ภาคผนวก ก

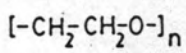
สารโพลีอีเล็คโทรไลต์

(Polyelectrolyte)

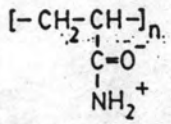
โพลีอีเล็คโทรไลท์ (Polyelectrolyte)

โพลีเมอร์เป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์ ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยอนุมูล (ซึ่งเรียกว่า monomer) ต่อกันเป็นเส้นยาว โดยอาจเป็นเส้นตรง ๆ หรือมีการแตกแขนงก็ได้ อนุมูลของโพลีเมอร์บางชนิดจะมีหมู่ที่แตกตัวได้ (ionizable group) ซึ่งจะทำให้โพลีเมอร์มีประจุ เราเรียกโพลีเมอร์ชนิดนี้ว่า โพลีอีเล็คโทรไลท์ (polyelectrolyte) ซึ่งจะมีทั้งชนิดที่เป็นประจุบวก ประจุลบ และเป็นกลาง (ดูภาพ)

เนื่องจากโพลีเมอร์เป็นสารอินทรีย์ จึงสามารถสลายตัวได้ง่ายกว่าโคแอกกูแลนท์อื่น ๆ ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ จึงไม่ควรเก็บโพลีเมอร์ไว้เป็นเวลานาน ๆ นอกจากนี้แล้วสารนี้ละลายน้ำได้ยาก จึงควรทำตามคำแนะนำของผู้ผลิต

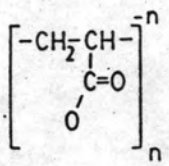


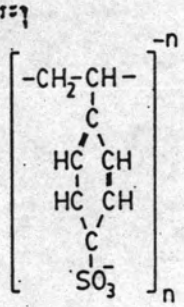
Polyethylene oxide



Polyacrylamide (PAM)

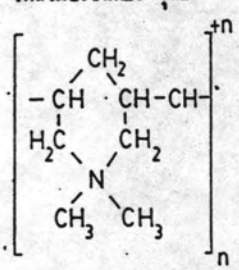
(ก) โพลิเมอร์ชนิดไม่มีประจุ





Polyacrylic acid (PAA) Polystyrene sulfonate (PSS)

(ข) โพลิเมอร์ชนิดประจุลบ



Polydiallyldimethylammonium (PDADMA)

(ค) โพลิเมอร์ชนิดประจุบวก

รูปที่ ผ-1 ตัวอย่างสูตรโครงสร้างของโพลีเมอร์ที่มีประจุต่างกัน

ภาคผนวก ข

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง Jar test

ตารางที่ ข1 ข้อมูลที่ได้จากการใช้แมกนีเซียมคลอไรด์กำจัดซิลิกา

พารามิเตอร์ / ปริมาณ (mM)	ซิลิกา (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	ไอออนโลหะที่เหลือ (mg/L)	ความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ความสูงชั้นตะกอน (มม)	พีเอช (pH)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
1	53	.4	24.0	30	-	9.1	5.4
2	53	.4	48.4	30	-	9.1	5.4
3	48	.4	72.2	28	-	9.1	14.3
4	51	.4	97.1	30	-	9.1	8.9
5	50	.4	121.0	28	-	9.1	10.7
6	50	.4	139.4	30	-	9.1	10.7
1	47	.4	24.0	50	-	9.6	16.1
2	45	.6	47.3	48	-	9.7	19.6
3	38	1.6	72.2	48	-	9.6	32.1
4	41	3.4	94.6	48	-	9.6	26.8
5	43	7.5	113.2	48	-	9.5	23.2
6	43	13.0	136.9	48	-	9.55	23.2
1	34.5	7.0	7.5	88	-	10.15	38.4
2	19.3	.8	11.2	88	10	10.15	65.5
3	7.0	.6	21.2	85	12	10.1	87.5
4	7.5	.4	28.6	86	17	10.15	86.6
5	3.0	.4	36.1	86	17	10.2	94.6
6	2.0	.4	56.0	80	18	10.1	96.4
1	30.5	.5	2.0	96	5	10.5	45.5
2	16.8	.4	1.7	96	13	10.65	70.0
3	7.5	.5	2.5	100	16	10.7	86.6
4	3.9	.4	3.5	98	17	10.7	93.0
5	2.5	.4	5.0	96	18	10.75	95.5
6	3.0	.4	5.0	100	20	10.7	94.6

ตารางที่ ข1 (ต่อ)

พารามิเตอร์ / ปริมาณ (mM)	ซิลิกา (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	ไอออนโลหะ (mg/L)	ความเป็นด่าง (mg/L $CaCO_3$)	ความสูงชั้นตะกอน (มม)	พีเอช (pH)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
1	35.0	.7	1.0	280	8	11.2	37.5
2	22.5	.6	1.0	230	13	11.1	59.8
3	12.5	.5	1.0	222	15	11.15	77.7
4	6.5	.5	1.0	260	15	11.1	88.4
5	5.4	.5	1.0	240	17	11.1	90.4
6	4.9	.5	1.0	250	18	11.0	91.3
1	38.75	.4	1.0	758	6	11.7	30.8
2	33.5	.4	1.0	756	11	11.7	40.2
3	30.0	.5	1.0	704	12	11.7	46.4
4	20.8	.7	1.5	656	11	11.65	62.9
5	19.8	.4	1.0	632	11	11.7	64.6
6	19.4	.4	1.5	636	11	11.7	65.4
1	44.5	.6	1.0	1635	5	12.0	20.5
2	41.0	.6	1.5	1710	8	12.1	26.8
3	3.5	.7	1.0	1720	10	12.1	37.5
4	34.5	.6	1.0	1710	11	12.1	38.4
5	34.0	.6	1.0	1640	11	12.1	39.3
6	31.0	.6	1.0	1660	10	12.1	44.6

ตารางที่ ข2 ข้อมูลที่ได้จากการใช้แคลเซี่ยมคลอไรด์กำจัดซิลิกา

พารามิเตอร์ / ปริมาณ (mM)	ซิลิกา (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	ไอออนของโลหะ (mg/L)	ความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ความสูงชั้นตะกอน (มม)	พี เอช (pH)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	ความนำไฟฟ้า (umho/cm)
1	58	.4	139.0	28	-	9.25	-	900
2	58	.4	261.6	30	-	9.2	-	1450
3	54	.4	388.4	30	-	9.2	6.9	2000
4	55	.4	502.8	30	-	9.2	5.2	2500
5	56	.4	637.8	30	-	9.2	3.4	3000
6	56	.4	744.05	30	-	9.2	3.4	3400
1	58	.4	139.0	44	-	9.6	-	900
2	56	.4	257.6	40	-	9.6	3.4	1450
3	54.5	.4	388.4	40	-	9.6	6.0	2000
4	55	.4	515.1	42	-	9.55	5.2	2500
5	56	.4	637.8	42	-	9.6	3.4	3000
6	55	.4	768.6	46	-	9.65	5.2	3450
1	58	.4	130.8	68	-	10.1	-	880
2	56	.4	273.9	64	-	10.05	3.4	1400
3	54	.4	384.3	68	-	10.1	6.9	2000
4	56	.4	515.1	67	-	10.1	3.4	2500
5	55	.4	629.6	64	-	10.1	5.2	3000
6	54	.4	735.9	66	-	10.1	6.9	3400
1	57	.4	130.8	106	-	10.55	1.7	880
2	54	.4	257.6	102	-	10.5	6.9	1480
3	54	.4	376.1	108	-	10.55	6.9	2000
4	54.5	.4	523.3	100	-	10.5	6.0	2550
5	55	.4	629.6	104	-	10.5	5.2	3000
6	55	.4	735.9	104	-	10.5	5.2	3450

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

พารามิเตอร์ / ปริมาณ (mM)	ซิลิกา (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	ไอออนของโลหะ (mg/L)	ความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ความสูงชั้นตะกอน (มม)	พีเอช (pH)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	ความนำไฟฟ้า (umhos/cm)
1	55	.6	134.9	140	-	11.0	5.2	1350
2	50	.8	261.6	140	-	11.0	13.8	1600
3	46	.6	359.8	130	-	11.0	20.7	2200
4	45	.7	474.2	140	-	11.0	22.4	2600
5	42	.6	580.5	140	-	11.0	27.6	3200
6	41	.6	686.8	140	-	11.1	29.3	3550
1	45	1.0	89.9	504	-	11.55	22.4	2650
2	43.5	1.0	188.1	490	-	11.5	25.0	3000
3	43	1.0	318.9	478	-	11.5	25.9	3350
4	40.5	3.0	433.3	482	-	11.5	30.2	3850
5	39	6.0	547.8	510	-	11.55	32.8	4180
6	38	7.5	678.6	514	-	11.6	34.5	4650
1	45	7.0	28.6	1300	-	12.1	22.4	6400
2	17.25	6.0	30.4	1260	5	12.1	70.3	6500
3	8.75	5.2	32.7	1215	8	12.1	84.9	6600
4	5.0	5.5	44.9	1206	8	12.05	91.4	7000
5	4.0	3.4	73.6	1220	8	12.1	93.1	7200
6	3.5	3.0	94.0	1233	8	12.1	94.0	7200

ตารางที่ ข3 ข้อมูลที่ได้จากการใช้อลูมินัมซัลเฟตกำจัดซิลิกา

พารามิเตอร์ / ปริมาณ (mM)	ซิลิกา (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	ไอออนของโลหะ (mg/L)	ความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ความสูงชั้นตะกอน (มม)	พีเอช (pH)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	ความนำไฟฟ้า (umhos cm)
1	39	.4	.03	2	11	5.2	31.6	820
2	37	.4	.048	4	13	5.2	35.1	1000
3	32	.4	.06	2	16	5.2	43.9	1600
4	35.5	.4	.08	3	20	5.1	37.7	1950
5	32	.4	.09	3	22	5.1	43.9	2250
6	30.5	.4	.19	3	28	5.1	46.5	2550
1	35.5	.4	.03	3	10	5.65	37.7	790
2	31	.4	.05	3	13	5.6	45.6	1240
3	22.5	.6	.06	3	17	5.7	60.5	1650
4	23.5	.4	.09	4	21	5.8	58.8	2000
5	28	.7	.15	3	24	5.5	50.9	2300
6	27	.4	.19	6	28	5.6	52.6	2600
1	32.5	.4	.09	3	10	5.8	43.0	770
2	25.5	.4	.09	5	13	5.9	55.3	1100
3	20.0	.4	.10	4	17	5.9	64.9	1480
4	19.5	.4	.105	5	22	6.0	65.8	1700
5	17.5	.5	.15	4	23	5.9	69.3	2200
6	17.5	.6	.16	5	28	6.1	69.3	2350
1	28	.9	.12	6	10	6.6	50.9	780
2	7	.5	.20	8	14	6.6	87.7	1220
3	11	.4	.25	5	16	6.6	80.7	1500
4	9	.4	.28	6	22	6.6	84.2	1750
5	6	.4	.3	6	25	6.6	89.5	2050
6	12.5	.4	.35	6	29	6.4	78.1	2200

ตารางที่ ข3 (ต่อ)

พารามิเตอร์ / ปริมาณ (mM)	ซิลิกา (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	ไอออนของโลหะ (mg/L)	ความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ความสูงชั้นตะกอน (มม)	พีเอช (pH)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	ความนำไฟฟ้า (umhos/cm)
1	16.3	.4	.23	10	10	6.9	71.4	850
2	8.8	.4	.35	8	13	6.95	84.6	1220
3	5.5	.4	.39	9	18	6.9	90.4	1550
4	5.1	.5	.39	9	22	6.9	91.1	1850
5	6.0	.5	.4	9	25	6.9	89.5	2100
6	6.0	.4	.45	9	29	6.9	89.5	2350
1	14.0	.6	.6	18	8	7.45	75.4	820
2	4.8	.8	.68	20	13	7.5	91.6	1260
3	1.5	.7	.7	14	18	7.6	97.4	1600
4	2.5	.5	.8	14	22	7.5	95.6	1800
5	2.3	.5	1.85	18	25	7.55	96	2150
6	2.4	.6	2.0	16	28	7.55	95.8	2350
1	11.0	.7	2.35	16	8	8.0	80.7	820
2	2.6	.4	2.4	16	13	7.8	95.4	1250
3	0.9	.5	3.65	24	17	7.9	98.4	1650
4	0.5	.5	4.8	26	22	8.2	99.1	1850
5	0.5	.4	5.5	20	24	7.9	99.1	2100
6	0.4	.5	5.9	20	27	8.0	99.3	2350
1	10.8	2.7	3.5	40	5	8.7	81.0	860
2	3.5	.5	3.95	34	11	8.4	93.9	1240
3	0.4	.4	4.0	36	15	8.5	99.3	1620
4	0.3	.4	5.5	45	20	8.45	99.5	1880
5	0.2	.4	6.0	43	24	8.5	99.6	2100
6	0.4	.4	7.0	45	27	8.7	99.3	2400

ตารางที่ ข3 (ต่อ)

พารามิเตอร์ / ปริมาณ (mM)	ซิลิกา (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	ไอออนของโลหะ (mg/L)	ความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ความสูงชั้นตะกอน (มม)	พีเอช (pH)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	ความนำไฟฟ้า (μmhos/cm)
1	10.5	4.0	10.4	86	-	8.9	81.6	870
2	3.9	2.5	12.7	84	10	9.1	93.2	1260
3	2.1	1.8	15.0	90	15	9.15	96.3	1680
4	.7	1.5	17.5	86	20	9.15	98.8	1980
5	.4	1.6	19.75	92	22	9.05	99.3	2250
6	.4	1.2	20.5	93	25	9.2	99.3	2600

ตารางที่ ข4 การใช้ PE ร่วมกับแมกนีเซียมคลอไรด์ 1 mM ในการกำจัดซิลิกา

พารามิเตอร์ / ปริมาณ PE (mg/L)	ซิลิกา (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	ไอออนของโลหะ (mg/L)	ความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ความสูงชั้นตะกอน (มม)	พีเอช (pH)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	ความนำไฟฟ้า (µmhos/cm)	ชนิด mPE
0	38	.75	2.5	96	5	10.5	33.4	640	
0.2	35	.75	2.5	86	5	10.45	38.6	620	
0.4	29	.6	2.5	95	5	10.5	49.1	635	ประ
0.6	31	.8	2.5	92	5	10.45	45.6	640	บวก
0.8	34	.7	2.5	96	5	10.5	40.4	640	
1.0	34	.6	2.5	96	5	10.45	40.4	650	
0	38	.75	2.5	100	5	10.5	33.4	645	
0.2	36	.5	2.5	100	5	10.5	36.8	650	
0.4	31	.5	2.5	102	5	10.5	45.6	640	ประ
0.6	36	.5	2.5	100	5	10.5	36.8	620	ลบ
0.8	36	.7	2.5	106	5	10.55	36.8	645	
1.0	37	.6	2.5	100	5	10.5	35.1	650	
0	37	.6	2.5	116	5	10.5	35.1	630	
0.2	35	.7	2.5	108	5	10.45	38.6	630	
0.4	29.5	.4	2.5	106	5	10.45	48.2	650	ไม่มี
0.6	34	.5	2.5	108	5	10.45	40.4	635	ประ
0.8	34	.5	2.5	108	5	10.45	40.4	655	
1.0	35	.6	2.5	108	5	10.5	38.6	640	

ตารางที่ ข5 การใช้ PE ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ 4 mM ในการกำจัดซิลิกา

พารามิเตอร์ / ปริมาณ PE(mg/L)	ซิลิกา (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	ไอออนของโลหะ (mg/L)	ความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ความสูงชั้นตะกอน (มม)	พีเอช (pH)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	ความนำไฟฟ้า (umhos/cm)	ชนิดของ PE
0	8.25	4.6	241.2	950	8	12	86.7	7300	
0.2	8.25	3.2	249.4	934	8	12	86.7	7500	
0.4	8.5	3.0	241.2	927	8	12.05	86.3	7500	ประจุ
0.6	8.25	2.4	249.4	918	8	12	86.7	7200	บวก
0.8	8.75	4.0	249.4	930	8	12.05	85.9	7300	
1.0	9.0	3.6	249.4	940	8	12.05	85.5	7300	
0	8.5	4.9	245.3	918	8	12.1	86.3	7500	
0.2	8.0	2.9	249.4	927	8	12.1	87.1	7500	
0.4	9.0	2.2	253.5	918	8	12.1	85.5	7400	ประจุ
0.6	9.0	3.2	261.6	927	8	12.1	85.5	7500	ลบ
0.8	8.0	2.9	244	900	8	12.1	87.1	7400	
1.0	8.75	3.2	240	910	8	12.1	85.9	7300	
0	8.0	3.8	245.3	1008	8	12	87.1	7400	
0.2	8.25	2.8	245.3	1017	8	12	86.7	7200	
0.4	7.75	2.4	249.4	1017	8	12	87.5	7300	ไม่มี
0.6	8.25	2.9	245.3	999	8	12	86.7	7400	ประจุ
0.8	7.5	2.5	243.2	985	8	12.05	87.9	7400	
1.0	7.75	2.4	249.4	999	8	12.05	87.5	7400	

ตารางที่ ข6 การใช้ PE ร่วมกับอลูมินัมซัลเฟต 1 mM ในการกำจัดซิลิกา

พารามิเตอร์ / ปริมาณ PE(mg/L)	ซิลิกา (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	ไอออนของโลหะ (mg/L)	ความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ความสูงชั้นตะกอน (มม)	พีเอช (pH)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	ความนำไฟฟ้า (umhos/cm)	ชนิดของ PE
0	15.0	.6	.3	12	8	7.1	75.8	875	
0.2	14.5	.6	.2	12	8	7.1	76.6	875	
0.4	13.0	.5	.25	14	8	7.2	79.0	890	ประ
0.6	14.2	.5	.22	12	8	7.1	77.1	880	บวก
0.8	13.1	.4	.41	14	8	7.3	78.9	900	
1.0	12.5	.5	.41	14	8	7.2	79.8	900	
0	15.9	.5	.4	14	10	7.3	74.4	890	
0.2	18.1	.4	.3	10	10	7.0	70.8	880	
0.4	16.4	.5	.3	12	10	7.1	73.5	880	ประ
0.6	16.1	.6	.35	12	10	7.0	74.0	885	ลบ
0.8	19.2	.6	.4	12	10	7.1	69.0	880	
1.0	17.1	.7	.42	12	10	7.15	72.4	890	
0	14.2	.8	.3	15	8	7.2	77.1	900	
0.2	13.8	.6	.3	14	8	7.2	77.7	900	
0.4	13.0	.8	.25	12	8	7.1	79.0	890	ไม่มี
0.6	14.3	.7	.29	12	8	7.0	76.9	880	ประ
0.8	15.5	.8	.43	13	8	7.0	75	890	
1.0	15.5	.7	.4	12	8	7.0	75	900	

ตารางที่ ช7 การใช้ปูนขาวปรับพีเอชสำหรับสารเคมี 3 ชนิด ได้แก่ $MgCl_2$, $CaCl_2$, $Al_2(SO_4)_3$

พารามิเตอร์ / ปริมาณ (mM)	ซิลิกา (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	ไอออนของโลหะ (mg/L)	ความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ความสูงชั้นตะกอน (มม)	พีเอช (pH)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	ความนำไฟฟ้า (umhos/cm)	แคลเซียมไอออนที่เหลือ	ชนิดของสารเคมี
1	25.5	3.5	7.5	66	5	10.45	56.0	670	44.9	
2	13.8	4.0	10.0	60	13	10.45	76.2	860	73.6	
3	4.3	5.0	17.4	70	16	10.55	92.6	1100	98.1	$MgCl_2$
4	3.0	5.8	14.9	60	16	10.48	94.8	1260	134.9	
5	1.0	5.2	19.9	54	18	10.5	98.3	1500	163.5	
6	.75	5.0	32.4	58	20	10.45	98.7	1700	171.7	
1	5.0	5.0	-	1160	5	11.9	91.4	6300	547.8	
2	4.4	5.0	-	1150	5	12.0	92.4	6350	629.6	
3	5.0	7.5	-	1110	5	12.0	94.8	6800	694.9	$CaCl_2$
4	3.0	7.0	-	1160	5	12.05	94.8	7200	784.9	
5	2.4	7.0	-	1140	5	12.05	95.9	7600	842.2	
6	2.0	9.0	-	1240	5	12.1	96.6	8400	940.3	
1	12.5	.6	.45	8	12	7.4	78.4	850	122.6	
2	1.9	.9	.6	8	18	7.6	96.7	1320	204.4	
3	.4	1.0	.7	12	22	7.45	99.3	1630	286.2	$Al_2(SO_4)_3$
4	.3	1.0	.7	10	26	7.3	99.5	1900	359.8	
5	.2	1.0	1.0	8	28	7.2	99.7	2180	437.4	
6	.2	1.0	1.5	12	30	7.45	99.7	2540	515.1	

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อผู้วิจัย นางสุมาลี เดโชพลชัย

การศึกษา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วิศวกรรมเคมี) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2523

สถานที่ทำงาน กองตรวจโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
ตำแหน่งวิศวกรตรวจโรงงาน