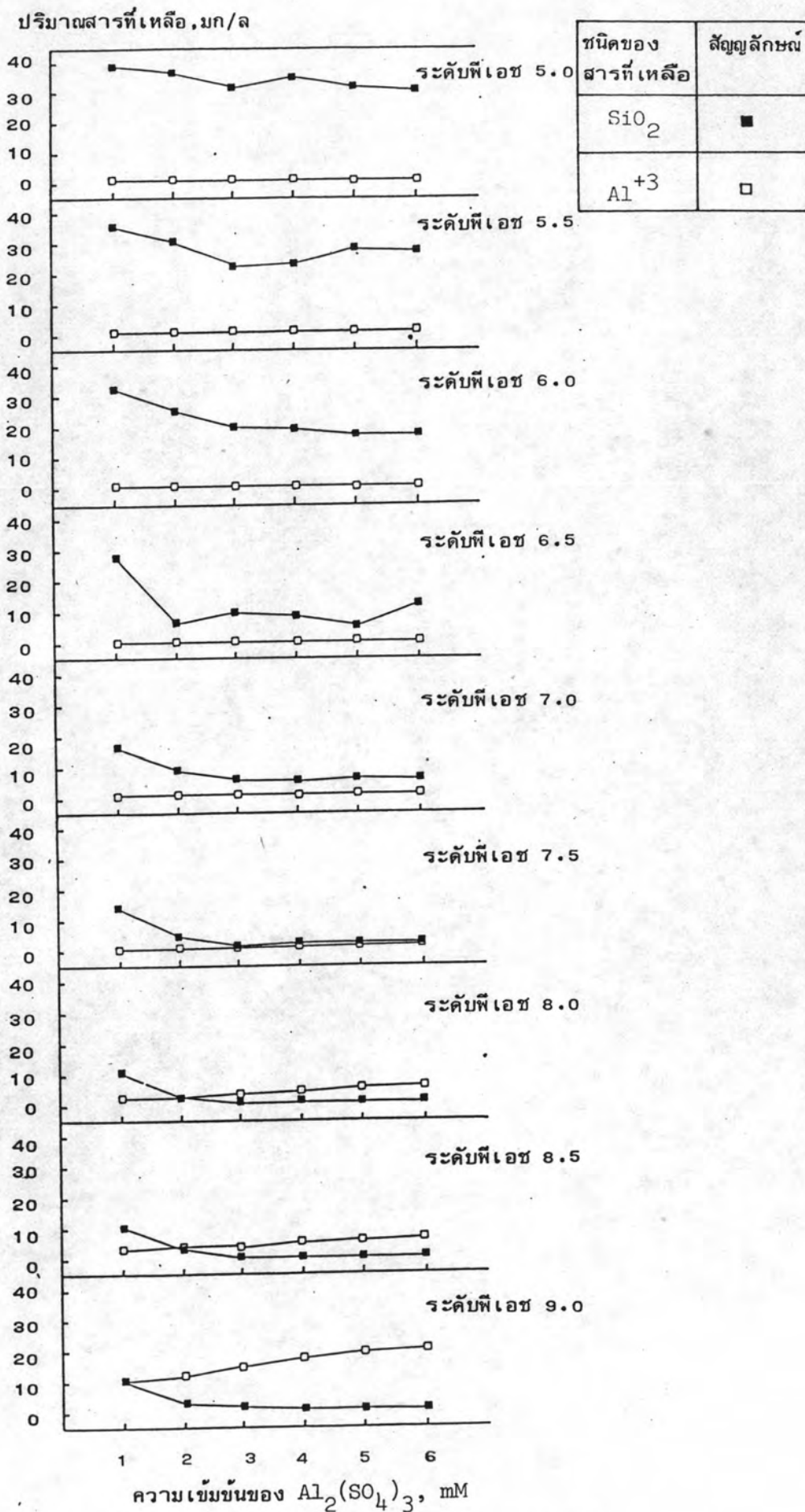


ผลึกลูมินัมซิลิเกต (Halloysite) ที่เกิดขึ้นนี้มีขนาดเล็กมากประมาณ 0.1 ไมครอน (9) ผลึกที่มีขนาดเล็ก เช่นนี้จะไม่สามารถจมตัวเองแยกจากน้ำได้ภายในเวลาอันสั้น ต้องใช้ผลึกไฮดรอกไซด์มาจับและรวมตัวเป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากขึ้น ตกตะกอนลงมาได้ภายในเวลาที่กำหนด ในเวลาเดียวกันอนุภาคซิลิกาบางส่วนอาจจะเกาะติดบนผลึกไฮดรอกไซด์ได้บ้าง ดังจะเห็นได้ว่าที่พีเอชค่า ๆ จะเกิดผลึก $\text{Al}(\text{OH})_3$ จำนวนมากและมีผลทำให้ซิลิกามีปริมาณต่ำลงเล็กน้อย แสดงว่ากลไกดูดซับผิวมีส่วนช่วยในการกำจัดซิลิกาด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.23 จะเห็นว่าปฏิกิริยาการกำจัดซิลิกาเพิ่มมากขึ้น เมื่อพีเอชสารละลายสูงขึ้น จนกระทั่งเกือบจะคงที่ที่พีเอช สารละลายมากกว่า 8 ในเวลาเดียวกันลูมินัมไฮดรอกไซด์ที่เหลืออยู่ในน้ำจะมีการละลายเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชสารละลายมากกว่า 7.5 โดยที่จากผลการทดลอง Al^{+3}

ตกผลึกเป็น $\text{Al}(\text{OH})_3$ เกือบจะสมบูรณ์ที่พีเอช 5-6.5 เหลือ Al^{+3} เพียงเล็กน้อยในน้ำ
เคมีของการเกิดผลึก $\text{Al}(\text{OH})_3$ เกิดขึ้นดังสมการ (4.8)



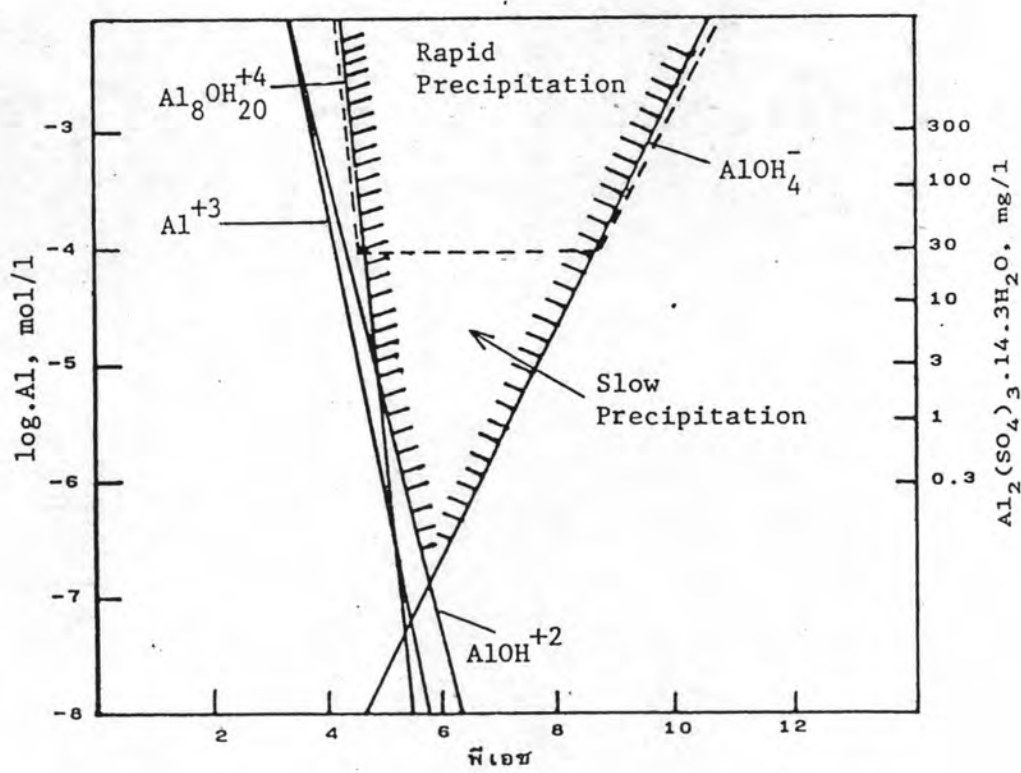
$$K_{\text{sp}} (\text{Al}(\text{OH})_3) = 1.25 \times 10^{-33} \quad (29)$$



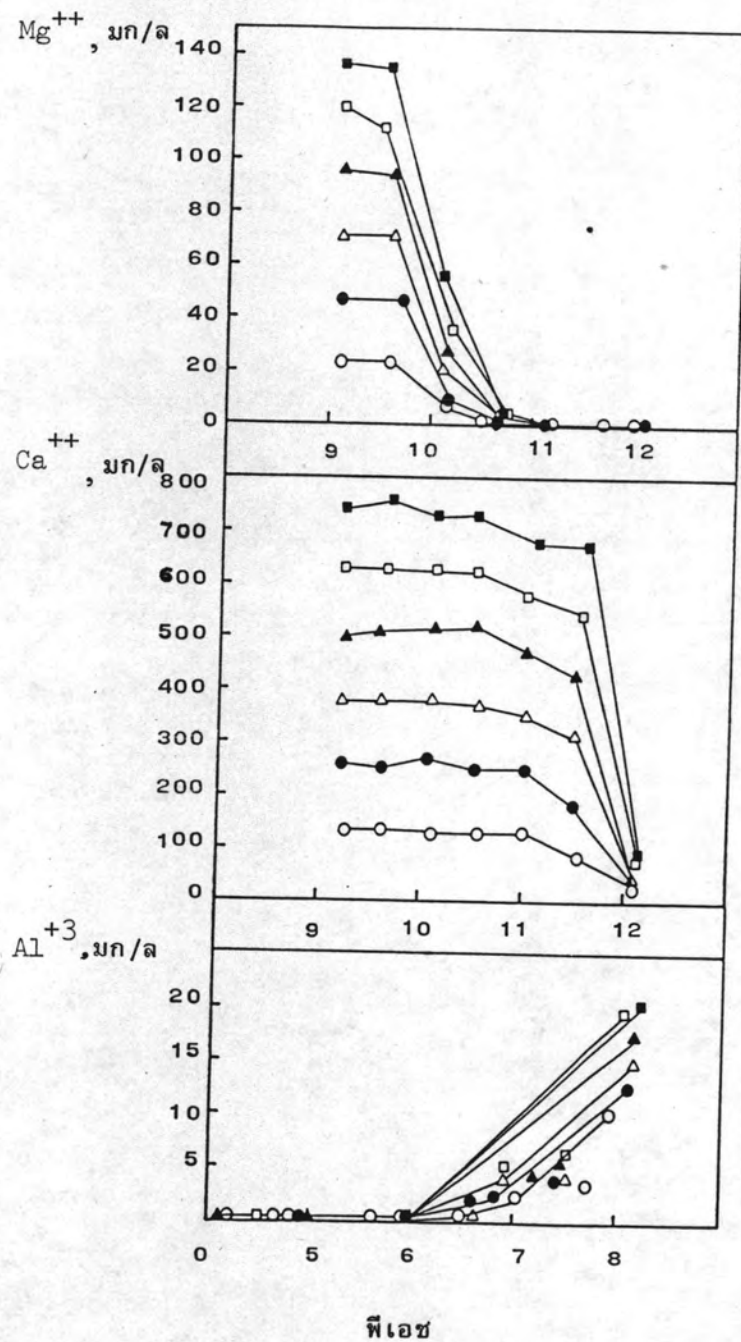
รูปที่ 4.23 อิทธิพลของพีเอชที่มีต่อซิลิกาและไอออนของอลูมิเนียมที่เหลืออยู่ในน้ำ

ข้อมูลจากตารางผลการทดลองที่ ข1

สำหรับรูปที่ 4.24 แสดงว่าน้ำที่มีพีเอชต่ำจะมี Al^{+3} มากที่สุด (OH^-) มีไม่พอที่จะตกตะกอน Al^{+3} เมื่อพีเอชเข้าใกล้ความเป็นกลาง สารประกอบ $Al(OH)_3$ ซึ่งเป็นของแข็งจะเกิดขึ้นมากกว่าไอออนอื่น ๆ พื้นที่ในเขตที่แลเงาไว้แสดงถึงบริเวณที่มีการตกผลึกของ $Al(OH)_3$ ตามทฤษฎี ส่วนพื้นที่ในเส้นประแสดงถึงบริเวณที่มีการตกผลึกของ $Al(OH)_3$ ในทางปฏิบัติและเมื่อพีเอชอยู่ในช่วงของความเป็นด่าง (พีเอชมากกว่า 7) จะเกิดเป็นไอออนคอมเพล็กซ์ที่มีประจุลบ ($Al(OH)_4^-$) ลำดับของปฏิกิริยาแสดงไว้ในสมการ (4.6) ซึ่งแสดงว่า $Al(OH)_3$ มีคุณสมบัติเป็น amphoteric ซึ่งสามารถละลายได้ทั้งในกรดและด่าง ซึ่งแตกต่างจาก $Mg(OH)_2$ และ $Ca(OH)_2$ ซึ่งจะตกตะกอนเกือบสมบูรณ์ที่พีเอชสูง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.25 ซึ่งเปรียบเทียบปริมาณไอออนของโลหะที่เหลืออยู่ ระหว่าง Mg^{++} , Ca^{++} และ Al^{+3} กับค่าพีเอชต่าง ๆ ด้วยเหตุที่โลหะต่าง ๆ ดังกล่าวมีการละลายที่ขึ้นอยู่กับพีเอชจึงเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่น่ามาพิจารณาเลือกใช้สารเคมีในการกำจัดซิลิกา สำหรับกรณีนี้การใช้สารประกอบแมกนีเซียมจึงเหมาะสมและมีพีเอชที่เหมาะสมไม่สูงมากนัก การควบคุมพีเอชเพื่อมิให้มีไอออนของโลหะเหลืออยู่มากกระทำได้ง่าย



รูปที่ 4.24 Stability Diagramของสารส้มในน้ำที่ไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์
(เอกสารอ้างอิงหมายเลข 25)



รูปที่ 4.25 การละลายน้ำของโลหะ Mg^{++} , Ca^{++} และ Al^{+3} ที่มีความเข้มข้น 1-6 mM ที่อุณหภูมิ $27^{\circ}C$ (อุณหภูมิที่ทำการทดลอง)

4.6 ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการกำจัดซิลิกา

จากผลการทดลองการกำจัดซิลิกาด้วยสารเคมีต่าง ๆ คือ แมกนีเซียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์และอลูมิเนียมซัลเฟต จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซิลิกาไม่เท่ากัน สำหรับการทดลองนี้สรุปได้ว่าพีเอชและปริมาณของสารเคมีที่ใช้จะมีอิทธิพลต่อการกำจัดซิลิกาด้วยวิธีตกผลึกทางเคมี ดังจะได้กล่าวต่อไปคือ

4.6.1 พีเอชสารละลาย

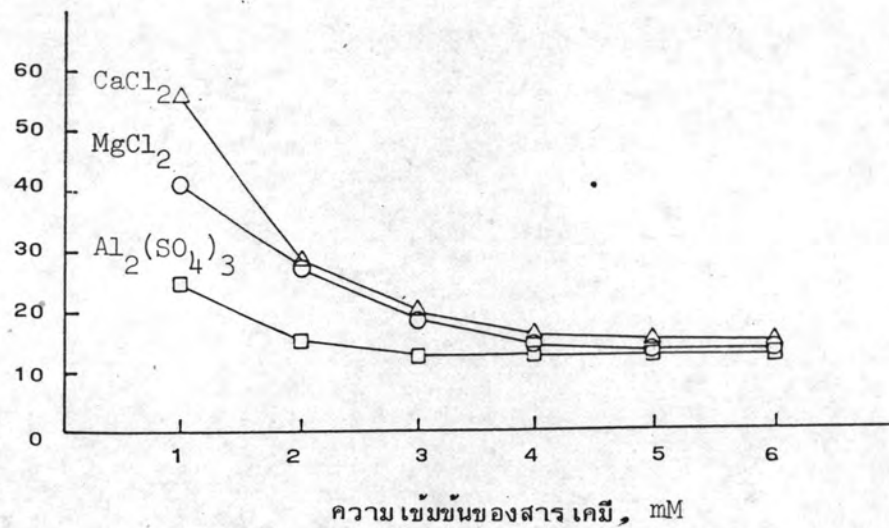
เนื่องจากพีเอชมีบทบาทที่สำคัญมากต่อการกำจัดซิลิกา สารเคมีแต่ละชนิดจะมีพีเอชที่เหมาะสมแตกต่างกัน ช่วงพีเอชที่เหมาะสมนี้จะเป็นพีเอชที่ทำให้สารละลายเหลือปริมาณซิลิกาต่ำที่สุด ในการเลือกค่าพีเอชสำหรับการปฏิบัติงานจะต้องพิจารณาถึงพีเอชที่ให้ผลในการกำจัดซิลิกาดีที่สุด และยังคงพิจารณาถึงระดับพีเอชที่ไม่ทำให้มีการละลายของไอออนโลหะเพิ่มมากขึ้นด้วย สรุปแล้วพีเอชที่เหมาะสมสำหรับสารเคมีแต่ละชนิดในการทดลองนี้เป็นดังนี้

แมกนีเซียมคลอไรด์	พีเอชเหมาะสมประมาณ	10.5
แคลเซียมคลอไรด์	"	12.0
อลูมิเนียมซัลเฟต	"	7.5

4.6.2 ปริมาณสารเคมีที่ใช้

ผลการเปรียบเทียบปริมาณซิลิกาที่เหลืออยู่กับปริมาณสารเคมีที่ใช้ของสารเคมี 3 ชนิด แสดงไว้ในรูป 4.26 สำหรับสารเคมีแต่ละชนิดจะแสดงว่าการกำจัดซิลิกาให้ลดต่ำลงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ต้องใช้ปริมาณสารเคมีจำนวนมากโดยที่เส้นกราฟช่วงแรกจะมีแนวโน้ม เป็นเส้นตรง เมื่อเติมสารเคมีลงไปมากขึ้นจะลดปริมาณซิลิกาลงได้อีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารเคมีที่ใช้ไม่เป็นไปตามสตอยชิโอเมตริก ดังนั้นการใช้สารเคมีดังกล่าวกำจัดซิลิกาจะต้องใช้ปริมาณสารที่พอเหมาะ เนื่องจากปริมาณสารเคมีที่มากเกินไปจะจะไม่ช่วยทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซิลิกาสูงขึ้น ซึ่งเป็นการเสียค่าใช้จ่ายและทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายเพิ่มมากขึ้น

ปริมาณซิลิกาที่เหลือ , มก/ล

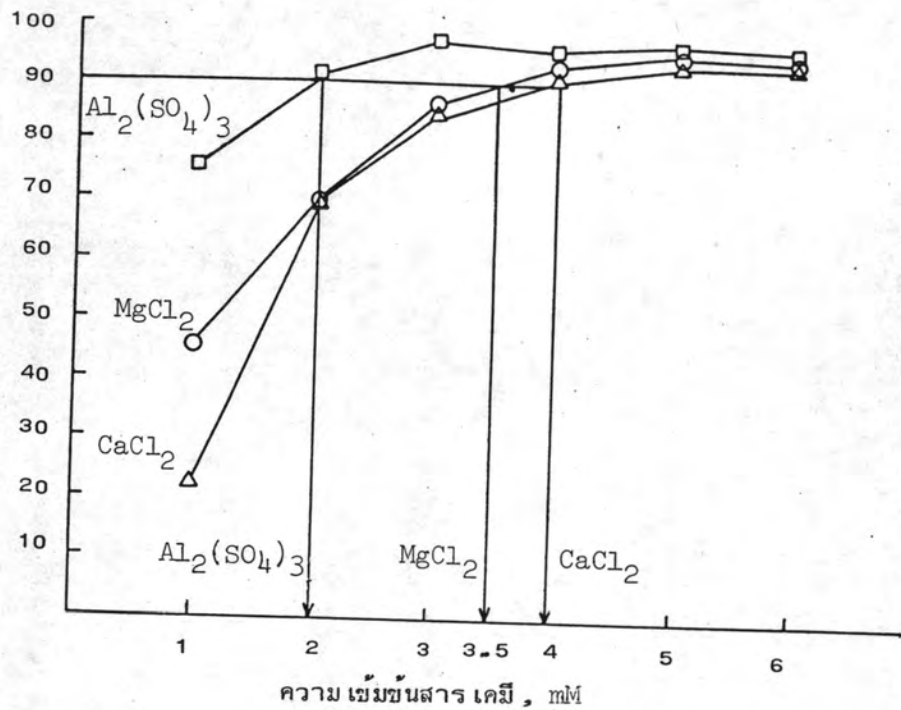


รูปที่ 4.26 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดซิลิกาที่พอเหมาะของแต่ละสาร

ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดซิลิกาจะขึ้นอยู่กับปริมาณซิลิกาในน้ำดิบและคุณภาพน้ำอื่น ๆ เช่นความกระด้างหรืออุณหภูมิ เป็นต้น สำหรับการทดลองนี้สรุปได้ว่าสารเคมีแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการกำจัดซิลิกาได้ไม่เท่ากัน ปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมจะพิจารณาเลือกจากปริมาณสารเคมีที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซิลิกาเท่า ๆ กัน คือ คิคจากเปอร์เซ็นต์การกำจัดซิลิกา 90% ดังแสดงในรูปที่ 4.27 สรุปปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมเป็นดังนี้คือ

แมกนีเซียมคลอไรด์	ปริมาณสารที่เหมาะสมคือ	3.5 mM , 710.5 มก/ล
แคลเซียมคลอไรด์	"	4.0 mM , 588.0 มก/ล
อลูมิเนียมซัลเฟต	"	2.0 mM , 1188.0 มก/ล

เปอร์เซ็นต์การกำจัดซิลิกา



รูปที่ 4-27 เปอร์เซนต์การกำจัดซิลิกาเปรียบเทียบกับปริมาณสารเคมีที่ใช้

ที่เปอร์เซนต์การกำจัดซิลิกาเท่า ๆ กันคือ 90% สารเคมีแต่ละชนิด จะใช้ปริมาณสารแตกต่างกัน

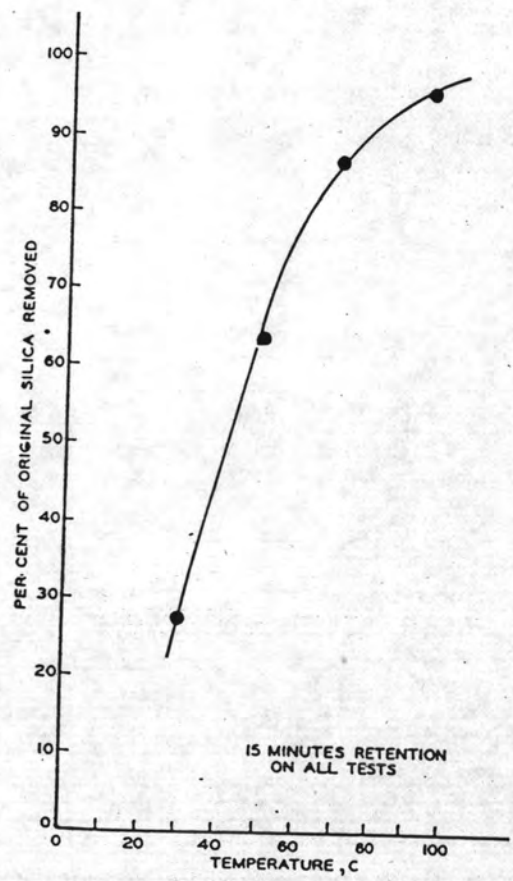
นอกจากอิทธิพลของพีเอชและปริมาณสารเคมีที่ใช้แล้ว ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการกำจัดซิลิกาซึ่งได้แก่

- อัตราเร็วในการละลายน้ำของสารเคมี
- อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาสร้างผลึก
- อัตราเร็วในการสร้างฟล็อกจากผลึก
- อัตราเร็วในการตกตะกอนของฟล็อก

สารเคมีที่ใช้ในการกำจัดซิลิกา จะต้องมียุทธวิธีทั้ง 4 นี้ จึงจะให้ผลดีในการกำจัดซิลิกา

4.6.2.1 การกวนเร็ว สารเคมีทั้ง 3 ไม่ต้องการระดับความปั่นป่วน

(G) ที่สูงมากนัก ระดับความปั่นป่วนที่ต้องการเพียงเพื่อให้สารเคมีผสมกันและกระจายกัน
 อย่างทั่วถึง เวลาที่ใช้ในการผสมนานถึง 15 นาที เพื่อให้ปฏิกิริยาสร้างผลึกเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์
 อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาของผลึกจึงเป็นอัตราเร็วที่ใช้กำหนดเวลาการกวนเร็ว แต่การเพิ่ม
 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามากกว่า 15 นาที จะไม่ช่วยทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซิลิกาสูงขึ้น
 (19) นอกจากนี้อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะช่วยเร่งให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ดังแสดงในรูป 4.28
 ซึ่งเป็นผลการทดลองใช้สารประกอบแมกนีเซียมในการกำจัดซิลิกา อุณหภูมิยิ่งสูงขึ้นประสิทธิภาพ
 การกำจัดซิลิกาจะสูงขึ้นด้วย



รูปที่ 4-28 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการกำจัดซิลิกา (19)

4.6.2.2 อัตราเร็วในการสร้างฟล็อกจากผลึก เป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่จะมีผลต่อการกำจัดซิลิกา เนื่องจากปฏิกิริยาการกำจัดซิลิกาเกิดเป็นผลึก เมทัลซิลิเคต ซึ่งมีขนาดเล็ก ทำให้ไม่สามารถแยกผลึกออกจากน้ำได้ด้วยวิธีตกตะกอน การเกิดผลึกไฮดรอกไซด์ เช่น $Mg(OH)_2$ $Ca(OH)_2$ และ $Al(OH)_3$ จากการใช้สารเคมีดังกล่าวทำให้สามารถรวมเนื้อผลึกให้เป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ง่าย ซึ่งเป็นการส่งเสริมให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดซิลิกาสูงขึ้น สำหรับการใช้แมกนีเซียมคลอไรด์ และอลูมิเนียมซัลเฟต จะได้น้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วมีความใสใกล้เคียงกัน ส่วนแคลเซียมคลอไรด์จะก่อให้เกิดน้ำที่มีความขุ่นมากกว่า เนื่องจากมีตะกอน $Ca(OH)_2$ หลงเหลือแขวนลอยอยู่ในน้ำ

4.6.2.3 อัตราเร็วของการตกตะกอน จะขึ้นอยู่กับขนาดของฟล็อกและความหนาแน่น ถ้าฟล็อกมีขนาดใหญ่และหนาแน่นมากก็จะสามารถตกตะกอนได้เร็ว อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิของน้ำก็มีความสำคัญต่อการตกตะกอนด้วย เนื่องจากความหนืดของน้ำเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดลง ดังนั้นฟล็อกจะตกตะกอนในน้ำเย็นช้ากว่าในน้ำอุ่น นั่นคือการใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นจากค่าปกติ จะทำให้การเลือกใช้ขนาดของถังปฏิกิริยาหรือถังตกตะกอนขนาดเล็กลง (21, 25) สำหรับฟล็อกที่เกิดจากแมกนีเซียมและแคลเซียมจะจมตัวได้ดีกว่าตะกอนฟล็อกที่เกิดจากอลูมิเนียม ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาเรื่องตะกอนเบาได้มากกว่า ความเบาของตะกอนฟล็อกที่เกิดขึ้นนี้จะก่อให้เกิดปัญหาในการนำไยประยุกต์ใช้งานกล่าวคือ ถังตกตะกอนที่ใช้อาจต้องขยายใหญ่หรืออาจจะต้องลดปริมาณน้ำเข้าสู่ระบบหรือการออกแบบถังตกตะกอนด้วย เทคนิคใหม่ ๆ เช่น Tube settler เป็นต้น

4.7 การประเมินราคาสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดชิลิกา จากผลการทดลอง

การประเมินราคาสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการกำจัดชิลิกา นี้ จะเป็นการประเมินราคา เนื่องจากผลการทดลองที่ได้ศึกษา โดยที่ผลการทดลองดังกล่าวขึ้นกับตัวอย่างน้ำที่ส่งเคราะห์ขึ้น เป็นอย่างมากเนื่องจากปริมาณชิลิกาที่มีอยู่ในน้ำกำหนดให้มีค่าคงที่ซึ่งอาจจะเป็นตัวแทนเฉลี่ยของน้ำดิบ เฉพาะแห่งเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ประเมินนี้จะเป็นแนวทางอันสำคัญในการนำไปประยุกต์ใช้งานกับน้ำดิบทั่ว ๆ ไปได้

ราคาของสารเคมีแต่ละชนิดพร้อมทั้งความบริสุทธิ์ของสารที่นำไปใช้งานในภาคสนามแสดงไว้ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ราคาและความบริสุทธิ์ของสารเคมีที่ใช้กันในเชิงพาณิชย์* เมษายน 2529

ชนิดของสารเคมี	% ความบริสุทธิ์ แสดงในเทอมสารประกอบ	ราคา (บาท/กก)
แมกนีเซียมคลอไรด์	98	8.5
แคลเซียมคลอไรด์	74	6.75
* อลูมิเนียมซัลเฟต	85-90	4.5
โซดาไฟ	98	12.0
** ปูนขาว	80-85	1.5
กรดซัลฟูริก	98	4.0

* ข้อมูลได้มาจาก บ. สยามเคมี จำกัด

** ข้อมูลได้มาจาก บ. ศิลาทิพย์ จำกัด

นอกจากนั้นข้อมูลได้มาจาก บ. ศรีกรุง จำกัด

} เป็นราคาที่ซื้อขายกันในปริมาณมาก

รายละเอียดในการคำนวณเพื่อหาค่าของสารเคมีที่ใช้กันในเชิงพาณิชย์มีขั้นตอน
ดังต่อไปนี้

4.7.1 การคำนวณราคาของสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดซิลิกา

4.7.1.1 แมกนีเซียมคลอไรด์

แมกนีเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการกำจัดซิลิกามีความเข้มข้น 3.5 mM

$$= 0.7105 \text{ กรัม/ลบ.ม}$$

$$= 710.5 \text{ กรัม/ลบ.ม}$$

แมกนีเซียมคลอไรด์มีความบริสุทธิ์มากกว่า 99% ~ 100%

และความบริสุทธิ์ของแมกนีเซียมคลอไรด์เชิงพาณิชย์เป็น 98%

ดังนั้นแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์มีปริมาณ

$$= \frac{710.5}{0.98}$$

$$= 725 \text{ กรัม/ลบ.ม}$$

$$= .725 \text{ กก/ลบ.ม}$$

ราคาสารเคมี 8.5 บาท/กก.

ดังนั้นเมื่อใช้แมกนีเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 3.5 mM (710.5 มก/ล)

จะเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ $8.5 \times .725 = 6.16$ บาท/ลบ.ม

4.7.1.2 แคลเซียมคลอไรด์

แคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการกำจัดซิลิกามีความเข้มข้น 4 mM

คิดในเทอมของ มก/ล ได้เท่ากับ 588 มก/ล

ความบริสุทธิ์ของแคลเซียมคลอไรด์เชิงพาณิชย์เป็น 74 %

ปริมาณสารที่ใช้เชิงพาณิชย์เท่ากับ $\frac{588}{.74} = 794.6$ กรัม/ลบ.ม

$$= .7946 \text{ กก/ลบ.ม}$$

ราคาสารเคมีเท่ากับ 6.75 บาท/กก

ดังนั้น จะเสียค่าสารเคมีทั้งหมดเป็น $.7946 \times 6.75$

$$= 5.36 \text{ บาท/ลบ.ม}$$



4.7.1.3 อลูมิเนียมซัลเฟต

ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตที่เหมาะสมในการกำจัดซิลิกาเป็น 2 mM

คิดในเทอม มก/ล ได้เป็น 1188 มก/ล

ความบริสุทธิ์ของอลูมิเนียมซัลเฟตเชิงพาณิชย์เป็น 85 %

ประมาณสารที่ใช้เชิงพาณิชย์จะเท่ากับ $\frac{1188}{0.85} = 1397.6$ กรัม/ลบ.ม

= 1.39 กก/ลบ.ม

ราคาสารเคมีเท่ากับ 4.5 บาท/กก

ดังนั้นจะเสียค่าสารเคมี $1.39 \times 4.5 = 6.25$ บาท/ลบ.ม

4.7.1.4 สรุป

สรุปราคาสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดซิลิกาได้ 90% จะเป็นดังนี้

แมกนีเซียมคลอไรด์ 6.16 บาท/ลบ.ม

แคลเซียมคลอไรด์ 5.36 บาท/ลบ.ม

อลูมิเนียมซัลเฟต 6.25 บาท/ลบ.ม

4.7.2 การคำนวณปริมาณต่างที่ใช้ในการปรับพีเอชให้มีค่าเหมาะสมในการกำจัดซิลิกา

4.7.2.1 ราคาต่างที่ใช้สำหรับแมกนีเซียมคลอไรด์

โซดาไฟที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีความเข้มข้น 0.5 N

ปริมาณต่างที่ใช้ในการปรับพีเอชสำหรับ $MgCl_2$ 3.5 mM

ที่ระดับพีเอช 10.5 (Optimum pH) ประมาณ 7.2 มล

จะมีเนื้อสารอยู่ $0.5 \times 40 \times \frac{7.2}{1000} = 0.144$ กรัม

ในสารละลายที่มีปริมาตร = 500 มล

ดังนั้นปริมาณต่างที่ใช้ในการทดลองเป็น $\frac{0.144 \times 1000}{500}$ กรัม/ลบ.ม

= 0.288 กก/ลบ.ม

ความบริสุทธิ์ของ NaOH ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ = 98 % (เกล็ด)

NaOH ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์จะมีปริมาณ = $\frac{0.288}{0.98} = 0.294$ กก./ลบ.ม

ดังนั้นราคาต่างที่ใช้จะเป็น $0.294 \times 12 = 3.53$ บาท/ลบ.ม

4.7.2.2 ราคาต้นทุนที่ใช้สำหรับแคลเซียมคลอไรด์

ปริมาณค่าที่ใช้ในการปรับพีเอชสำหรับ CaCl_2 4 mM ที่ระดับพีเอช 12.0 (Optimum pH) ประมาณ 23 มล.

$$\text{จะมีเนื้อสารอยู่ } .5 \times 40 \times \frac{23}{1000} = .46 \text{ กรัม}$$

อยู่ในสารละลายที่มีปริมาตร 500 มล

$$\text{ดังนั้นปริมาณค่าที่ใช้ในการทดลอง เป็น } \frac{.46 \times 1000}{500}$$

$$= .920 \text{ กก./ลบ.ม}$$

$$\text{ปริมาณค่าที่ใช้เชิงพาณิชย์ เป็น } \frac{.920}{.98} = .939 \text{ กก/ลบ.ม}$$

$$\text{จะเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ } .939 \times 12 = 11.27 \text{ บาท/ลบ.ม}$$

4.7.2.3 ราคาต้นทุนที่ใช้สำหรับอลูมิเนียมซัลเฟต

ปริมาณค่าที่ใช้ในการปรับพีเอชสำหรับ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 2 mM ที่ระดับพีเอช 7.5 (Optimum pH) ประมาณ 11.8 มล.

$$\text{จะมีเนื้อสารอยู่ทั้งหมด } .5 \times 40 \times \frac{11.8}{1000} = .236 \text{ กรัม}$$

เติมลงไปในการละลายที่มีปริมาตร 500 มล.

$$\text{ปริมาณค่าที่ใช้ในการทดลอง เป็น } \frac{.236 \times 1000}{500} \text{ กรัม/ลบ.ม}$$

$$= .472 \text{ กก/ลบ.ม}$$

$$\text{ปริมาณ NaOH ที่ใช้เชิงพาณิชย์ } = \frac{.472}{.98}$$

$$= .482 \text{ กก/ลบ.ม}$$

$$\text{จะเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ } .482 \times 12 = 5.78 \text{ บาท/ลบ.ม}$$

4.7.2.4 สรุปราคาต้นทุนที่ใช้ในการปรับพีเอชสารละลาย

ราคาต้นทุนที่ใช้ในการปรับพีเอชสำหรับแมกนีเซียมคลอไรด์เป็น 3.53 บาท/ลบ.ม

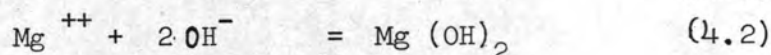
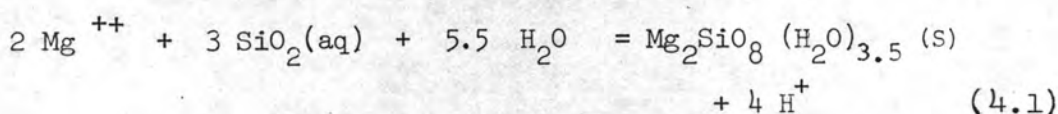
" " แคลเซียมคลอไรด์ 11.27 "

" " อลูมิเนียมซัลเฟต 5.78 "

4.7.3 การคำนวณปริมาณกรดที่ใช้ในการปรับพีเอชสารละลายให้เป็นกลาง

4.7.3-1 การลดระดับพีเอชจาก 10.5 ให้เป็นกลาง

การคำนวณปริมาณกรด (H_2SO_4) ที่ใช้ในการปรับพีเอช 10.5 ให้เป็นกลาง ทำได้โดยมีข้อสมมุติฐานที่ว่า $MgCl_2$ เมื่อเติมลงไปในตัวทดลองแล้วจะทำปฏิกิริยากับ SiO_2 ก่อนหลังจากนั้นจึงจะไปทำปฏิกิริยากับ $NaOH$ ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นดังสมการ (4.1) และ (4.2) ตามลำดับ (ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในตอน 4.5.1)



จากผลการทดลอง เมื่อเติม $MgCl_2$ 3.5 mM จะกำจัดซิลิกาได้ 90%

จากปริมาณซิลิกาตั้งต้น 60 มก/ล ในรูป SiO_2 ดังนั้นซิลิกาถูกกำจัดไป 54 มก/ล

จากสมการ (4.1) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณซิลิกา } 3 \times 60 \text{ กรัม/ลิตร จะทำปฏิกิริยากับ } Mg^{++} &= 2 \times 24 \text{ กรัม/ลิตร} \\ \text{ซิลิกาถูกกำจัด } 54 \times 10^{-3} \text{ กรัม/ลิตร จะทำปฏิกิริยา} &= \frac{2 \times 24 \times 54 \times 10^{-3}}{3 \times 60} \text{ กรัม} \\ &= .0144 \text{ "} \\ &= 14.4 \text{ มก/ล} \end{aligned}$$

ปริมาณ $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 3.5 mM (710.5 มก/ล) จะมี $Mg^{++} = 84$ มก/ล

ดังนั้น Mg^{++} จะเหลืออยู่ $84.0 - 14.4 = 69.4$ มก/ล

ปริมาณ Mg^{++} ที่เหลือนี้จะไปทำปฏิกิริยากับ $NaOH$ ดังสมการ (4.2)

จากสมการ (4.2)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ } Mg^{++} \text{ 24 มก/ล ต้องการ } NaOH &= 2 \times 40 \text{ มก/ล} \\ \text{ปริมาณ } Mg^{++} \text{ ที่เหลือ 69.4 มก/ล ต้องการ } NaOH &= \frac{2 \times 40 \times 69.4}{24} \text{ มก/ล} \\ &= 231.3 \end{aligned}$$

นั่นคือปริมาณ NaOH ที่ใช้ในทางทฤษฎี = 0.231 กก/ลบ.ม

ปริมาณ NaOH ที่ใช้ในการทดลอง = .288 กก/ลบ.ม

เพราะฉะนั้น NaOH ที่เหลือจะเป็น $.288 - .231 = 0.057$ กก/ลบ.ม

ปริมาณ H_2SO_4 ที่ใช้ในการสะเทิน NaOH คำนวณจากสมการ



ปริมาณกรดที่ใช้ = $\frac{.057 \times 98}{2 \times 40}$

= 0.07 กก/ลบ.ม

ความบริสุทธิ์ของ H_2SO_4 ที่ใช้เชิงพาณิชย์ = 98 %

ดังนั้นปริมาณกรดที่ใช้เชิงพาณิชย์ = $\frac{0.07}{.98}$

= 0.071 กก/ลบ.ม

ราคากรดเท่ากับ 4 บาท ต่อ 1 กก.

นั่นคือราคากรดที่ใช้ในการปรับพีเอชจะเป็น $0.071 \times 4 = 0.284$ บาท/ลบ.ม

4.7.3.2 การลดระดับพีเอชจาก 12 ให้เป็นกลาง

การคำนวณทำได้เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.7.3.1 กล่าวคือเมื่อเติม

CaCl_2 ลงไปในถ้วยทดลอง CaCl_2 จะทำปฏิกิริยากับซิลิกา ก่อน หลังจากนั้นจึงจะทำปฏิกิริยากับ NaOH ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นดังสมการ (4.4) และ (4.6) ตามลำดับ (สมการทั้ง 2 ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.5.2)



จากผลการทดลอง เมื่อใช้ CaCl_2 4 mM จะกำจัดซิลิกาได้ 90% จากปริมาณซิลิกาตั้งต้น 60 มก/ล ดังนั้นซิลิกาถูกกำจัดไป 54 มก/ล และเนื่องจากว่า

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ SiO}_2 \text{ 60 กรัม/ลิตร จะมี H}_2\text{SiO}_4^= \text{ อยู่ } & 94 \text{ กรัม/ลิตร} \\ \text{ถ้ามี SiO}_2 \text{ 54 x 10}^{-3} \text{ กรัม/ลิตร จะมี H}_2\text{SiO}_4^= \text{ อยู่ } & \frac{94 \times 54 \times 10^{-3}}{60} \\ & = .0846 \text{ กรัม/ลิตร} \end{aligned}$$

และจากสมการ (4.4) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณซิลิกา 94 กรัม/ลิตร จะทำปฏิกิริยากับ Ca}^{++} & 40 \text{ กรัม/ลิตร} \\ \text{ปริมาณซิลิกา .0846 มก/ล จะทำปฏิกิริยากับ Ca}^{++} & \frac{40 \times .0846}{94} \\ & = .036 \text{ กรัม/ลิตร} \\ & = 36.0 \text{ มก/ล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O 4 mM (588 มก/ล) จะมี Ca}^{++} & = 160 \text{ มก/ล} \\ \text{ดังนั้น Ca}^{++} \text{ จะเหลืออยู่ } & 160.0 - 36.0 = 124 \text{ มก/ล} \end{aligned}$$

ปริมาณ Ca^{++} ที่เหลือนี้จะไปทำปฏิกิริยากับ NaOH ดังสมการ (4.6)

จากสมการ (4.6)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ Ca}^{++} \text{ 40 มก/ล ต้องการ NaOH จำนวน } & 2 \times 40 \text{ มก/ล} \\ \text{ปริมาณ Ca}^{++} \text{ ที่เหลือ 124 มก/ล ต้องการ NaOH จำนวน } & \frac{2 \times 40 \times 124}{40} \\ & = 248 \text{ มก/ล} \end{aligned}$$

นั่นคือปริมาณ NaOH ที่ใช้ทางทฤษฎี = 0.248 กก/ลบ.ม

แต่ปริมาณ NaOH ที่ใช้ในการทดลอง = 0.920 กก/ลบ.ม

เพราะฉะนั้น NaOH ที่เหลือจะเป็น $0.920 - 0.248 = 0.672$ กก/ลบ.ม

ปริมาณ H_2SO_4 ที่ใช้ในการสะเทิน NaOH คำนวณได้เท่ากับ

$$= \frac{0.672 \times 98}{2 \times 40} \text{ กก/ลบ.ม}$$

$$= 0.823 \text{ "}$$

ปริมาณกรดที่ใช้เชิงพาณิชย์

$$= \frac{0.823}{.98} \text{ "}$$

$$= 0.839 \text{ "}$$

จะเสียค่าใช้จ่าย 0.839×4

$$= 3.36 \text{ บาท/ลบ.ม}$$

สรุปผลการคำนวณราคาสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดซิลิกา แสดงในตารางที่ 4.8
 ผลการคำนวณสรุปได้ว่าแมกนีเซียมคลอไรด์ราคาถูกที่สุดรองลงมาได้แก่อลูมิเนียม ซัลเฟต
 และแคลเซียมคลอไรด์

ตารางที่ 4.8 สรุปปริมาณและราคาสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดซิลิกา

สารเคมี ผลการ คำนวณ	ปริมาณสารเคมี (กรัม/ลบ.ม)	ราคาสารเคมี (บาท/ลบ.ม)	รวมราคาทั้งหมด (บาท/ลบ.ม)
MgCl ₂	725.0	6.16	9.97
NaOH	294.0	3.53	
H ₂ SO ₄	71.0	0.284	
CaCl ₂	794.59	5.36	19.99
NaOH	938.78	11.27	
H ₂ SO ₄	839.0	3.36	
Al ₂ (SO ₄) ₃	1397.6	6.25	12.03
NaOH	481.63	5.78	

4.8 การเลือกใช้สารเคมีในการปรับพีเอช

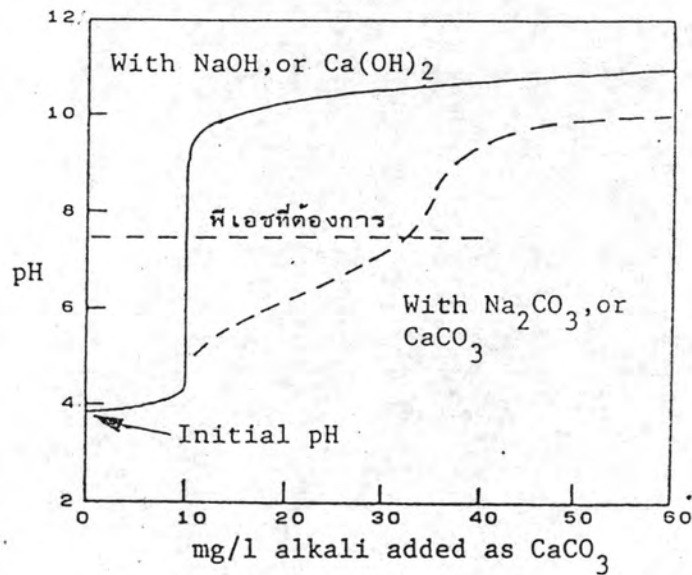
ข้อพิจารณาในการเลือกสารเคมีเพื่อใช้ปรับพีเอชของน้ำ มีดังนี้

1. ต้องมีราคาถูกและหาได้ง่าย
2. ต้องใช้ง่าย
3. ต้องไม่เป็นพิษโดยง่ายต่อผู้ใช้
4. ต้องคำนึงถึงผลสุดท้ายของปฏิกิริยาด้วย ยกตัวอย่างเช่นในการทำให้

พีเอชของน้ำเป็นกลาง สารประกอบโซเดียมต่าง ๆ เช่น NaOH , Na_2CO_3 มีความเหมาะสมมากกว่าสารประกอบแคลเซียม ทั้งนี้เพราะผลสุดท้ายของปฏิกิริยาที่ใช้สารประกอบแคลเซียม มักเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำน้อย เช่น CaCO_3 , CaSO_4 เป็นต้น ซึ่งอาจก่อปัญหาอุดตันให้กับท่อน้ำหรือปัญหาอื่น ๆ สำหรับการเพิ่มระดับพีเอชอาจกระทำได้โดยการใส่สารประกอบของโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เช่น NaOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ หรือ Na_2CO_3 เป็นต้น ในจำนวนสารดังกล่าว ปูนขาวเป็นสารเคมีที่มีราคาถูกที่สุด แต่ก็เป็สารเคมีที่ละลายน้ำได้น้อยมากทำให้มีปัญหายุ่งยากในการบ่อนสารเคมีตัวนี้ นอกจากนี้การใช้ปูนขาวยังทำให้การตกผลึกของหินปูนเกิดขึ้น และเรื่องปูนขาวที่ใช้ไม่หมด ดังนั้นเมื่อเติมปูนขาวลงในน้ำที่ต้องการปรับพีเอช โอกาสที่จะมีปูนขาวแขวนลอย เป็นตะกอนอยู่ในน้ำเกิดขึ้นได้เสมอและในขณะเดียวกัน ปูนขาวจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำกลายเป็นตะกอนแขวนลอยของหินปูน ดังนั้นถ้าต้องการใช้ปูนขาวเพื่อปรับพีเอช จึงควรมีถังตกตะกอนอยู่ด้วยเสมอ และเพื่อแก้ปัญหาในเรื่องการใช้ปูนขาวได้ไม่หมด จึงแนะนำให้หมุนเวียนเอาตะกอนจากกันถังตกตะกอนกลับคืนมาใช้ที่ถังปฏิกิริยาใหม่อีก สำหรับโซดาไฟ (NaOH) จะเป็นสารที่เหมาะสมแต่ก็มีราคาแพง ดังนั้นถ้าต้องการใช้สารเคมีจำนวนน้อยในการเพิ่มพีเอช การใช้ NaOH จะเป็นสารที่เหมาะสมกว่าปูนขาว เพราะว่าถ้าใช้ปูนขาวจะไม่คุ้ม เนื่องจากอุปกรณ์เติมปูนขาวมีราคาแพงมาก

ผลการทดลองการ เปรียบเทียบระหว่างการใช้โซดาไฟและปูนขาวเพื่อปรับพีเอช ในการกำจัดซิลิกาที่พีเอชเหมาะสมสำหรับสารต่าง ๆ ได้กล่าวไว้แล้วในตอน 4.4 (การทดลองการกำจัดซิลิกากระยะที่ 3) ส่วนการเปรียบเทียบในด้านราคาและปริมาณปูนขาวที่ใช้ แสดงไว้ในตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการใช้ปูนขาวในการปรับพีเอช ต้องการปริมาณมากกว่าการใช้โซดาไฟ แต่จะเสียค่าสารเคมีน้อยกว่า อย่างไรก็ตามสำหรับ

การทดลองนี้ในการใช้แมกนีเซียมคลอไรด์เป็นสารกำจัดซิลิกา การใช้ NaOH ปรับพีเอชจะดีกว่า เนื่องจากคุณภาพน้ำที่ได้ดีกว่า แต่ถ้าต้องการใช้สารประกอบแคลเซียมในการกำจัดซิลิกามีข้อแนะนำว่าควรใช้ปูนขาว เป็นสารที่ใช้ในการกำจัดซิลิกาและปรับพีเอชด้วยในเวลาเดียวกันโดยมีการหมุนเวียนตะกอนจากกันถึงตกตะกอนกลับมาใช้ที่ถังปฏิกิริยาใหม่ ซึ่งจะเป็นการแก้ปัญหาปูนขาวที่ใช้ไม่หมดและช่วยลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ให้น้อยลง สำหรับอลูมิเนียมซิลเฟดการใช้ทั้ง NaOH หรือ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ซึ่งเป็นด่างแก่ เพื่อปรับพีเอชให้เหมาะสมคือ 7.5 จากการทดลองจะพบว่า การควบคุมพีเอชกระทำได้อย่างมาก สังเกตจากลักษณะ Titration Curve ในรูปที่ 4.7 การใช้ด่างอ่อน เช่น Na_2CO_3 , NaHCO_3 ปรับพีเอชให้เป็นกลางจะใช้ได้ดีกว่าด่างแก่ เพราะสามารถควบคุมระดับพีเอชได้ถูกต้องและแม่นยำกว่า ดังแสดงในรูป 4.29 (25)



รูปที่ 4.29 การปรับพีเอชให้เป็นกลางด้วยด่างแก่และด่างอ่อน

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบราคาและปริมาณของการปรับพีเอชด้วยโซดาไฟและปูนขาว

สารกำจัดซิลิกา ปริมาณสาร (mM)		ปริมาณสารปรับพีเอช (กรัม/ลบ.ม)		ค่าสารเคมี (บาท/ลบ.ม)	
		NaOH	Ca(OH) ₂	NaOH	Ca(OH) ₂
MgCl ₂	1	155.0	325	1.86	0.50
	2	216.0	350	2.60	0.53
	3	253.0	450	3.04	0.68
	4	318.4	575	3.82	0.86
	5	375.5	700	4.51	1.05
	6	448.98	875	5.39	1.31
CaCl ₂	1	938.78	1250	11.3	1.88
	2	938.78	1250	11.3	1.88
	3	938.78	1250	11.3	1.88
	4	938.78	1250	11.3	1.88
	5	938.78	1250	11.3	1.88
	6	938.78	1250	11.3	1.88
Al ₂ (SO ₄) ₃	1	244.89	412.5	2.94	0.62
	2	481.63	625.0	5.78	0.94
	3	714.29	1000.0	8.57	1.5
	4	934.69	1375.0	11.22	2.06
	5	1200.00	1550.0	14.4	2.33
	6	1432.65	1875.0	17.19	2.81

หมายเหตุ 1. ราคาโซดาไฟ 12 บาท/กก. (98% เกล็ด)
2. ราคาปูนขาว 1.5 บาท/กก. (80%)

4.9 แนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้สารเคมีในการกำจัดซิลิกา

ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาว่าจะเลือกใช้สารใดในการกำจัดซิลิกามีดังนี้

4.9.1 ราคา เมื่อรวมค่าสารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอชแล้ว สรุปได้ว่าการใช้ $MgCl_2$ จะเสียค่าสารเคมีถูกกว่า $CaCl_2$ และ $Al_2(SO_4)_3$ รายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 4.8

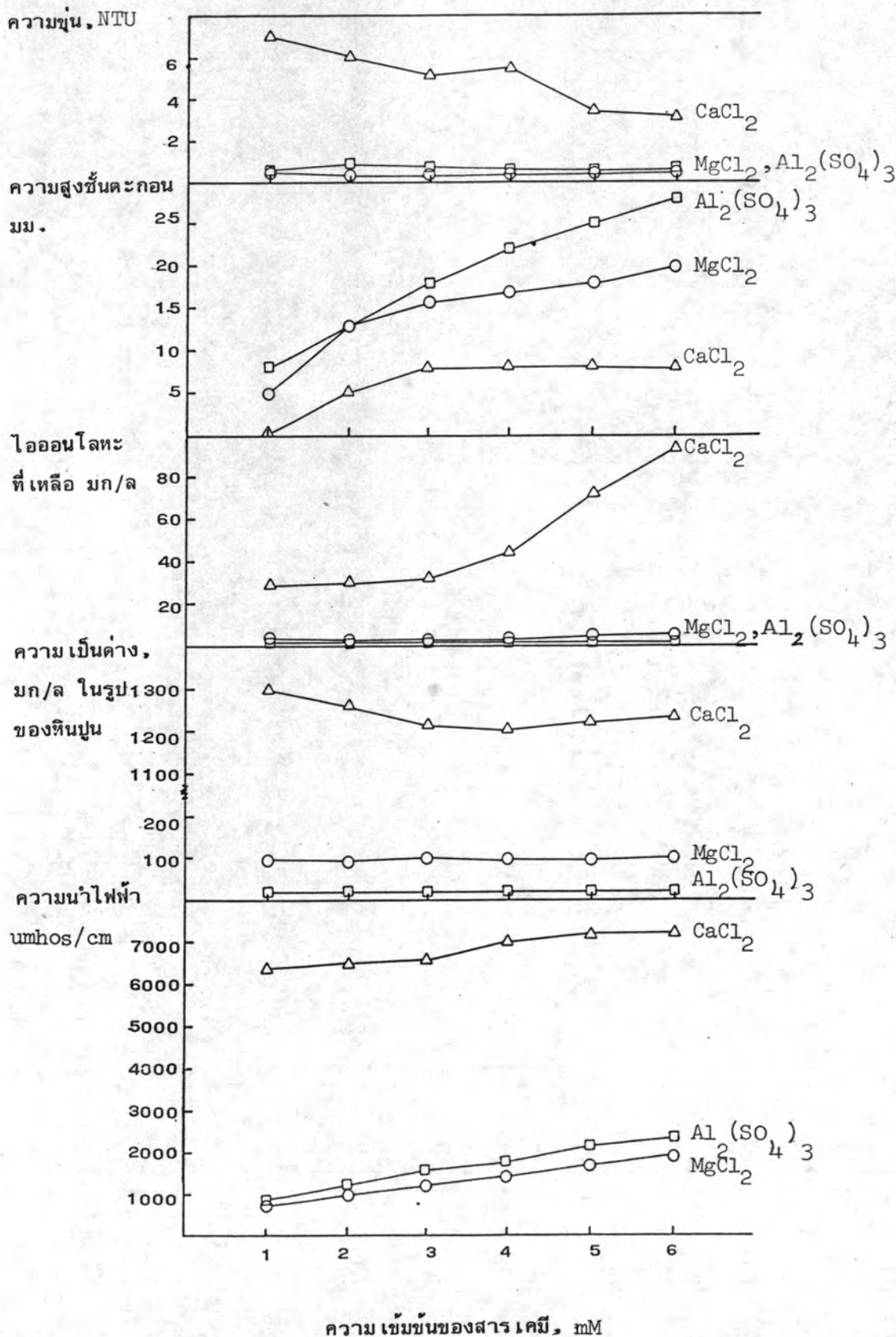
4.9.2 ระดับสารละลายทั้งหมด การใช้ $CaCl_2$ กำจัดซิลิกา ทำให้น้ำมีระดับสารละลายทั้งหมดเพิ่มขึ้น และสูงกว่าการใช้ $MgCl_2$ และ $Al_2(SO_4)_3$ ดังแสดงในรูป 4.30 ทั้งนี้เป็นเพราะการใช้ $CaCl_2$ มีระดับพีเอชที่เหมาะสมสูงถึง 12 จึงต้องใช้ปริมาณ $NaOH$ ในการปรับพีเอชจำนวนมากและทำให้เกิด สารประกอบที่ละลายน้ำได้ดี

4.9.3 คุณภาพน้ำอื่น ๆ เช่นความเป็นด่าง การใช้ $CaCl_2$ ทำให้ได้น้ำที่ไม่มีเสถียรภาพเนื่องจากมีความเป็นด่างสูงมาก และอยู่ในสภาวะที่มีแนวโน้มในการสร้างตะกรันแต่น้ำที่มีความเป็นด่างสูง ๆ จะเป็นน้ำที่มีความสามารถในการต้านทานความเปลี่ยนแปลงของพีเอชได้ดี นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญต่อขบวนการกำจัดความกระด้างด้วย ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำแสดงในรูป 4.30 เช่นเดียวกัน

4.9.4 การนำไปใช้งาน ปัจจัยหนึ่งที่น่าสนใจพิจารณาเลือกใช้สารเคมีอีกประการหนึ่งได้แก่คุณสมบัติของน้ำดิบ ถ้าน้ำดิบที่นำมาใช้นั้นมีความกระด้างอยู่มาก การเลือกใช้ $MgCl_2$ ในการกำจัดซิลิกาจะสามารถกระทำร่วมกับการกำจัดความกระด้างได้ที่อุณหภูมิปกติหรือร่วมกับการกำจัดความกระด้างด้วยวิธีตกผลึกที่อุณหภูมิสูงหรือที่เรียกว่า Hot Process ซึ่งวิธีนี้จะช่วยทำให้การตกตะกอนของผลึกเกิดได้ดีขึ้น และยังเป็น การเร่งปฏิกิริยาตกผลึกได้อีกด้วย (19) นอกจากนี้ปริมาณสารที่ใช้อาจจะไม่สูงมากนัก เนื่องจากในน้ำทั่ว ๆ ไปจะมีความกระด้างเนื่องจากแมกนีเซียมอยู่บ้างไม่มากก็น้อย การเติม Mg^{++} ในรูปต่าง ๆ เช่น $MgCl_2$ หรือ MgO เพิ่มเข้าไปจะช่วยกำจัดซิลิกาลงได้พร้อม ๆ กับการกำจัดความกระด้าง (19.20)

สำหรับ $Al_2(SO_4)_3$ ถึงแม้ว่าจะให้ผลในการกำจัดซิลิกาที่พีเอชไม่สูงเท่ากับ แมกนีเซียม (แต่ใช้ปริมาณต่างในการปรับพีเอชมากกว่า) ทำให้น้ำที่ผ่านการกำจัดซิลิกาค่อนข้าง จะคงตัว ไม่จำเป็นต้องปรับสภาพน้ำก่อนนำไปใช้ และถ้าน้ำนั้นมีความกระด้างเนื่องจาก Ca และ Mg ก็จะต้องกำจัดความกระด้างด้วย แต่เนื่องจาก Ca^{++} ตกผลึกเป็น $CaCO_3$ ที่พีเอช 9 Mg^{++} ตกผลึกเป็น $Mg(OH)_2$ ที่พีเอช 10 ดังนั้นน้ำที่ต้องการจะกำจัด ความกระด้างและซิลิกาจึงต้องทำ 2 ขั้นตอน (17, 28) ซึ่งทำให้เสียค่าใช้จ่ายมากกว่า

จากปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้น สำหรับการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่าการใช้แมกนีเซียม ในการกำจัดซิลิกา เป็นสารที่เหมาะสมที่สุดนอกจากจะให้ผลในการกำจัดซิลิกาแล้ว ตะกอนฟล็อกที่ เกิดขึ้นมีการจมตัวดี คุณภาพน้ำหลังจากการตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนดีกว่าสารอื่น ระดับสารที่ ละลายทั้งหมดค่าที่สุทธรวมทั้งราคาสาร เคมีที่ใช้ถูกกว่าอลูมินัมซัลเฟต และเพื่อความสะดวกในการ อ้างอิงผลการทดลอง เพื่อ เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งาน ได้สรุปผลการทดลองและประเมิน ราคาไว้ในตารางที่ 4.10



รูปที่ 4.30 การเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ ระหว่างการใช้ MgCl_2 , CaCl_2 และ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ในการกำจัดซิลิกา

ตารางที่ 4-10 สรุปผลการทดลองและประเมินราคา

รายละเอียด สารเคมี	MgCl ₂	CaCl ₂	Al ₂ (SO ₄) ₃
ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)	90.0	90.0	90.0
ปริมาณสารที่ใช้ (กรัม/ลบ.ม)	725.0	794.59	1320.0
ปริมาณค่าที่ใช้ (กรัม/ลบ.ม)	294.0	938.78	481.63
ปริมาณซิลิกาที่เหลือ (มก/ล)	6.0	6.0	6.0
ไอออนของโลหะที่เหลือ (มก/ล ในรูปหินปูน)	10.4	224.5	2.62.
ความนำไฟฟ้า (umhos/cm)	1300.0	7000.0	1260.0
ความขุ่น (NTU)	0.5	5.5	0.7
ความ เป็นค่า (มก/ล ในรูปหินปูน)	100.0	1206.0	20.0
พีเอชเหมาะสม	10.5	12.0	7.5
ราคาสารกำจัดซิลิกา (บาท/ลบ.ม)	6.16	5.36	5.94
ราคาค่าปรับพีเอช (บาท/ลบ.ม)	3.53	11.27	5.78
ราคาครดท์โซ้ (บาท/ลบ.ม)	0.28	3.36	-
ราคาสารเคมีทั้งหมด (บาท/ลบ.ม)	9.97	19.99	12.03

ลักษณะสมบัติของน้ำดิบสังเคราะห์

ซิลิกาตั้งต้น 56-62 มก/ล

พีเอชสารละลาย 6.8-7.2

ความขุ่น 0.4 NTU

ความ เป็นค่า 4.7 มก/ล ในรูปของหินปูน

ความนำไฟฟ้า 215 umhos/cm

4.10 ความสำคัญของการกำจัดซิลิกาด้วยวิธีตกผลึกทาง เคมี

การกำจัดซิลิกาด้วยวิธีตกผลึกทาง เคมี เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการ ควบคุม และป้องกัน การเกิด ตะกรันซิลิกาในหม้อไอน้ำ และน้ำหล่อ เย็น โดยที่วิธีนี้ เป็นการกำจัดสารที่เป็นต้นเหตุของตะกรัน สามารถลดปริมาณซิลิกาให้ต่ำลง ได้ระดับหนึ่งที่ไม่เกินจากระดับมาตรฐาน กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เป็น การจำกัดปริมาณซิลิกาในน้ำทดแทนหรือน้ำหมุนเวียนสำหรับใช้ในหม้อไอน้ำ ความดันไม่สูงมากนักหรือ ระบบหล่อเย็น เครื่องจักรต่าง ๆ สำหรับกิจการที่ต้องการน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก เช่นระบบหม้อ ไอน้ำความดันสูง วิธีตกผลึกทาง เคมีจะ เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดซิลิกาในขั้น แรกก่อนแล้วจึง ตามด้วยระบบแลกเปลี่ยนไอออน เพื่อลดปริมาณซิลิกาที่เหลืออยู่ให้ต่ำลงจน เกือบจะ เป็นศูนย์ การใช้ เครื่องทำน้ำอ่อนแบบแลกเปลี่ยนไอออน เพื่อกำจัดหรือลดซิลิกา และความกระด้างออกจากน้ำทดแทน หรือน้ำหมุนเวียน เลยจะไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากไม่เป็นการประหยัด เพราะต้องกำจัดซิลิกาจำนวน มาก (เนื่องจากน้ำทดแทนมักมีปริมาณสูงนั่นเอง) การใช้วิธีตกผลึกทาง เคมีจึง เป็นการลดภาระให้ กับ เครื่องแลกเปลี่ยนไอออน