หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้พยายามทำการทดลองการนำกลับอะลูมินัมในรูปสารโคแอกกูแลนท์จากสลัดจ์อุตสาหกรรมอะลูมินัม ที่เก็บตัวอย่างมาจากบริษัท นิคเคไทย อะลูมิเนียม จำกัด ซึ่งตั้งอยู่ที่ถนนสุขุมวิท อำเภอบางปู จังหวัดสมุทรปราการ โดยได้ทำการศึกษาถึงลักษณะสมบัติของกากตะกอน ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็ง ปริมาณอะลูมินัมและโลหะอื่น ๆ ที่อยู่ในตะกอนและได้นำตัวอย่างตะกอนมาทดสอบการนำกลับด้วยวิธีการใช้กรดซัลฟูริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ รวมทั้งได้ทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของสารโคแอกกูแลนท์ที่นำกลับได้ ตลอดจนได้พิจารณาถึงการคิดค่าใช้จ่ายขั้นต้นในการนำกลับและการนำไปประยุกต์ใช้จริง โดยเปรียบเทียบกับกิจการการประปาของการประปานครหลวง ซึ่งผลการทดลองต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้ คือ

4.1 ลักษณะสมบัติของกากตะกอน

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างกากตะกอนจำนวน 13 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็ง และปริมาณอะลูมินัมทั้งหมดในตัวอย่างตะกอนมีค่าดังแสดงในตารางที่ 4.1 เห็นได้ว่ามีของแข็งระเหยง่าย (volatile solids) อยู่ในช่วงร้อยละ 19.29-35.97 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 25.0 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.53 และของแข็งคงรูป (fixed solids) มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 64.03-80.71 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 75.0 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.52 ส่วนของแข็งทั้งหมด (total solids) มีค่าแปรปรวนอยู่ระหว่างร้อยละ 2.88-14.48 ซึ่งแปรผันตามปริมาณความชื้นในตะกอนอันเนื่องมาจากระยะเวลาในการตากที่ไม่เท่ากัน และในของแข็งทั้งหมดนี้มีปริมาณอะลูมินัมอยู่ในช่วงร้อยละ 23.05-65.18 หรือร้อยละ 44.26 น้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณค่อนข้างมากของสารอะลูมินัมในกากตะกอนอุตสาหกรรม อันชี้ให้เห็นต่อไปถึงศักยภาพค่อนข้างสูงของการนำสารอะลูมินัมนี้กลับมาใช้ใหม่

ตารางที่ 4.1 ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็ง และปริมาณอะลูมินัมทั้งหมดในกากตะกอนอะลูมินัม

ตัวอย่าง	% MC	% TS	% VS	% FS	% Al ใน TS	หมายเหตุ
1	96.82	3.18	0.95	2.23		1.%MC มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการตากตะกอน
		(100)	(29.87)	(70.13)	(23.05)	
2	93.38	6.62	1.32	5.30		2.ปริมาณ Al ในของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วง 23.05-65.18% หรือเฉลี่ย 44.26% โดยน้ำหนัก
		(100)	(19.94)	(80.06)	(28.37)	
3	90.28	9.72	2.13	7.59		
		(100)	(21.91)	(78.09)	(38.44)	
4	90.36	9.64	2.28	7.36		
		(100)	(23.65)	(76.36)	(46.65)	
5	91.81	8.19	1.65	6.54		3.ตัวเลขในวงเล็บ คือ จำนวนร้อยละ เมื่อเทียบ TS หรือของแข็งทั้งหมดเป็น 100%
		(100)	(20.15)	(79.85)	(33.49)	
6	90.60	9.40	1.92	7.48		
		(100)	(20.42)	(79.58)	(37.87)	
7	90.72	9.28	1.79	7.49		
		(100)	(19.29)	(80.71)	(29.83)	
8	97.06	2.94	0.64	2.30		
		(100)	(21.81)	(78.19)	(64.79)	
9	94.26	5.74	1.59	4.15		
		(100)	(27.63)	(72.37)	(55.59)	
10	88.95	11.05	3.88	7.17		
		(100)	(29.75)	(70.25)	(65.18)	
11	85.52	14.48	5.21	9.27		
		(100)	(35.97)	(64.03)	(53.97)	
12	93.18	6.82	2.22	4.60		
		(100)	(32.66)	(67.34)	(46.68)	
13	97.12	2.88	0.63	2.25		
		(100)	(21.83)	(78.17)	(51.48)	
		$\bar{x}$	2.02	5.67		
		σ_{n-1}	1.28	2.37		
		$\bar{x}$	(25.00)	(75.01)	(44.26)	
		σ_{n-1}	(5.53)	(5.52)	(13.68)	

4.2 ชนิดและปริมาณของธาตุองค์ประกอบ

สำหรับผลการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของธาตุองค์ประกอบในของแข็งคงรูปของกากตะกอน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 ก และ 4.2 ข โดยตารางที่ 4.2 ก แสดงถึงชนิดและปริมาณของธาตุองค์ประกอบในรูปออกไซด์ของธาตุนั้น เห็นได้ว่าในตะกอนเหล่านี้มีปริมาณอะลูมินัมสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 75.43 โดยน้ำหนัก และถ้าคิดเป็นปริมาณอะลูมินัมในรูปอะตอมของธาตุนั้น ๆ (ดูตารางที่ 4.2 ข) จะมีปริมาณอะลูมินัมเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 39.90 ดูตารางที่ 4.2 ข โดยน้ำหนัก รองลงมาได้แก่ ซัลเฟอร์ ส่วนธาตุอื่น ๆ มีน้อยมากจนไม่น่าจะก่อให้เกิดปัญหาในการนำกลับสารโคแอกกูแลนท์ นอกจากโคบอลต์ที่อาจต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษ เพราะอาจทำให้ประสิทธิภาพในการนำกลับลดน้อยลง สำหรับซิลิคอนไม่น่าจะก่อให้เกิดปัญหาอะไร เนื่องจากเป็นธาตุองค์ประกอบของทรายซึ่งเป็นวัตถุเฉื่อยและไม่มีพิษรวมทั้งตกตะกอนได้ง่ายอีกด้วย

4.3 การนำกลับอะลูมินัม

ในการทดสอบการนำกลับอะลูมินัม (ดูภาพที่ 4.1) ได้ทำการทดลองในสองลักษณะ คือ การนำกลับด้วยวิธีการใช้กรดซัลฟูริก และการนำกลับด้วยวิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ การทดสอบนี้ใช้ตัวอย่างในการทดสอบ 12 ตัวอย่าง โดยแบ่งตัวอย่างเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 จำนวน 7 ตัวอย่าง และชุดที่ 2 จำนวน 5 ตัวอย่าง ในตัวอย่างชุดที่ 1 จะใช้กรดหรือด่างในปริมาณต่าง ๆ ในช่วงกว้าง (screening test) ส่วนตัวอย่างชุดที่ 2 จะใช้กรดหรือด่างในปริมาณที่จะทำให้ประสิทธิภาพการนำกลับอยู่ในช่วงสูง ๆ เท่านั้น

ผลการทดสอบการนำกลับสำหรับวิธีการใช้กรดซัลฟูริก ได้ผลการทดลองดังในตารางที่ 4.3 ก, 4.3 ข ซึ่งสามารถนำผลดังกล่าวมาแสดงความสัมพันธ์ในรูปกราฟได้ดังในรูปที่ 4.1 เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1 นี้แล้ว ลักษณะของกราฟยังไม่ชัดเจนพอที่จะสรุปได้ว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการนำกลับควรเป็นเท่าไร เนื่องจากไม่มีจุดเปลี่ยนความสัมพันธ์ที่เด่นชัด แต่พอที่จะสรุปได้ว่าที่ค่าพีเอชประมาณ 1 นั้น การนำกลับสูงถึงประมาณร้อยละ 90 ส่วนที่ค่าพีเอชประมาณ 3 การนำกลับจะลดลงเหลือเพียงประมาณร้อยละ 10 และในช่วงพีเอช 1-3 ประสิทธิภาพการนำกลับจะลดลงตามสัดส่วน นอกจากนี้การกำหนดให้พีเอชไม่สูงกว่า 1.25 จะใช้สำหรับกรณีต้องการการนำกลับด้วยประสิทธิภาพสูง และสำหรับ

ตารางที่ 4.2 ก ชนิดและปริมาณของธาตุองค์ประกอบในรูปออกไซด์ของธาตุนั้น (% โดยน้ำหนัก)

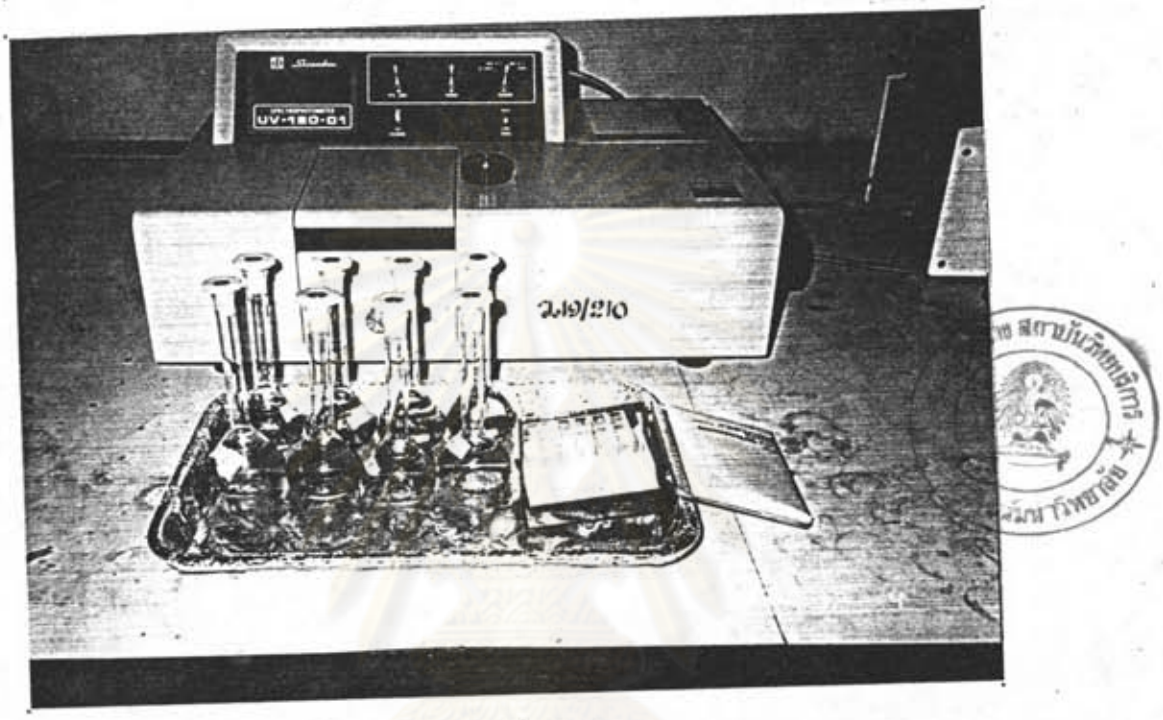
ตัวอย่าง	Al_2O_3	SO_3	Co_2O_3	SiO_2	P_2O_5	Fe_2O_3	CaO	K_2O	CuO	MnO_2	PbO	ZnO	Cr_2O_3
1	73.6	11.36	5.01	5.61	1.99	1.16	0.95	0.07	0.08	0.07	0.03	0.02	0.03
2	72.9	14.25	2.75	6.42	1.78	1.12	0.34	0.19	0.07	0.03	0.03	0.03	0.03
3	72.2	16.83	5.22	2.73	1.63	0.99	0.15	0.08	0.07	0.05	0.02	0.01	0.02
4	71.4	16.30	4.16	3.72	2.90	1.08	0.11	0.18	0.06	0.05	0.02	<0.01	0.02
5	79.4	8.53	3.66	4.39	2.03	1.09	0.69	0.05	0.08	0.07	0.03	0.02	0.02
6	78.8	6.47	4.84	6.06	1.57	1.14	0.85	0.12	0.06	0.06	0.03	0.02	0.03
7	79.7	6.80	3.68	3.74	2.18	1.05	2.54	0.08	0.07	0.07	0.02	0.02	0.03
$\bar{x}$	75.43	11.50	4.19	4.67	2.01	1.09	0.80	0.11	0.07	0.06	0.02	0.02	0.02
σ_{n-1}	3.69	4.38	0.89	1.38	0.45	0.06	0.83	0.06	0.008	0.01	0.005	0.007	0.005

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นค่าโดยประมาณ ทั้งนี้เป็นข้อจำกัดของสมรรถนะของวิธีการและเครื่องมือที่ใช้ (Energy Dispersive X-ray Fluorescnce Spectrometer)

ตารางที่ 4.2 ก ชนิดและปริมาณของธาตุองค์ประกอบในรูปละอองของธาตุทั้น (% โดยน้ำหนัก)

ตัวอย่างที่	Al	S	Co	Si	P	Fe	Ca	K	Cu	Mn	Pb	Zn	Cr
1	38.93	4.55	3.56	2.62	0.87	0.40	0.68	0.06	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
2	38.56	5.71	1.95	3.00	0.78	0.39	0.24	0.16	0.06	0.02	0.03	0.02	0.02
3	38.19	6.74	3.71	1.28	0.71	0.35	0.11	0.07	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01
4	37.77	6.53	2.96	1.74	1.26	0.38	0.08	0.15	0.04	0.03	0.02	<0.01	0.01
5	42.00	3.42	2.60	2.05	0.88	0.38	0.49	0.04	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01
6	41.68	2.59	3.44	2.83	0.68	0.40	0.61	0.10	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02
7	42.16	2.72	2.62	1.75	0.95	0.37	1.81	0.07	0.06	0.04	0.02	0.02	0.02
x	39.90	4.61	2.98	2.18	0.87	0.38	0.57	0.09	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
n-1	1.95	1.76	0.63	0.64	0.20	0.02	0.59	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นค่าโดยประมาณทั้งนี้เป็นข้อจำกัดของสมรรถนะของวิธีการและเครื่องมือที่ใช้ (Energy Dispersive X-ray Fluorescnce Spectrometer)



ภาพที่ 4.1 สารละลายที่นำมาตรวจวิเคราะห์หาปริมาณอะลูมินัมโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ก ผลการวิเคราะห์หาน้ำหนักและอลูมิเนียมด้วยวิธีการใช้กรดซัลฟูริก (ตัวอย่างชุดที่ 1)

ตัวอย่างที่ 1	นีเอชของส่วนไส	3.20	2.19	1.99	1.80	1.21	1.00	0.88	0.77	0.75	0.58
	% น้ำกลับ	10.42	31.69	43.36	63.83	80.29	84.51	89.70	90.71	90.58	89.93
ตัวอย่างที่ 2	นีเอชของส่วนไส	3.49	2.50	2.29	2.08	1.59	1.46	1.40	1.34	1.27	1.22
	% น้ำกลับ	8.21	32.44	40.79	46.99	69.00	76.95	77.74	84.70	90.25	90.98
ตัวอย่างที่ 3	นีเอชของส่วนไส	3.13	2.31	2.21	2.07	1.60	1.43	1.33	1.24	1.12	1.05
	% น้ำกลับ	21.26	55.86	54.03	65.08	85.82	89.68	89.43	92.91	92.42	92.86
ตัวอย่างที่ 4	นีเอชของส่วนไส	2.91	2.74	2.29	2.12	1.75	1.64	1.58	1.53	1.47	1.42
	% น้ำกลับ	17.86	24.67	37.63	54.42	58.00	60.94	61.16	64.70	88.90	89.28
ตัวอย่างที่ 5	นีเอชของส่วนไส	2.76	2.18	2.09	2.00	1.64	1.51	1.44	1.39	1.30	1.26
	% น้ำกลับ	14.13	32.99	45.45	54.65	60.20	70.71	71.13	72.92	76.60	75.60
ตัวอย่างที่ 6	นีเอชของส่วนไส	2.90	2.42	2.32	2.17	1.81	1.69	1.62	1.56	1.50	1.40
	% น้ำกลับ	15.34	40.53	56.04	59.78	67.02	69.15	72.35	76.88	79.64	80.00
ตัวอย่างที่ 7	นีเอชของส่วนไส	2.46	2.26	2.19	2.09	1.80	1.69	1.65	1.60	1.54	1.47
	% น้ำกลับ	7.78	22.58	76.84	82.10	83.33	90.11	90.91	91.01	91.58	92.04

หมายเหตุ 1. ตัวอย่างชุดที่ 1 หมายถึง ตัวอย่างที่เก็บเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2532

2. นีเอช ของส่วนไส หมายถึง นีเอชสุดท้าย (หลังตกตะกอน) ของสารละลายส่วนไส

3. % น้ำกลับ หมายถึง $\frac{\text{ปริมาณอะลูมิเนียมในสารโคแอกกูแลนท์น้ำกลับ} \times 100}{\text{ปริมาณอะลูมิเนียมทั้งหมดที่ละลายในภาคตะกอนตัวอย่าง}}$

(ตัวอย่างของการคำนวณดูได้จากตาราง ผ.1 ในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.3 ข ผลการทดสอบการนำกลับละลายน้ำด้วยวิธีการไล่เรตซัลฟูริก (ตัวอย่างชุดที่ 2)

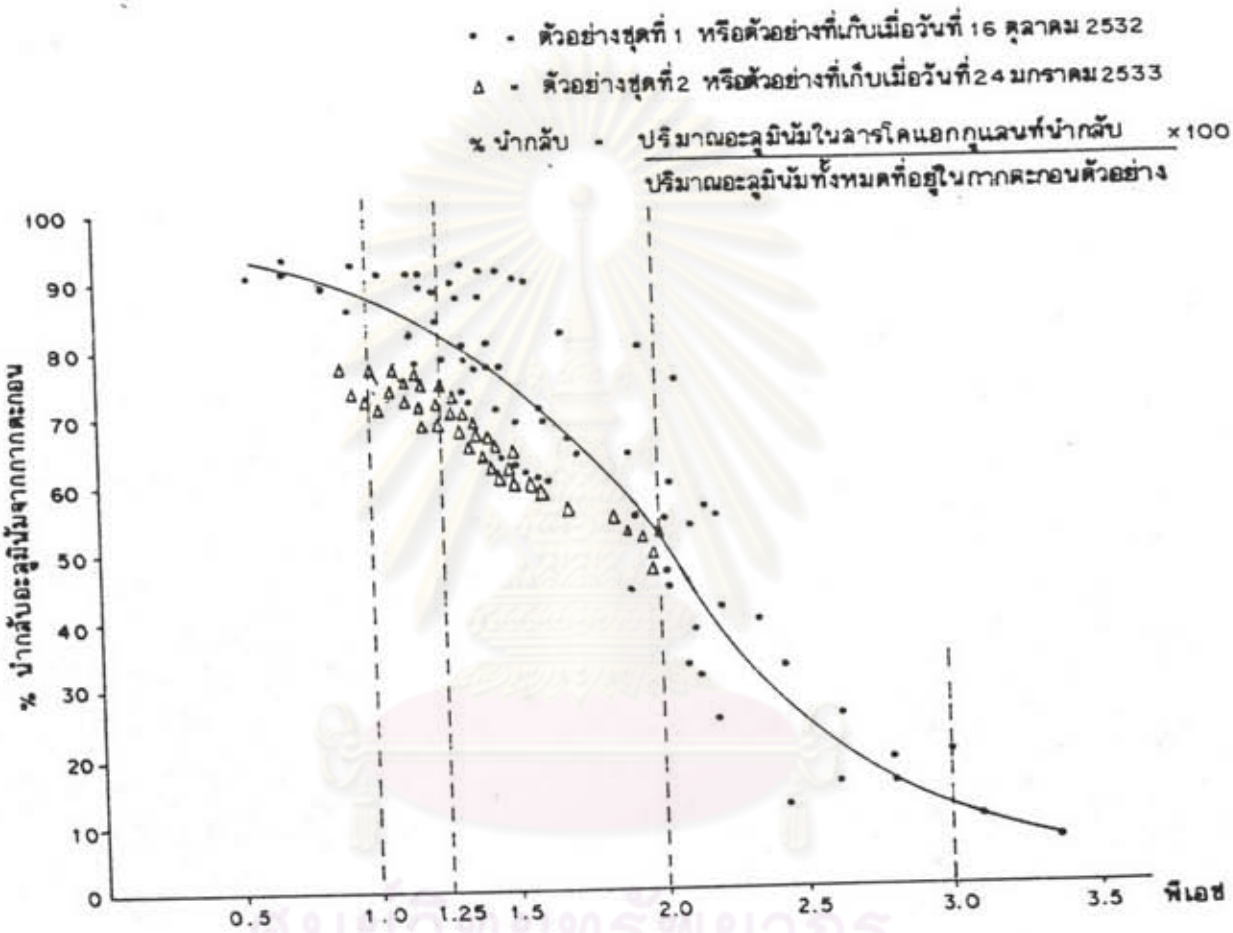
ตัวอย่างที่ 8	พีเอชของส่วนใส % นำกลับ	1.90 52.03	1.55 57.30	1.44 64.01	1.37 68.17	1.31 71.35	1.20 73.55	1.12 74.31	1.00 74.93
ตัวอย่างที่ 9	พีเอชของส่วนใส % นำกลับ	1.86 53.08	1.51 61.13	1.42 65.33	1.35 69.96	1.29 71.54	1.19 72.69	1.10 73.11	0.95 73.86
ตัวอย่างที่ 10	พีเอชของส่วนใส % นำกลับ	1.96 46.47	1.60 58.53	1.40 62.63	1.38 60.52	1.25 73.55	1.15 74.05	1.10 75.04	0.90 75.48
ตัวอย่างที่ 11	พีเอชของส่วนใส % นำกลับ	2.00 48.39	1.85 53.68	1.52 62.06	1.41 63.46	1.30 66.34	1.24 67.91	1.15 69.77	1.05 71.21
ตัวอย่างที่ 12	พีเอชของส่วนใส % นำกลับ	1.98 50.00	1.70 55.21	1.50 57.14	1.35 64.86	1.27 65.05	1.18 66.67	1.11 70.05	0.98 70.95

หมายเหตุ 1. ตัวอย่างชุดที่ 2 หมายถึง ตัวอย่างที่เก็บเมื่อวันที่ 24 มกราคม 2533

2. พีเอชของส่วนใส หมายถึง พีเอชสุดท้าย (หลังตกตะกอน) ของสารละลายส่วนใส

3. % นำกลับ หมายถึง $\frac{\text{ปริมาณอะลูมิเนียมในสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ} \times 100}{\text{ปริมาณอะลูมิเนียมทั้งหมดที่อยู่ในภากตะกอนตัวอย่าง}}$

(ตัวอย่างของการคำนวณดูได้จากตาราง ผ.8 ในภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.1 ผลการนำกลับอะลูมินัมด้วยวิธีการใช้กรดซัลฟูริกเทียบกับพีเอชของปฏิกิริยา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การนำกลับตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไปไม่ควรให้พีเอชสูงกว่า 2

ในที่นี้ผู้วิจัยได้กำหนดค่าพีเอชที่เหมาะสมที่จะนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและคิดค่าใช้จ่ายขั้นต้นต่อไปไว้ที่พีเอช 1.65 ทั้งนี้ด้วยเหตุผลและสมมติฐานที่ว่าการที่จะนำกลับในปริมาณสูง ๆ นั้น จะต้องทำให้พีเอชของปฏิกิริยาต่ำมาก ซึ่งต้องใช้ปริมาณกรดสูงทำให้พีเอชลดต่ำมากและมีผลกระทบต่อพีเอชสุดท้ายของน้ำที่ผลิตได้ตามไปด้วย ดังที่ Cornwell et al. (1981) ได้เคยรายงานถึงปัญหาและอุปสรรคของการนำกลับสารส้มน้ำนี้ไว้แล้ว ในทางตรงข้ามถ้าให้พีเอชของปฏิกิริยาสูงกว่านี้ก็จะทำให้ประสิทธิภาพของการนำกลับน้อยเกินไป การนำไปใช้งานจริงก็จะไม่สัมฤทธิผลตามควร

ส่วนการนำกลับอะลูมินัมด้วยวิธีการใช้ด่าง คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์นั้น ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.4 ก, 4.4 ข และรูปที่ 4.2 เห็นได้ว่าการนำกลับอะลูมินัมจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มพีเอชของปฏิกิริยา โดยที่ประสิทธิภาพของการนำกลับสูงสุดเป็นร้อยละ 66.0 ที่ค่าพีเอช 12.71 และเห็นได้อีกเช่นกันว่า เราสามารถนำกลับอะลูมินัมด้วยวิธีการนี้ได้เพียงประมาณร้อยละ 40 ที่ค่าพีเอช ประมาณ 12.50 ดังนั้นถ้าจะนำกลับอะลูมินัมด้วยวิธีนี้ให้ได้ประสิทธิภาพของการนำกลับสูงก็ไม่ควรให้พีเอชต่ำกว่า 12.50

จากข้อมูลการนำกลับอะลูมินัมด้วยสองวิธีดังกล่าวข้างต้น ในขั้นนี้พอสรุปได้ว่าการนำกลับอะลูมินัมจากกากอุตสาหกรรมอะลูมินัมด้วยวิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพน้อยกว่าวิธีการใช้กรดซัลฟูริก

4.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ

จากการทดสอบการนำกลับสารโคแอกกูแลนท์จากสลัดจ์อุตสาหกรรมอะลูมินัมด้วยวิธีการใช้กรดและวิธีการใช้ด่างดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น กล่าวได้ว่าในการนำกลับสารโคแอกกูแลนท์ด้วยวิธีการใช้กรดซัลฟูริกจะได้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับ คือ สารละลายอะลูมินัมซัลเฟต ส่วนการนำกลับด้วยวิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์จะได้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับ คือ สารละลายโซเดียมอะลูมิเนต ทั้งนี้การเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการนำกลับสำหรับแต่ละวิธีนั้นไม่สามารถพิจารณาได้ชัดเจนนัก ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้อ 4.3 แต่ในที่นี้คณะผู้วิจัยได้กำหนดค่าพีเอชสำหรับการนำกลับสารโคแอกกูแลนท์ด้วยวิธีการใช้กรดและด่างเป็น 1.65 และ 12.50 ตามลำดับ

I16300622

ตารางที่ 4.4 ก ผลการทดสอบการนำกลับละลายน้ำด้วยวิธีการใช้ด่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ตัวอย่างชุดที่ 1)

ตัวอย่างที่ 1	พีเอชของส่วนใส	9.41	10.04	10.91	12.17	12.39	12.64	12.74	12.81	12.85	12.88
	% นำกลับ	2.82	8.60	21.74	45.08	49.58	53.26	55.12	59.33	62.14	65.01
ตัวอย่างที่ 2	พีเอชของส่วนใส	9.65	10.41	11.20	12.25	12.48	12.67	12.75	12.80	12.85	12.88
	% นำกลับ	1.42	2.31	12.29	29.93	37.88	44.25	46.48	49.64	52.98	52.20
ตัวอย่างที่ 3	พีเอชของส่วนใส	8.01	8.52	9.73	10.13	12.15	12.38	12.48	12.54	12.60	12.69
	% นำกลับ	0.31	0.57	4.68	17.39	42.18	47.64	50.14	52.11	53.98	55.67
ตัวอย่างที่ 4	พีเอชของส่วนใส	8.20	9.80	10.16	10.34	12.55	12.99	13.10	13.30	13.45	13.48
	% นำกลับ	0.61	4.77	15.20	20.37	43.50	55.28	59.37	60.05	62.30	63.00
ตัวอย่างที่ 5	พีเอชของส่วนใส	9.81	10.94	11.49	12.38	12.50	12.62	12.67	12.69	12.70	12.71
	% นำกลับ	7.37	16.73	24.45	40.79	44.09	56.72	58.24	64.79	65.88	66.00
ตัวอย่างที่ 6	พีเอชของส่วนใส	9.46	10.20	11.10	12.14	12.40	12.63	12.74	12.81	12.87	12.90
	% นำกลับ	3.41	7.91	13.35	28.13	39.05	49.70	56.05	60.59	61.72	62.80
ตัวอย่างที่ 7	พีเอชของส่วนใส	8.04	9.08	9.66	10.35	11.00	12.41	12.54	12.65	12.67	12.71
	% นำกลับ	0.36	4.70	6.95	41.17	53.80	54.01	55.70	58.94	60.94	62.83

หมายเหตุ 1. ตัวอย่างชุดที่ 1 หมายถึง ตัวอย่างที่เก็บเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2532

2. พีเอช ของส่วนใส หมายถึง พีเอชสุดท้าย (หลังตกตะกอน) ของสารละลายส่วนใส

3. % นำกลับ หมายถึง $\frac{\text{ปริมาณอะลูมิเนียมในสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ} \times 100}{\text{ปริมาณอะลูมิเนียมทั้งหมดที่อยู่ในภาชนะตกตะกอนตัวอย่าง}}$

(ตัวอย่างของการคำนวณดูได้จากตาราง ผ.13 ในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.4 ข ผลการทดสอบการนำกลับอะลูมินัมด้วยวิธีการใช้ด่าง : โซเดียมไฮดรอกไซด์

(ตัวอย่างชุดที่ 2)

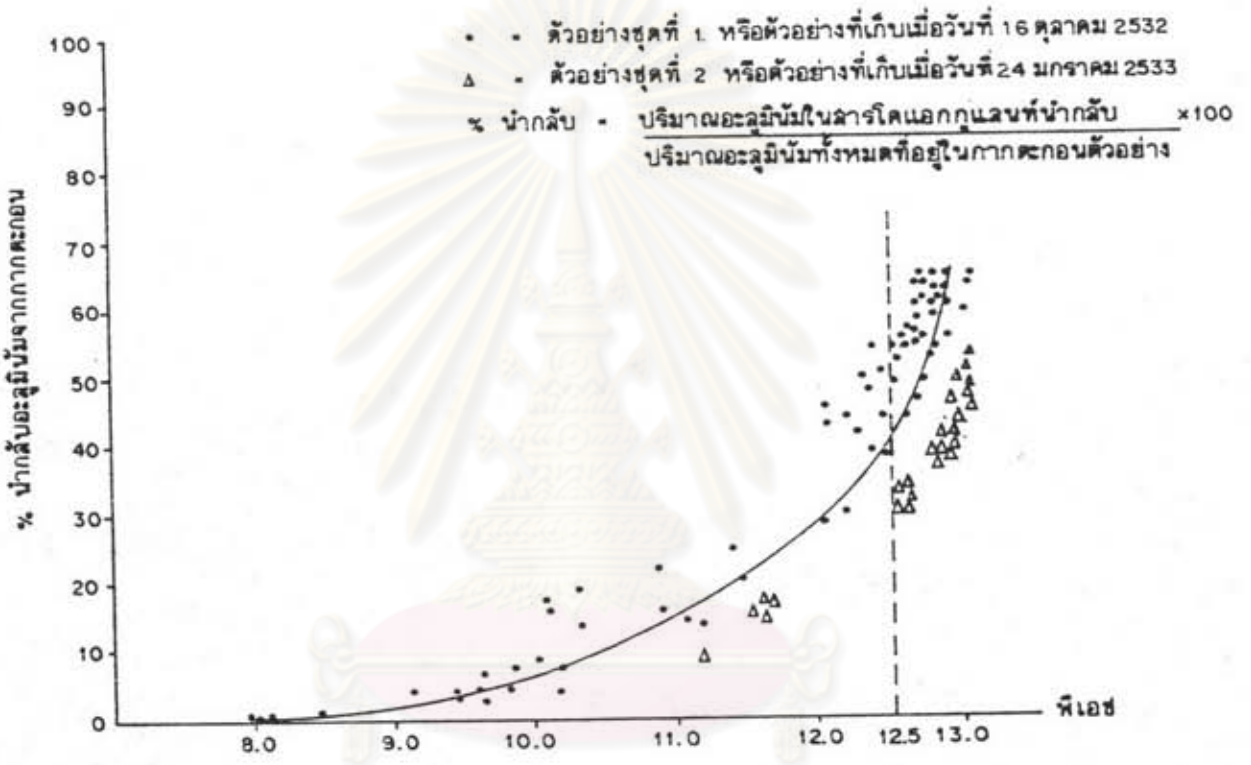
ตัวอย่างที่ 8	พีเอชของส่วนใส	11.60	12.58	12.86	12.98	13.08
	% นำกลับ	16.88	32.46	41.88	46.01	53.38
ตัวอย่างที่ 9	พีเอชของส่วนใส	11.53	12.59	12.85	12.97	13.07
	% นำกลับ	15.61	33.04	38.76	48.86	51.88
ตัวอย่างที่ 10	พีเอชของส่วนใส	11.22	12.55	12.86	12.99	13.03
	% นำกลับ	14.71	30.57	37.39	43.90	48.75
ตัวอย่างที่ 11	พีเอชของส่วนใส	11.59	12.58	12.83	12.94	13.02
	% นำกลับ	14.46	31.06	38.37	47.26	50.21
ตัวอย่างที่ 12	พีเอชของส่วนใส	11.61	12.59	12.84	12.96	13.03
	% นำกลับ	16.39	31.11	38.02	42.65	45.47

หมายเหตุ 1. ตัวอย่างชุดที่ 2 หมายถึง ตัวอย่างที่เก็บเมื่อวันที่ 24 มกราคม 2533

2. พีเอชของส่วนใส หมายถึง พีเอชสุดท้าย (หลังตกตะกอน) ของสารละลายส่วนใส

3. % นำกลับ หมายถึง $\frac{\text{ปริมาณอะลูมินัมในสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ} \times 100}{\text{ปริมาณอะลูมินัมทั้งหมดที่อยู่ในภากตะกอนตัวอย่าง}}$

(ตัวอย่างการคำนวณดูได้จาก ตาราง ผ.20 ในภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.2 ผลการนำกลับอะลูมินัมด้วยวิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เทียบกับพีเอชของปฏิกิริยา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ ผู้วิจัยได้ใช้ตัวอย่างน้ำในการทดสอบจาร์เป็นตัวอย่างน้ำดิบของการประปานครหลวง ที่ชักมาจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่ตำบลสำแล อ.เมือง จ.ปทุมธานี โดยได้เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2533 ทั้งนี้ได้ตรวจสอบหาปริมาณโลหะหนักต่าง ๆ ในน้ำดิบ (ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ในหน้า 47) ปริมาณโลหะหนักดังกล่าวนี้เป็นค่าซึ่งต้องใช้ร่วมกันพิจารณาประกอบภายหลังการทดสอบจาร์ เพื่อดูปริมาณโลหะหนักที่ยังคงเหลือตกค้างในน้ำที่ผลิตได้หรือสารละลายส่วนใส (หลังตกตะกอน) ว่าจะเกินมาตรฐานน้ำอุปโภคบริโภคของทางการหรือไม่ด้วย

ในการทดสอบจาร์โดยใช้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับจากวิธีการใช้กรด ได้แบ่งการทดสอบเป็น 2 แบบ คือ การไม่ควบคุมพีเอชและการควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วง 5.5-6.5 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำโคแอกกูเลชันด้วยสารประกอบอะลูมินัม (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2525) ได้ผลการทดลองดังในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.3 เห็นได้ว่าถ้าพิจารณาหาปริมาณอะลูมินัมในสารโคแอกกูแลนท์นำกลับต่อลิตรของตัวอย่างน้ำรวมที่ใช้ในการทดลองทั้งสองแบบ หากใช้ค่าความขุ่นต่ำกว่า 5 NTU เป็นเกณฑ์ในการวินิจฉัย (การประปานครหลวงใช้ค่าความขุ่น 5-7 NTU เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาปริมาณสารส้มที่ใช้ในการกำจัดความขุ่นน้ำดิบที่ใช้ในการทำน้ำประปา) พบว่าในการทดลองแบบไม่ควบคุมพีเอชจะต้องใช้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับในรูปของอะลูมินัม (Al) ประมาณ 1.25 มิลลิกรัมต่อลิตรของตัวอย่างน้ำรวม หรือประมาณ 15.14 มก./ล. ในรูปของสารส้มน้ำ $Al_2(SO_4)_3.18\ H_2O$ และพีเอชจะลดต่ำลงถึง 3.00 ซึ่งต้องนำไปปรับ พีเอชก่อนนำไปใช้งานได้ ส่วนในการทดลองแบบควบคุมพีเอช (ซึ่งต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วย) จะใช้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับในรูปของอะลูมินัม(Al) ประมาณ 0.80 มิลลิกรัมต่อลิตรของตัวอย่างน้ำรวมหรือประมาณ 9.87 มก./ล. ในรูปของสารส้มน้ำ $Al_2(SO_4)_3.18\ H_2O$ ที่พีเอชประมาณ 5.67 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ ประมาณ 0.1 ลบ.ซม./ลิตร ของตัวอย่างน้ำรวม จึงสรุปได้ว่า การควบคุมพีเอชจะสามารถลดปริมาณการใช้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับได้ ทว่าต้องนำข้อสรุปนี้ไปพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีที่จำเป็นก่อน จึงจะหาข้อสรุปสุดท้ายที่เหมาะสมได้ต่อไป

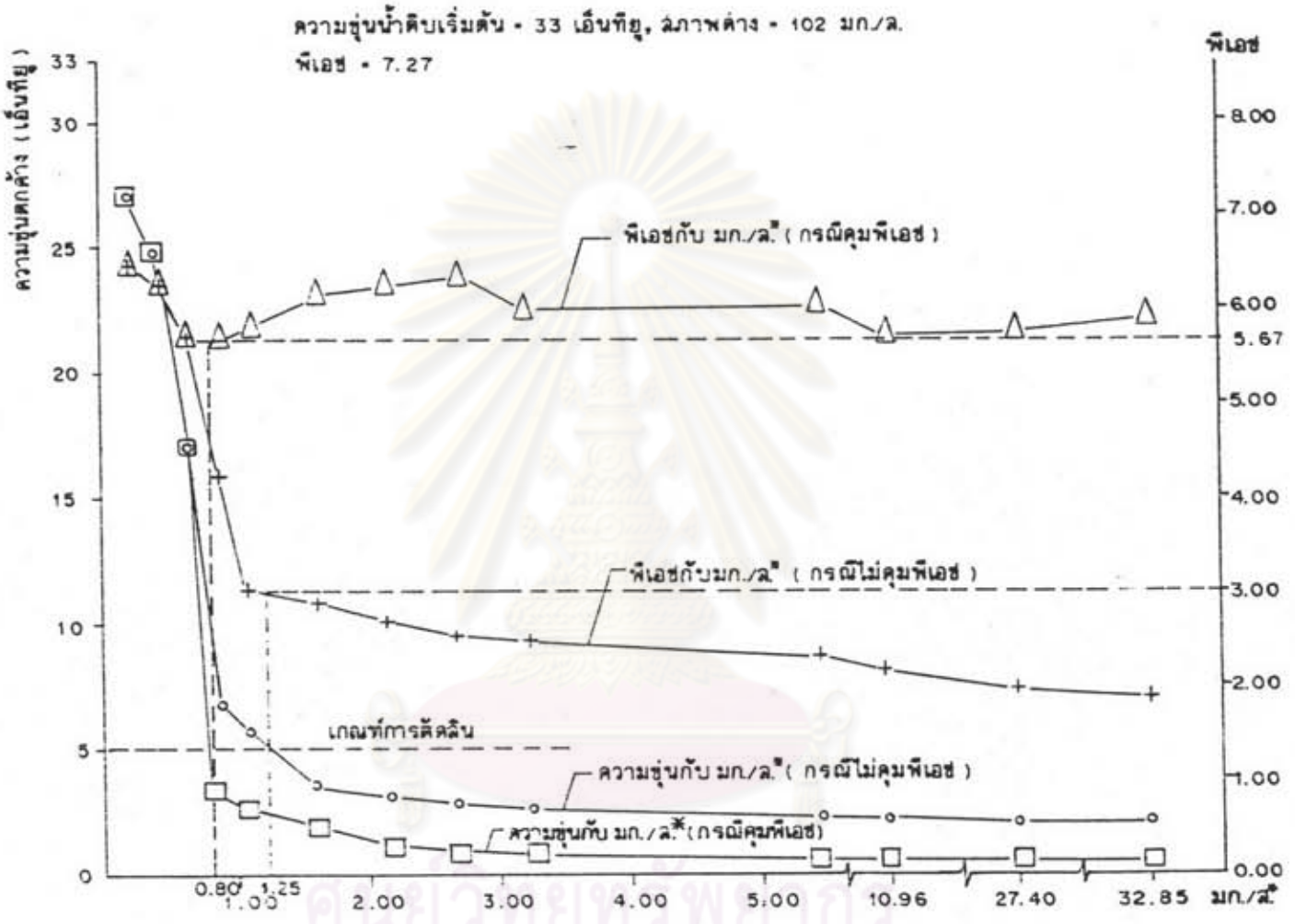
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการกำจัดความขุ่นโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์ที่นำกลับได้จากวิธีการใช้กรดซัลฟูริก

การทดลองที่ 1 (ไม่คุมพีเอช)					การทดลองครั้งที่ 2 (คุมพีเอช)					
ลำดับ	มล.ของสารนำกลับ	มก./ล.*	พีเอช	ความขุ่นตกค้าง (NTU)	ลำดับ	มล.ของสารนำกลับ	มก./ล.*	มล.NaOH (6M)	พีเอช	ความขุ่นตกค้าง (NTU)
1	0.2	0.22	6.46	27	1	0.2	0.22	-	6.46	27
2	0.4	0.44	6.22	25	2	0.4	0.44	-	6.22	25
3	0.6	0.66	5.71	17	3	0.6	0.66	-	5.71	17
4	0.8	0.88	4.24	6.8	4	0.8	0.88	0.1	5.69	3.4
5	1.0	1.10	3.05	6.0	5	1.0	1.10	0.2	5.83	2.7
6	1.5	1.64	2.90	3.4	6	1.5	1.64	0.6	6.20	2.3
7	2.0	2.19	2.71	3.2	7	2.0	2.19	0.9	6.29	1.0
8	2.5	2.74	2.55	2.7	8	2.5	2.74	1.0	6.40	0.6
9	3.0	3.29	2.47	2.5	9	3.0	3.29	1.1	6.02	0.5
10	5.0	5.48	2.35	2.2	10	5.0	5.48	2.1	6.06	0.3
11	10.0	10.96	2.16	2.1	11	10.0	10.96	4.2	5.73	0.2
12	25.0	27.40	1.96	2.0	12	25.0	27.40	11.0	5.81	0.2
13	30.0	32.88	1.90	2.0	13	30.0	32.88	13.0	5.97	0.2

หมายเหตุ : * มิลลิกรัมต่อลิตรของอะลูมินัมในรูปของสารโคแอกกูแลนท์นำกลับต่อลิตรของตัวอย่างน้ำรวม

1. สารโคแอกกูแลนท์นำกลับมีปริมาณอะลูมินัม = 1.096 มก./ล. ได้มาจากการทดลองกับตัวอย่างที่ 5
2. น้ำดิบมีความขุ่น = 33 NTU, พีเอช = 7.27, สภาพด่าง = 102 มก./ล.
3. ข้อมูลในกรอบ หมายถึง ภาวะการณ์ที่น้ำผ่านเกณฑ์ความขุ่น 5 NTU ตัดสิน

(ตัวอย่างของการคำนวณดูได้ในภาคผนวก ข)



* มิลลิกรัมของอะลูมินัมในสารโคแอกกูแลนท์นำกลับต่อลิตรของตัวอย่างน้ำรวม

รูปที่ 4.3 ผลการทดลองจาร์ด้วยสารโคแอกกูแลนท์นำกลับจากวิธีการใช้กรดซัลฟูริก

ส่วนการทดลองการกำจัดความขุ่นโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับที่ได้จากวิธีการใช้โซเดียม-ไฮดรอกไซด์ โดยใช้ค่าพีเอช 12.50 เป็นตัวกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการนำกลับ (เนื่องจากที่ค่าพีเอชดังกล่าวสามารถนำกลับอะลูมินัมได้ประมาณร้อยละ 40 และพีเอชของสารละลายไม่สูงจนเกินไปนัก) ในการทดสอบจาร์ได้ใช้ตัวอย่างน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบสำแลซึ่งเก็บมาพร้อมกับที่ใช้ในวิธีแรก ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.4 หากใช้ค่าความขุ่นต่ำกว่า 5 NTU เป็นเกณฑ์วินิจฉัยเช่นเดียวกันพบว่าจะต้องใช้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับในรูปของอะลูมินัม 4.40 มิลลิกรัมต่อลิตรของตัวอย่างน้ำรวม หรือประมาณ 19.23 มก./ล. ในรูปของโซเดียมอะลูมิเนต $NaAl(OH)_4$ สำหรับการทดลองที่ไม่คุมพีเอช และจะใช้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับในรูปของอะลูมินัม 2.85 มิลลิกรัมต่อลิตรของตัวอย่างน้ำรวมหรือประมาณ 12.45 มก./ล. ในรูปของโซเดียมอะลูมิเนต $NaAl(OH)_4$ สำหรับการทดลองที่คุมพีเอช เห็นได้ว่าการควบคุมพีเอชโดยการใช้กรดก็สามารถลดปริมาณการใช้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับ จากวิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ได้เช่นกัน

หากพิจารณาข้อมูลเปรียบเทียบการทดสอบจาร์ด้วยสารโคแอกกูแลนท์ที่นำกลับด้วยวิธีทั้งสองคือวิธีการใช้กรดซัลฟูริกและวิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ดูตารางที่ 4.7) และทดสอบทั้งแบบที่คุมพีเอชและไม่คุมพีเอชแล้ว ถ้าใช้ค่าความขุ่น 5 NTU เป็นเกณฑ์วินิจฉัยแล้วพบว่าปริมาณสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ ที่ใช้ในการกำจัดความขุ่นเมื่อเปรียบเทียบกันในรูปของอะลูมินัมจะใช้สารโคแอกกูแลนท์ที่เตรียมได้จากวิธีการใช้กรดในปริมาณที่น้อยกว่าสารโคแอกกูแลนท์ที่เตรียมได้จากวิธีการใช้ด่าง กล่าวคือ ภาวะที่เหมาะสมในการใช้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับ จากวิธีการใช้กรดซัลฟูริกกับน้ำดิบที่มีความขุ่น 33 NTU, พีเอช 7.27 และสภาพด่าง 102 มก./ล. คือการใช้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับที่มีปริมาณอะลูมินัม 1,096 มก./ล. จำนวน 0.8 ลบ.ซม. คิดเป็นสารโคแอกกูแลนท์นำกลับในรูปอะลูมินัม 0.88 มก./ล. ของตัวอย่างน้ำรวม หรือ 10.85 มก./ล. ในรูปสารส้มน้ำ โดยควบคุมพีเอชที่ 5.69 ความขุ่นลดลงเหลือ 3.4 NTU และเมื่อใช้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับจากวิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์กับน้ำดิบชุดเดียวกันจะใช้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับที่มีปริมาณอะลูมินัม 900 มก./ล. จำนวน 3.5 ลบ.ซม. ได้เป็นปริมาณสารโคแอกกูแลนท์นำกลับในรูปของอะลูมินัม 3.15 มก./ล. ของตัวอย่างน้ำรวม หรือ 13.77 มก./ล. ในรูปของโซเดียมอะลูมิเนต โดยควบคุมพีเอชที่ 5.85 ได้ความขุ่นออกมาเป็น 3.4 NTU นั่นคือประสิทธิ

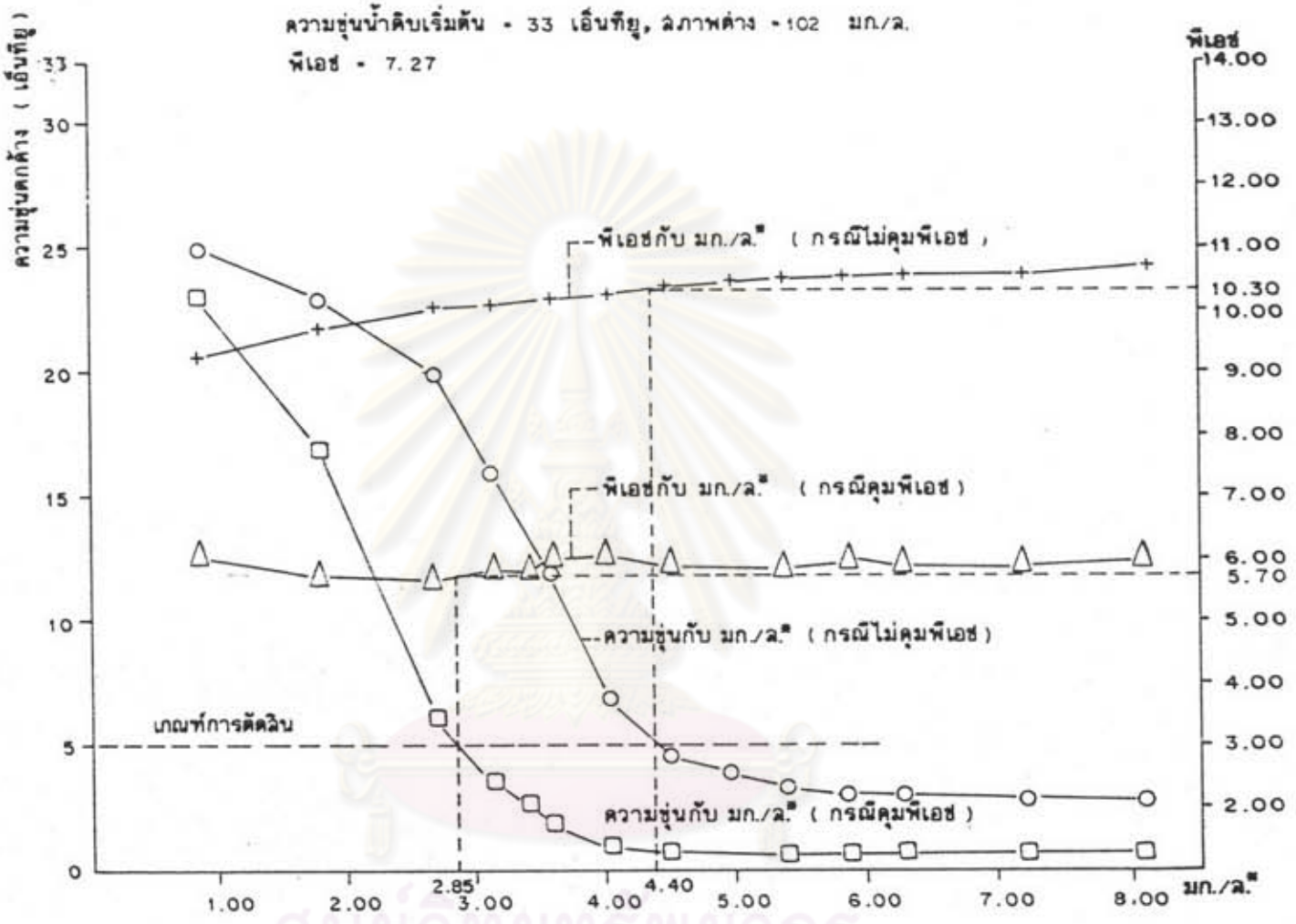
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบการกำจัดความขุ่นโดยใช้สารโคแอกกูแลนท์ที่นำกลับได้จากวิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์

การทดลองที่ 1 (ไม่คุมพีเอช)					การทดลองครั้งที่ 2 (คุมพีเอช)					
ลำดับ	มล. ของสารนำกลับ	มก./ล.*	พีเอช	ความขุ่นตกค้าง (NTU)	ลำดับ	มล. ของสารนำกลับ	มก./ล.*	มล. H_2SO_4 (3น)	พีเอช	ความขุ่นตกค้าง (NTU)
1	1.9	0.90	9.31	25	1	1.0	0.90	1.5	6.08	23
2	2.0	1.80	9.80	23	2	2.0	1.80	2.6	5.76	17
3	3.0	2.70	10.06	20	3	3.0	2.70	3.6	5.70	6.2
4	3.5	3.15	10.10	16	4	3.5	3.15	3.4	5.85	3.4
5	4.0	3.60	10.22	12	5	3.8	3.42	3.0	5.90	2.8
6	4.5	4.05	10.30	7.0	6	4.0	3.60	3.0	6.00	2.0
7	5.0	4.50	10.39	4.8	7	4.5	4.05	3.2	6.02	1.0
8	5.5	4.95	10.45	4.0	8	5.0	4.50	3.6	5.91	0.8
9	6.0	5.40	10.52	3.7	9	6.0	5.40	4.7	5.94	0.5
10	6.5	5.85	10.55	3.2	10	6.5	5.85	4.7	6.01	0.5
11	7.0	6.30	10.58	3.1	11	7.0	6.30	4.8	5.97	0.5
12	8.0	7.20	10.61	2.7	12	8.0	7.20	4.9	5.99	0.5
13	9.0	8.10	10.70	2.7	13	9.0	8.10	5.4	6.03	0.5

หมายเหตุ : * มิลลิกรัมของอะลูมิน่ในสารโคแอกกูแลนท์นำกลับต่อลิตรของตัวอย่างน้ำรวม

1. สารโคแอกกูแลนท์นำกลับมีปริมาณอะลูมิน่ = 900 มก./ล. ได้มาจากการทดลองกับตัวอย่างที่ 5
2. น้ำดิบมีความขุ่น = 33 NTU, พีเอช = 7.27, สภาพด่าง = 102 มก./ล.
3. ข้อมูลในกรอบ หมายถึง ภาวะการณ์ที่น้ำผ่านเกณฑ์ความขุ่น 5 NTU ตัดสิน

(ตัวอย่างของการคำนวณดูได้ในภาคผนวก ข)



* มิลลิกรัมของอะลูมินัมในสารโคแอกกูแลนท์นำกลับต่อลิตรของตัวอย่างน้ำรวม

รูปที่ 4.4 ผลการทดลองจาร์ด้วยสารโคแอกกูแลนท์นำกลับจากวิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลเปรียบเทียบการทดสอบจาร์ด้วยสารโคแอกกูแลนท์ที่นำกลับด้วยวิธีการใช้กรดซัลฟูริก และวิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์

วิธีการใช้กรดซัลฟูริก						วิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์					
ไม่คุมพีเอช			คุมพีเอช			ไม่คุมพีเอช			คุมพีเอช		
มล. ของสารนำกลับ	มก./ล.*	ความขุ่นตกค้าง (NTU)	มล. ของสารนำกลับ	มก./ล.*	ความขุ่นตกค้าง (NTU)	มล. ของสารนำกลับ	มก./ล.*	ความขุ่นตกค้าง (NTU)	มล. ของสารนำกลับ	มก./ล.*	ความขุ่นตกค้าง (NTU)
0.2	0.22	27	0.2	0.22	27	1.0	0.90	25	1.0	0.90	23
0.4	0.44	25	0.4	0.44	25	2.0	1.80	23	2.0	1.80	17
0.6	0.66	17	0.6	0.66	17	3.0	2.70	20	3.0	2.70	6.2
0.8	0.88	6.8	0.8	0.88	3.4	3.5	3.15	16	3.5	3.15	3.4
1.0	1.10	6.0	1.0	1.10	2.7	4.0	3.60	12	3.8	3.42	2.8
1.5	1.64	3.4	1.5	1.64	2.3	4.5	4.05	7.0	4.0	3.60	2.0
2.0	2.19	3.2	2.0	2.19	1.0	5.0	4.50	4.8	4.5	4.05	1.0
2.5	2.74	2.7	2.5	2.74	0.6	5.5	4.95	4.0	5.0	4.50	0.8
3.0	3.29	2.5	3.0	3.29	0.5	6.0	5.40	3.7	6.0	5.40	0.5
5.0	5.48	2.2	5.0	5.48	0.3	6.5	5.85	3.2	6.5	5.85	0.5
10.0	10.96	2.1	10.0	10.96	0.2	7.0	6.30	3.1	7.0	6.30	0.5
25.0	27.40	2.0	25.0	27.40	0.2	8.0	7.20	2.7	8.0	7.20	0.5
30.0	32.88	2.0	30.0	32.88	0.2	9.0	8.10	2.7	9.0	8.10	0.5

หมายเหตุ * มิลลิกรัมของอะลูมินัมในสารโคแอกกูแลนท์ที่นำกลับต่อลิตรของตัวอย่างน้ำรวม

ข้อมูลในกรอบเล็ก หมายถึง ปริมาณสารโคแอกกูแลนท์ที่เหมาะสมเมื่อใช้เกณฑ์ความขุ่น 5 NTU

ภาพของสารโคแอกกูแลนท์ที่เตรียมได้จากวิธีการใช้กรดซัลฟูริกดีกว่าสารโคแอกกูแลนท์ที่เตรียมได้จากวิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์นั่นเอง

4.5 การปนเปื้อนของโลหะหนักในสารโคแอกกูแลนท์นำกลับและในสารละลายส่วนใสภายหลังการทดสอบจาร์

จากการทดลองนำสารโคแอกกูแลนท์ที่นำกลับได้จากสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งได้กำหนดไว้แล้วนี้ ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณการปนเปื้อนกล่าวคือ โลหะหนักอื่น ๆ อันได้แก่ Cr, Cd, Pb, Mn, Cu, Fe และ Zn โดยการใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์นั้น ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.8 เห็นได้ว่าปริมาณโลหะหนักอื่น ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในสารโคแอกกูแลนท์นำกลับที่ได้จากทั้งสองวิธีนี้เมื่อเทียบกับปริมาณอะลูมินัมแล้วมีค่าน้อยมาก จึงไม่น่าจะเกิดปัญหาเมื่อนำสารโคแอกกูแลนท์นำกลับไปประยุกต์ใช้ต่อไป

ส่วนการปนเปื้อนหรือปริมาณโลหะหนักในสารละลายส่วนใส (หรือน้ำที่ผลิตได้) ภายหลังการทดสอบจาร์ที่ใช้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับจากทั้งสองวิธีข้างต้น ได้ผลดังตารางที่ 4.10 และ 4.11 หากพิจารณาปริมาณโลหะหนักในสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละวิธี (ข้อมูลในกรอบเล็กในตารางที่ 4.10 และ 4.11) เมื่อใช้ค่าความขุ่น 5 NTU เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำประปาของการประปานครหลวง มาตรฐานน้ำดื่มของ EPA ปี 1974 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม : น้ำบริโภคของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปี 2521 และมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก ปี 1984 (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ค) จะพบว่าปริมาณโลหะหนักต่าง ๆ อันได้แก่ Cr, Cd, Pb, Mn, Cu, Fe, และ Zn มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งสิ้น ดูตารางที่ 4.12 ยกเว้นเหล็กซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานในบางตัวอย่าง ซึ่งคาดว่าเป็นเหล็กที่มาจากการชะล้างออกมาจากตะกอนสลัดจ์ดังสมการ (3) ในหน้า 10 แต่เหล็กนี้ไม่ถือว่าเป็นโลหะหนักที่เป็นพิษเพราะถึงมีปริมาณสูงถึงจุด ๆ หนึ่ง (ซึ่งก็น้อยกว่าปริมาณที่เป็นพิษมาก) จะมีรสและกลิ่นไม่ชวนบริโภค จึงไม่เป็นปัญหารุนแรงแต่ประการใดและหากนำไปพิจารณาร่วมกับการที่ไม่ได้ใช้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับนี้ในการใช้งานผลิตน้ำประปาโดยตรง 100 % แต่เนียงอย่างเดียว แต่หากใช้เป็นส่วนหนึ่งหรือใช้ร่วมกับสารส้มปกติที่ใช้ในโรงกรองประปาอยู่แล้ว ก็จะทำให้ปัญหานี้ลดลงตามไปอีกด้วย

ตารางที่ 4.8 ปริมาณโลหะหนักในสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ

หน่วย : มก./ล.

วิธีการนำกลับ	Al*	Cr**	Cd**	Pb**	Mn**	Cu**	Fe**	Zn**
ใช้กรดซัลฟูริก	1,096	0.132	0.050	0.548	0.002	0.015	0.600	0.592
ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์	900	0.034	0.015	0.036	0.009	0.064	0.243	0.161

หมายเหตุ จากการทดลองโดยใช้ตัวอย่างที่ 5 สำหรับวิธีการใช้กรด พีเอช = 1.65

สำหรับวิธีการใช้ด่าง พีเอช = 12.50

* วิเคราะห์โดยวิธี Eriochrome Cyanine R

** วิเคราะห์โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ตารางที่ 4.9 ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างน้ำดิบที่สำแล (13 กุมภาพันธ์ 2533)

หน่วย : มก./ล.

Cr	Cd	Pb	Mn	Cu	Fe	Zn
0.003	0.003	0.006	0.034	0.005	1.8	0.127

หมายเหตุ : วิเคราะห์โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 ปริมาณโลหะหนักในสารละลายส่วนใสภายหลังการทดสอบจาร์ (ใช้สารโคแอกกูแลนท์ที่นำกลับได้จากการใช้กรดซัลฟูริก) ;มิลลิกรัม/ลิตร

การทดลองที่ 1 (ไม่คุมพีเอช)								การทดลองที่ 2 (คุมพีเอช)							
ลำดับ	Cr	Cd	Pb	Mn	Cu	Fe	Zn	ลำดับ	Cr	Cd	Pb	Mn	Cu	Fe	Zn
1	nil	0.001	nil	nil	nil	0.411	0.060	1	nil	0.001	nil	nil	nil	0.411	0.060
2	nil	0.001	0.001	0.010	0.002	0.323	0.054	2	nil	0.001	0.001	0.010	0.002	0.323	0.054
3	0.001	0.001	0.001	0.013	0.004	0.261	0.084	3	0.001	0.001	0.001	0.013	0.003	0.261	0.084
4	0.001	0.001	0.001	0.019	0.002	0.312	0.075	4	0.001	0.001	0.001	0.010	0.002	0.148	0.059
5	0.001	0.001	0.002	0.028	0.002	0.444	0.097	5	0.001	nil	0.001	0.006	0.003	0.118	0.060
6	0.002	0.002	0.002	0.027	0.001	0.494	0.096	6	0.001	0.001	0.001	0.009	0.003	0.064	0.069
7	0.002	0.001	0.002	0.027	0.001	0.496	0.098	7	0.001	0.001	0.001	0.010	0.004	0.065	0.076
8	0.001	0.002	0.002	0.027	0.001	0.499	0.010	8	0.001	0.001	nil	0.015	0.003	0.052	0.070
9	0.001	0.001	0.002	0.026	0.001	0.495	0.111	9	0.001	nil	nil	0.005	0.001	0.049	0.065
10	0.002	0.001	0.005	0.025	0.002	0.548	0.115	10	0.002	0.001	0.002	0.020	0.002	0.053	0.082
11	0.002	0.002	0.004	0.027	0.002	0.921	0.117	11	0.002	0.001	0.003	0.009	0.003	0.057	0.125
12	0.002	0.002	0.005	0.029	0.001	0.990	0.084	12	0.002	0.001	0.003	0.013	0.004	0.067	0.120
13	0.002	0.002	0.006	0.030	0.002	1.252	0.084	13	0.002	0.002	0.005	0.014	0.004	0.077	0.105

หมายเหตุ : 1. ข้อมูลในกรอบใหญ่ (ลำดับ 6-13 และ 4-13) หมายถึง ภาวะการณ์ที่น้ำผ่านเกณฑ์ความขุ่น 5 NTU
2. ข้อมูลในกรอบเล็ก (ลำดับ 6 และ 4) หมายถึง ปริมาณโลหะหนักในภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้เกณฑ์ความขุ่น 5 NTU

ตารางที่ 4.11 ปริมาณโลหะหนักในสารละลายส่วนใสภายหลังการทดสอบจาร์ (ใช้สารโคแอกกูแลนท์ที่นำกลับได้จากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์)

การทดลองที่ 1 (ไม่คุมพีเอช)								การทดลองที่ 2 (คุมพีเอช)							
ลำดับ	Cr	Cd	Pb	Mn	Cu	Fe	Zn	ลำดับ	Cr	Cd	Pb	Mn	Cu	Fe	Zn
1	0.001	nil	nil	0.002	0.005	0.378	0.069	1	0.003	nil	0.006	0.013	0.004	0.992	0.065
2	0.002	0.002	nil	nil	0.005	0.309	0.053	2	0.003	nil	0.005	0.002	0.006	0.302	0.054
3	0.001	0.002	nil	nil	0.005	0.589	0.071	3	0.002	nil	nil	0.004	0.003	0.097	0.042
4	0.001	nil	0.003	nil	0.004	0.224	0.053	4	0.002	nil	0.006	0.004	0.004	0.230	0.048
5	0.001	nil	nil	nil	0.003	0.154	0.054	5	0.001	nil	0.006	0.001	0.003	0.058	0.075
6	0.001	nil	0.003	nil	0.002	0.146	0.063	6	0.001	nil	0.004	0.003	0.002	0.046	0.069
7	0.003	0.001	0.003	nil	nil	0.174	0.083	7	0.002	nil	0.003	nil	0.002	0.041	0.080
8	0.003	nil	0.003	nil	0.004	0.123	0.066	8	0.003	nil	nil	0.003	0.003	0.040	0.089
9	0.002	nil	nil	nil	0.002	0.097	0.096	9	0.001	nil	nil	0.004	0.003	0.070	0.062
10	nil	nil	0.002	nil	0.003	0.048	0.067	10	0.001	nil	0.002	0.005	0.003	0.049	0.066
11	nil	nil	0.002	nil	0.002	0.044	0.064	11	nil	nil	0.003	0.002	0.003	0.047	0.078
12	nil	nil	nil	nil	0.004	0.102	0.064	12	nil	nil	nil	0.002	0.003	0.038	0.047
13	nil	0.002	0.003	nil	0.004	0.097	0.049	13	0.001	nil	0.002	0.005	0.002	0.048	0.059

หมายเหตุ : 1. ข้อมูลในกรอบใหญ่ (ลำดับ 7-13 และ 4-13) หมายถึง ภาวะการณ์ที่น้ำผ่านเกณฑ์ความขุ่น 5 NTU

2. ข้อมูลในกรอบเล็ก (ลำดับ 7 และ 4) หมายถึง ปริมาณโลหะหนักในภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้เกณฑ์ความขุ่น 5 NTU

ตารางที่ 4.12 ปริมาณโลหะหนักในน้ำที่ผลิตได้ภายหลังการทดสอบจาร์ในสภาวะที่เหมาะสม

โลหะหนัก	มาตรฐาน				วิธีการใช้กรดซัลฟูริก		วิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์	
	กปน.	สมอ.	WHO	EPA	ไม่คุมพีเอช	คุมพีเอช	ไม่คุมพีเอช	คุมพีเอช
Cr	0.05	0.05	0.05	0.05	0.002	0.001	0.003	0.002
Cd	-	0.01	0.005	0.01	0.002	0.001	0.001	nil
Pb	0.05	0.05	0.05	0.05	0.002	0.001	0.003	0.006
Mn	0.30	0.3	0.1	0.05	0.027	0.010	nil	0.004
Cu	1.0-3.0	1.0	1.0	1.0	0.001	0.002	nil	0.004
Fe	0.5	0.5	0.3	0.3	0.494	0.148	0.174	0.230
Zn	15	15	5.0	5.0	0.096	0.059	0.083	0.048

หมายเหตุ : กปน. = การประปานครหลวง

สมอ. = สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

WHO = World Health Organization

EPA = Environmental Protection Agency

(ดูภาคผนวก ค)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

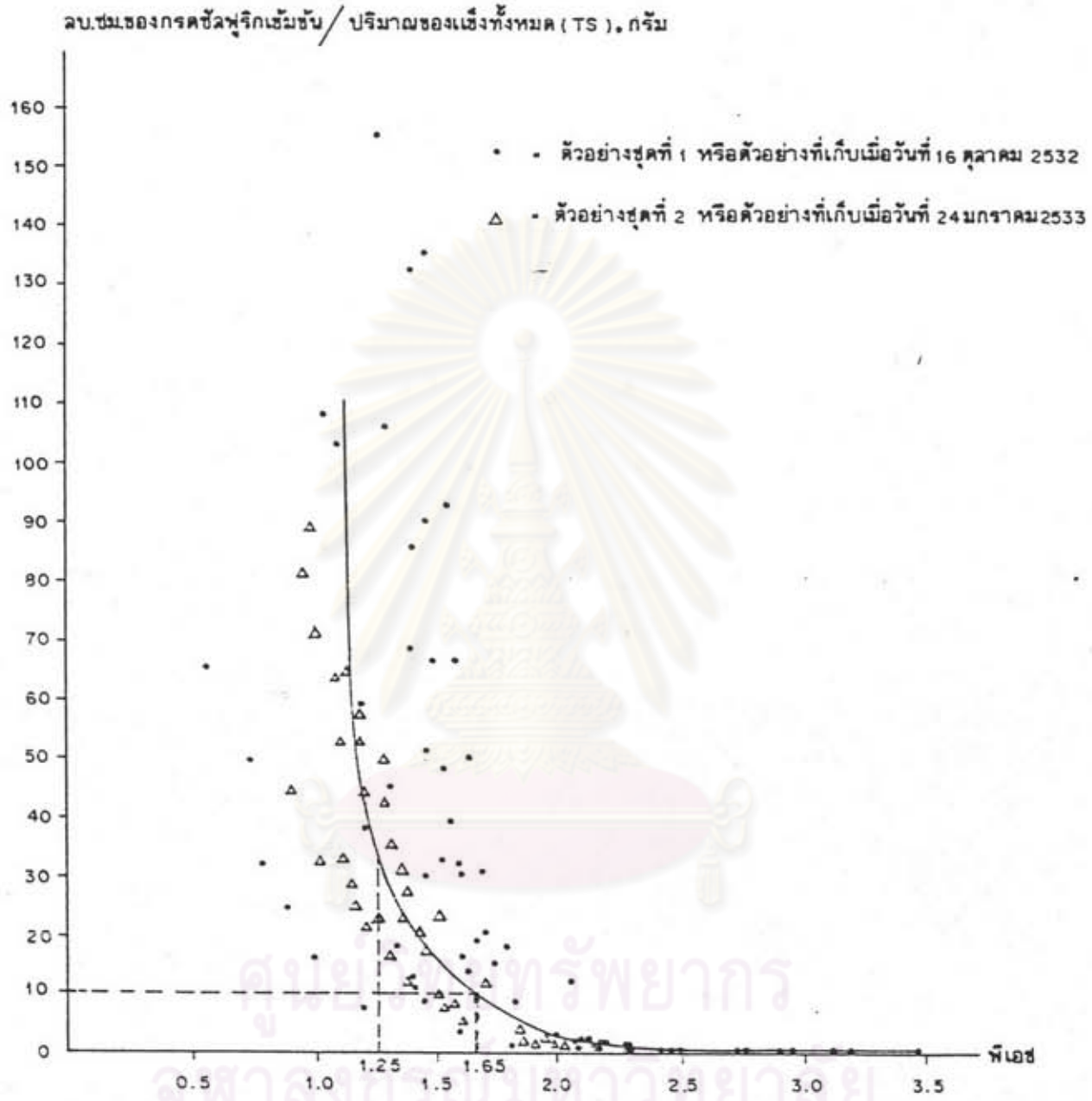
4.6 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายขั้นต้น

ในการนำกลับสารโคแอกกูแลนท์จากสลัดจ์อุตสาหกรรมอะลูมินัมนั้น ต้องมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะค่าใช้จ่ายขั้นต้นในการนำกลับสารโคแอกกูแลนท์ในสภาวะที่เหมาะสม รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการนำสารโคแอกกูแลนท์นำกลับที่ได้นี้ไปใช้ในการกำจัดความขุ่นของน้ำดิบต่อไป โดยจะได้เปรียบเทียบกับกรณีจริงในกิจการประปาของการประปานครหลวงด้วย

4.6.1 ค่าใช้จ่ายในการนำกลับสารโคแอกกูแลนท์ด้วยวิธีการใช้กรดซัลฟูริก

จากรูปที่ 4.5 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดเข้มข้นที่ใช้ต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด(TS) เทียบกับพีเอชของปฏิกิริยาเมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับรูปที่ 4.1 สามารถนำมาพิจารณาค่าใช้จ่ายในการนำกลับสารโคแอกกูแลนท์ด้วยวิธีการใช้กรดซัลฟูริกได้ดังตารางที่ 4.13

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 ปริมาณกรดซัลฟูริกเข้มข้นที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด(TS) เทียบกับพีเอชของปฏิกิริยา

ตารางที่ 4.13 ค่าใช้จ่ายในการนำกลับสารโคแอกกูแลนท์ด้วยวิธีการใช้กรดซัลฟูริก

		ร้อยละของค่าใช้จ่าย
ร้อยละของการนำกลับ	68	
พีเอชในการนำกลับ	1.65	
ปริมาณกรดเข้มข้นที่ใช้	10 ลบ.ซม. / กรัมกากตะกอนแห้ง (TS)	
ค่ากรด	= 105,000 บาท / ตันกากตะกอนแห้ง (TS)	98.56
ค่าพลังงาน	6 บาท / ตันกากตะกอน	
ค่าขนส่ง	150 บาท / ตันกากตะกอน	
ค่าจ้างเจ้าหน้างาน	227 บาท / ตันกากตะกอน	
ค่าพลังงาน+ค่าขนส่ง+ค่าจ้างเจ้าหน้างาน	383 บาท / ตันกากตะกอน	
	= 1,532 บาท / ตันกากตะกอนแห้ง (TS)	1.44
ค่ากรด+ค่าพลังงาน+ค่าขนส่ง+ค่าจ้างเจ้าหน้างาน	= 106,532 บาท / ตันกากตะกอนแห้ง (TS)	100
	= 318,101 บาท / ตันอะลูมิเนียม	
หรือค่าใช้จ่ายรวมในการนำกลับ	= 513 บาท / ลูกบาศก์เมตร สารโคแอกกูแลนท์นำกลับ	

หมายเหตุ ก) สมมุติไม่เสียค่าใช้จ่ายในด้านน้ำที่ต้องใช้ในการเจือจางสารละลาย

ข) ค่ากรด : คิดในราคาตลาดการค้า กำหนดให้กรดซัลฟูริกขนาดบรรจุ 20 ลิตร น้ำหนัก 35 กิโลกรัม ราคากิโลกรัมละ 6 บาท

ค) ค่าพลังงาน : กำหนดให้ใช้พลังงานในการผสมเพื่อทำปฏิกิริยาเท่ากับ 1 แรงม้า/ลูกบาศก์เมตรของถังปฏิกิริยา ระยะเวลาผสม 5 นาที และ อัตราค่าไฟฟ้าเท่ากับ 2 บาท / หน่วย

ง) ค่าขนส่ง : กำหนดให้รถบรรทุกสามารถบรรทุกตะกอนได้ 10 ตัน / เที่ยว เที่ยวละ 1,500 บาท สำหรับระยะทางประมาณ 80 กิโลเมตร

จ) ค่าจ้างเจ้าพนักงาน : กำหนดให้ 1 คน ค่าจ้าง 5,000 บาท / เดือน

<u>การคำนวณ</u>

1) ปริมาณกรดเข้มข้นที่ใช้ : พิจารณาจากกราฟในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.5 ที่พีเอชของปฏิกิริยาเท่ากับ 1.65 และประสิทธิภาพการนำกลับร้อยละ 68 คิดเป็นปริมาณกรดที่ใช้ต่อปริมาณกากตะกอนแห้ง (TS) เท่ากับ 10 ลบ.ซม./กรัมกากตะกอนแห้ง (TS)

2) ค่ากรด : คิดในราคาตลาดการค้าโดยที่กรดซัลฟูริก 20 ลิตร น้ำหนัก 35 กิโลกรัม ราคากิโลกรัมละ 6 บาท จะได้ว่ากรด 10 ลบ.ซม./กรัมกากตะกอนแห้ง (TS) คิดเป็นค่าใช้จ่ายเท่ากับ 0.105 บาท/กรัม หรือ 105,000 บาท/ตันกากตะกอนแห้ง

3) ค่าพลังงาน : กำหนดให้ใช้พลังงานในการผสมเพื่อทำปฏิกิริยา เท่ากับ 1 แรงม้า/ลูกบาศก์เมตรของถังปฏิกิริยาระยะเวลาผสม 5 นาที และอัตราค่าไฟฟ้าเท่ากับ 2 บาท/หน่วย จะได้ว่า

$$\text{ค่าพลังงาน} = \frac{0.746 \text{ กิโลวัตต์}}{1 \text{ แรงม้า}} \times \frac{5 \text{ ชั่วโมง}}{60} \times 2 \text{ บาท/หน่วย}$$

$$= 0.12 \text{ บาท/ลูกบาศก์เมตร}$$

$$= \frac{0.12 \text{ บาท/ลูกบาศก์เมตร}}{20 \text{ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร}}$$

$$= 6 \text{ บาท/ตันกากตะกอน}$$

(ดูหัวข้อ 3.2.1 สมมุติให้ปริมาณตะกอนที่ใช้ในการนำกลับเป็น 10 กรัม/500 ลบ.ซม. หรือคิดเป็น 20 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

4) ค่าขนส่ง : กำหนดให้รถบรรทุกสามารถบรรทุกกากตะกอนได้ 10 ตัน/เที่ยว โดยเสียค่าใช้จ่ายเที่ยวละ 1,500 บาท สำหรับระยะทางประมาณ 80 กิโลเมตร

ดังนั้นจะได้ว่า ค่าขนส่ง = $\frac{1500}{10}$ บาท/ตัน = 150 บาท/ตันกากตะกอน

5) ค่าจ้างเจ้าพนักงาน : กำหนดให้มีเจ้าพนักงาน 1 คน โดยให้อัตราค่าจ้างเท่ากับ 5,000 บาท/เดือน ในแต่ละวันสามารถนำกลับสารโคแอกกูแลนท์โดยใช้กากตะกอนวันละ 1 ตัน ดังนั้นถ้าทำงานเดือนละ 22 วัน จะใช้กากตะกอน 22 ตัน นั่นคือค่าจ้างเจ้าพนักงาน

= $\frac{5,000}{22}$ บาท/ตันกากตะกอน = 227 บาท/ตันกากตะกอน

6) ค่าใช้จ่ายรวม ได้แก่

ค่ากรด	= 105,000	บาท/ตันกากตะกอนแห้ง
ค่าพลังงาน	6	บาท/ตันกากตะกอน
ค่าขนส่ง	150	บาท/ตันกากตะกอน
ค่าจ้างเจ้าพนักงาน	227	บาท/ตันกากตะกอน
ค่าพลังงาน+ค่าขนส่ง+ค่าจ้างเจ้าพนักงาน	383	บาท/ตันกากตะกอน

สมมุติให้ตากตะกอนจนแห้งและมีปริมาณความชื้นของกากตะกอนเท่ากับร้อยละ 75 ดังนั้น

ค่าพลังงาน+ค่าขนส่ง+ค่าจ้างเจ้าพนักงาน = 383 บาท/0.25 ตันกากตะกอนแห้ง (TS)

= 1,532 บาท/ตันกากตะกอนแห้ง (TS)

ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด = 106,532 บาท/ตันกากตะกอนแห้ง (TS)

= 318,101 บาท/ตันอะลูมินัม

(หมายเหตุ : ในตัวอย่างที่ 5 มีอะลูมินัมในกากตะกอนแห้งร้อยละ 33.49)

สำหรับสารโคแอกกูแลนท์นำกลับที่ใช้ในการทดสอบจาร์มีอะลูมินัม 1,096 มิลลิกรัม/ลิตร หรือคิดเป็น 1.096 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ ซึ่งเท่ากับ 1.096×10^{-3} ตัน/ลูกบาศก์เมตรสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ

ในการนำกลับอะลูมินัมที่พีเอช 1.65 ประสิทธิภาพการนำกลับเท่ากับร้อยละ 68 ดังนั้น อะลูมินัม 1 ตัน คิดเป็นอะลูมินัมในสารโคแอกกูแลนท์เท่ากับ 0.68 ตัน ซึ่งคิดเป็นสารโคแอกกูแลนท์ได้เท่ากับ 620 ลูกบาศก์เมตร

ค่าใช้จ่ายรวมในการนำกลับ = $\frac{318,101}{620}$ บาท/ลูกบาศก์เมตรสารโคแอกกูแลนท์-นำกลับ

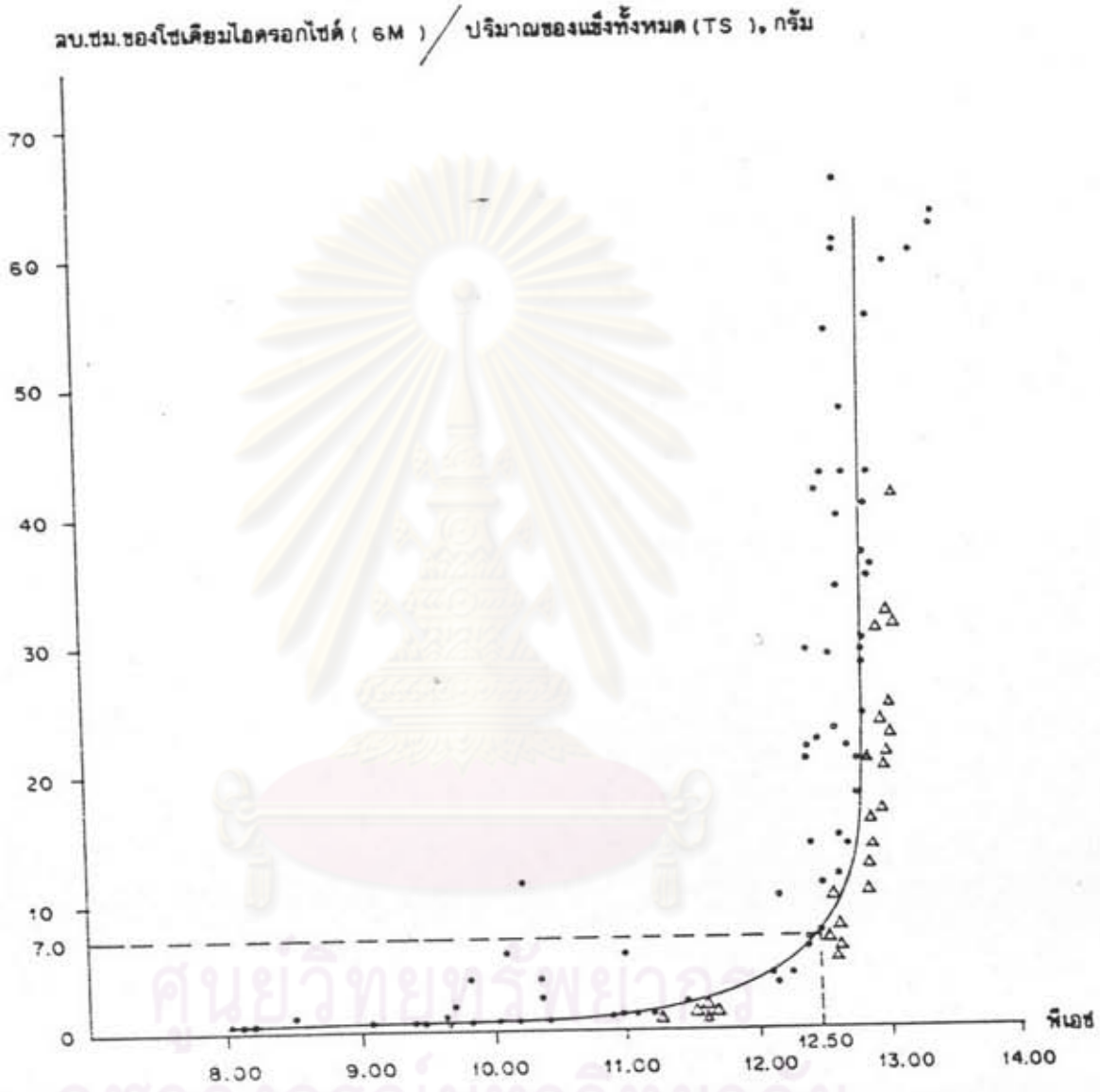
= -513 บาท/ลูกบาศก์เมตรสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ

เมื่อเทียบร้อยละของค่าใช้จ่ายในการนำกลับทั้งหมด เห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายหลักมาจากค่ากรดซึ่งใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ เป็นค่าใช้จ่ายถึงร้อยละ 98.56 ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด ส่วนค่าพลังงาน ค่าขนส่งและค่าจ้างเจ้าพนักงานรวมกันเพียงร้อยละ 1.44 เท่านั้น

4.6.2 <u>ค่าใช้จ่ายในการนำกลับสารโคแอกกูแลนท์ด้วยวิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์</u>

จากรูปที่ 4.6 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ที่ใช้ต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) เทียบกับพีเอชของปฏิกิริยา เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับรูปที่ 4.6 สามารถนำมาพิจารณาค่าใช้จ่ายในการนำกลับสารโคแอกกูแลนท์ด้วยวิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ดังตารางที่ 4.14 ซึ่งสามารถคำนวนได้ดังนี้ คือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (6โมลาร์) ที่ใช้ต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) เทียบกับพีเอชของปฏิกิริยา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 ค่าใช้จ่ายในการนำกลับสารโคแอกกูแลนท์ด้วยวิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์

			ร้อยละของค่าใช้จ่าย
ร้อยละของการนำกลับ	40		
พีเอชในการนำกลับ	12.50		
ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ ที่ใช้	7 ลบ.ซม. / กรัมกากตะกอนแห้ง (TS)		
ค่าด่าง	= 32,000 บาท / ตันกากตะกอนแห้ง (TS)		95.43
ค่าพลังงาน	6 บาท / ตันกากตะกอน		
ค่าขนส่ง	150 บาท / ตันกากตะกอน		
ค่าจ้างเจ้าพนักงาน	227 บาท / ตันกากตะกอน		
ค่าพลังงาน+ค่าขนส่ง+ค่าจ้างเจ้าพนักงาน	383 บาท / ตันกากตะกอน		
	= 1,532 บาท / ตันกากตะกอนแห้ง (TS)		4.57
ค่าด่าง+ค่าพลังงาน+ค่าขนส่ง+ค่าจ้างเจ้าพนักงาน	= 33,532 บาท / ตันกากตะกอนแห้ง (TS)		100
	= 100,125 บาท / ตันอะลูมิเนียม		
หรือค่าใช้จ่ายรวมในการนำกลับ	= 226 บาท / ลูกบาศก์เมตร สารโคแอกกูแลนท์นำกลับ		

หมายเหตุ ก) สมมุติไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านน้ำที่ต้องใช้ในการเจือจางสารละลาย

ข) ค่าด่าง : คิดในราคาตลาดการค้า กำหนดให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ขนาดบรรจุ 1 กิโลกรัม ราคา 28 บาท

ค) ค่าพลังงาน ค่าขนส่งและค่าจ้างเจ้าพนักงาน เหมือนกับวิธีการใช้กรดซัลฟูริก

<u>การคำนวณ</u>

1) ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ที่ใช้ : พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.6 ที่มีเอชของปฏิกิริยาเท่ากับ 12.50 และประสิทธิภาพการนำกลับร้อยละ 40 คิดเป็นปริมาณด่างที่ใช้ต่อปริมาณกากตะกอนแห้ง (TS) เท่ากับ 7 ลบ.ซม./กรัมกากตะกอนแห้ง (TS)

2) ค่าด่าง : กำหนดให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ราคา 18.50 บาท/กิโลกรัม ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ จำนวน 7 ลบ.ซม./กรัมกากตะกอนแห้ง (TS) คิดเป็นเงินเท่ากับ 0.032 บาท/กรัม(โซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ เตรียมจากนำสารละลายของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 625 กรัม/น้ำ 1 ลิตร (นำมาจำนวน 400 มิลลิลิตรแล้วทำให้เป็น 1 ลิตร:1 ลบ.ซม.มี NaOH 0.25 กรัม) หรือคิดเป็น 32,000 บาท/ตันกากตะกอนแห้ง

3) ค่าพลังงาน : เหมือนกับวิธีการใช้กรด ได้เท่ากับ 6 บาท/ตันกากตะกอน

4) ค่าขนส่ง : เหมือนกับวิธีการใช้กรด ได้เท่ากับ 150 บาท/ตันกากตะกอน

5) ค่าจ้างเจ้าพนักงาน : เหมือนกับวิธีการใช้กรด ได้เท่ากับ 227 บาท/ตันกากตะกอน

6) ค่าใช้จ่ายรวม ได้แก่

ค่าด่าง = 32,000 บาท/ตันกากตะกอนแห้ง (TS)

ค่าพลังงาน = 6 บาท/ตันกากตะกอน

ค่าขนส่ง = 150 บาท/ตันกากตะกอน

ค่าจ้างเจ้าพนักงาน = 227 บาท/ตันกากตะกอน

ค่าพลังงาน+ค่าขนส่ง+ค่าจ้างเจ้าพนักงาน = 383 บาท/ตันกากตะกอน

= 1,532 บาท/ตันกากตะกอนแห้ง (TS)

(สมมติให้ตากกะกอนจนแห้งและมีปริมาณความชื้นของกากตะกอนเท่ากับร้อยละ 75)

ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด = 33,532 บาท/ตันกากตะกอนแห้ง (TS)

= 100,125 บาท/ตันอะลูมินัม

(หมายเหตุ : ในตัวอย่างที่ 5 มีอะลูมินัมในกากตะกอนแห้งร้อยละ 33.49)

สำหรับสารโคแอกกูแลนท์นำกลับด้วยวิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งใช้ในการทดสอบจาร์

มีอะลูมินัม 900 มิลลิกรัม/ลิตร หรือคิดเป็น 0.90 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ ซึ่งเท่ากับ 9.0×10^{-4} ตัน/ลูกบาศก์เมตรสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ

ในการนำกลับอะลูมินัมด้วยวิธีการนี้พีเอช 12.50 ประสิทธิภาพการนำกลับเท่ากับร้อยละ 40 ดังนั้นอะลูมินัม 1 ตัน คิดเป็นอะลูมินัมในสารโคแอกกูแลนท์ เท่ากับ 0.4 ตัน ซึ่งคิดเป็นสารโคแอก-กูแลนท์ได้ เท่ากับ 444 ลูกบาศก์เมตร

ค่าใช้จ่ายรวมในการนำกลับ $= \frac{100,125}{444}$ บาท/ลูกบาศก์เมตรสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ

$= 226$ บาท/ลูกบาศก์เมตรสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ

เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของค่าใช้จ่ายในการนำกลับทั้งหมดพบว่าค่าด่างที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็นค่าใช้จ่ายหลักถึงร้อยละ 95.43 ส่วนค่าพลังงาน ค่าขนส่ง และค่าจ้างเจ้าพนักงาน รวมกันเพียงร้อยละ 4.57 เท่านั้น

4.6.3 <u>ค่าใช้จ่ายในการนำสารโคแอกกูแลนท์ไปใช้ในการกำจัดความขุ่นของน้ำดิบ</u>

การพิจารณาค่าใช้จ่ายในการนำสารโคแอกกูแลนท์นำกลับที่ได้จากวิธีการใช้กรดซัลฟูริกและวิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ไปใช้ในการกำจัดความขุ่นของน้ำดิบ พิจารณาโดยใช้ค่าความขุ่น 5 NTU เป็นเกณฑ์วินิจฉัยในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนความขุ่นของน้ำเช่น-เดียวกับที่กล่าวแล้วข้างต้น

จากข้อมูลในตารางที่ 4.5 สำหรับกรณีการใช้กรดซัลฟูริก (ข้อมูลลำดับที่ 6 สำหรับการไม่คุมพีเอชและข้อมูลลำดับที่ 4 กรณีคุมพีเอช) และในตารางที่ 4.6 สำหรับกรณีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ข้อมูลลำดับที่ 7 กรณีไม่คุมพีเอชและข้อมูลลำดับที่ 4 กรณีคุมพีเอช) ปริมาณสารโคแอกกูแลนท์ที่ใช้ในสภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้ค่าความขุ่น 5 NTU เป็นเกณฑ์ สามารถนำมาคำนวณค่าใช้จ่ายได้ดังในตารางที่ 4.15

จากข้อมูลในตาราง 4.15 เห็นได้ว่า สำหรับวิธีการใช้กรด ค่าใช้จ่ายในการใช้สารโคแอก-กูแลนท์นำกลับกำจัดความขุ่น กรณีคุมพีเอชมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่ากรณีไม่คุมพีเอช คือ มีค่าใช้จ่าย 0.87 และ

ตารางที่ 4.15 ค่าใช้จ่ายในการนำสารโคแอกกูแลนท์นำกลับไปใช้ในการกำจัดความขุ่น

วิธีการใช้กรด	ไม่คุมพีเอช	ปริมาณสารโคแอกกูแลนท์นำกลับที่ใช้	=	1.5	ลบ.ซม./ลิตรของตัวอย่างน้ำรวม
		ค่าสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ	=	0.77	บาท/ลูกบาศก์เมตรของตัวอย่างน้ำรวม
		ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ ที่ใช้ในการปรับพีเอชกลับมาที่ 7	=	0.3	ลบ.ซม./ลิตรของตัวอย่างน้ำรวม
		ค่าด่างในการปรับพีเอชกลับมาที่ 7	=	1.39	บาท/ลูกบาศก์เมตรของตัวอย่างน้ำรวม
			รวม =	2.16	บาท/ลูกบาศก์เมตรของตัวอย่างน้ำรวม
	คุมพีเอช	ปริมาณสารโคแอกกูแลนท์นำกลับที่ใช้	=	0.8	ลบ.ซม./ลิตรของตัวอย่างน้ำรวม
		ค่าสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ	=	0.41	บาท/ลูกบาศก์เมตรของตัวอย่างน้ำรวม
		ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ สำหรับควบคุมพีเอช	=	0.1	ลบ.ซม./ลิตรของตัวอย่างน้ำรวม
		ค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์	=	0.46	บาท/ลูกบาศก์เมตรของตัวอย่างน้ำรวม
			รวม =	0.87	บาท/ลูกบาศก์เมตรของตัวอย่างน้ำรวม
วิธีการใช้ด่าง	ไม่คุมพีเอช	ปริมาณสารโคแอกกูแลนท์นำกลับที่ใช้	=	5.0	ลบ.ซม./ลิตรของตัวอย่างน้ำรวม
		ค่าสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ	=	1.13	บาท/ลูกบาศก์เมตรของตัวอย่างน้ำรวม
		ปริมาณกรดซัลฟูริก 3 โมลาร์ ที่ใช้ในการปรับพีเอชกลับมาที่ 7	=	2.0	ลบ.ซม./ลิตรของตัวอย่างน้ำรวม
		ค่ากรดในการปรับพีเอชกลับมาที่ 7	=	0.59	บาท/ลูกบาศก์เมตรของตัวอย่างน้ำรวม
			รวม =	1.72	บาท/ลูกบาศก์เมตรของตัวอย่างน้ำรวม
	คุมพีเอช	ปริมาณสารโคแอกกูแลนท์นำกลับที่ใช้	=	3.5	ลบ.ซม./ลิตรของตัวอย่างน้ำรวม
		ค่าสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ	=	0.79	บาท/ลูกบาศก์เมตรของตัวอย่างน้ำรวม
		ปริมาณกรดซัลฟูริก 3 โมลาร์ สำหรับควบคุมพีเอช	=	3.4	ลบ.ซม./ลิตรของตัวอย่างน้ำรวม
		ค่ากรดซัลฟูริก	=	1.00	บาท/ลูกบาศก์เมตรของตัวอย่างน้ำรวม
			รวม =	1.79	บาท/ลูกบาศก์เมตรของตัวอย่างน้ำรวม

2.16 บาทต่อลูกบาศก์เมตรของตัวอย่างน้ำรวม ตามลำดับ ส่วนวิธีการใช้ด่างค่าใช้จ่ายกรณีไม่คุมบีเอชมีค่าต่ำกว่ากรณีคุมบีเอช กล่าวคือมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 1.72 และ 1.79 บาทต่อลูกบาศก์เมตรของตัวอย่างน้ำรวม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายกรณีที่คุมบีเอชจะเห็นว่าวิธีการใช้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับจากวิธีการใช้กรดจะมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการใช้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับจากวิธีการใช้ด่าง ส่วนกรณีไม่คุมบีเอชค่าใช้จ่ายสำหรับการใช้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับจากวิธีการใช้ด่างต่ำกว่าค่าใช้จ่ายจากวิธีการใช้กรดและเมื่อเปรียบเทียบแต่ละวิธีเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายกรณีการใช้สารโคแอกกูแลนท์นำกลับจากวิธีการใช้กรดซัลฟูริก สำหรับกำจัดความขุ่นกรณีคุมบีเอชมีค่าใช้จ่ายต่ำสุด

4.6.4 <u>ค่าใช้จ่ายในการนำสารโคแอกกูแลนท์นำกลับด้วยวิธีการใช้กรดซัลฟูริกไปใช้ในการกำจัดความขุ่นของน้ำดิบเปรียบเทียบกับการใช้สารส้มน้ำของการประปานครหลวง</u>

การพิจารณาค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบนี้ได้ตั้งสมมติฐานว่าค่าใช้จ่ายในส่วนที่เป็นค่าจ้างเจ้าหน้าที่งาน ค่าพลังงานและค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำโคแอกกูเลชั่น(หรือกวนเร็วและกวนช้า) เพื่อกำจัดความขุ่นของน้ำดิบสำหรับโรงประปา มีค่าเท่ากันทั้งสารส้มน้ำนำกลับ (หรือสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ) และสารส้มบริสุทธิ์ ดังนั้นค่าใช้จ่ายในส่วนที่แตกต่างกัน คือค่าใช้จ่ายในการผลิตสารส้มน้ำในรูปของสารส้มนำกลับเทียบกับราคาซื้อของสารส้มบริสุทธิ์นั่นเอง

ในการกำจัดความขุ่นของน้ำดิบโดยใช้สารส้มน้ำสำหรับกิจการประปาของการประปานครหลวง สำหรับตัวอย่างน้ำดิบในวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2533 อันเป็นตัวอย่างที่เก็บในวันเดียวกันกับตัวอย่างน้ำดิบที่ใช้ทดสอบจาร์ด้วยสารโคแอกกูแลนท์นำกลับ พบว่าในกิจการประปาของการประปานครหลวงใช้สารส้มน้ำในการทดสอบจาร์ประมาณ 26 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของสารส้มน้ำ 50 % $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ (ราคา 3,200 บาท/ตัน) คิดเป็นค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 0.16 บาทต่อลูกบาศก์เมตรของตัวอย่างน้ำ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการใช้สารส้มน้ำนำกลับแล้ว พบว่าการใช้สารส้มบริสุทธิ์มีค่าใช้จ่ายถูกกว่าการใช้สารส้มน้ำนำกลับมาก แต่ไม่ควรมองในด้านของค่าใช้จ่ายอย่างเดียวเพราะเมื่อพิจารณาถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน เห็นได้ว่านับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้น ทั้งนี้ก็สืบเนื่องมาจากความเติบโตทางเศรษฐกิจ การพัฒนาทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ อันก่อให้เกิดของเสียต่าง ๆ มากมายทั้งที่เกิดจากกระบวนการผลิตหรือการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาปริมาณตะกอนเกิดขึ้นอย่างมาก การนำไปกำจัดอย่างไม่ถูกวิธีย่อมจะทำให้สารพิษต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนแพร่กระจายไปสู่สิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่าง

ยิ่งการปนเปื้อนลงสู่น้ำใต้ดิน อันจะทำให้คุณภาพน้ำเลวลงและยังแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างได้อีกด้วย การพัฒนารูปแบบในการนำกากของเสียกลับมาใช้ใหม่นี้ จึงมีประโยชน์อย่างยิ่งในการที่จะช่วยดำรงไว้ซึ่งคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่ดี ส่วนในด้านค่าใช้จ่ายในการนำกลับที่ยังสูงอยู่นั้น เราก็ยังสามารถที่จะศึกษาและพัฒนารูปแบบที่ดีกว่านี้ต่อไปได้อีก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย