

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ศึกษาคุณภาพเบื้องต้นของตัวอย่างน้ำเสีย

ตารางที่ 4.1 คุณภาพเบื้องต้นของตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี อาคารศูนย์เรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ

พารามิเตอร์	ค่าที่วิเคราะห์ได้
สี	เขียวอ่อน
พีเอช	9.7
อุณหภูมิ	30 องศาเซลเซียส
ทองแดง	4277 ppm



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.1 ก. ตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี อาคารพระเทพฯ

ข. ตัวอย่างน้ำเสียหลังการรีดิวซ์ด้วยโลหะแมกนีเซียม

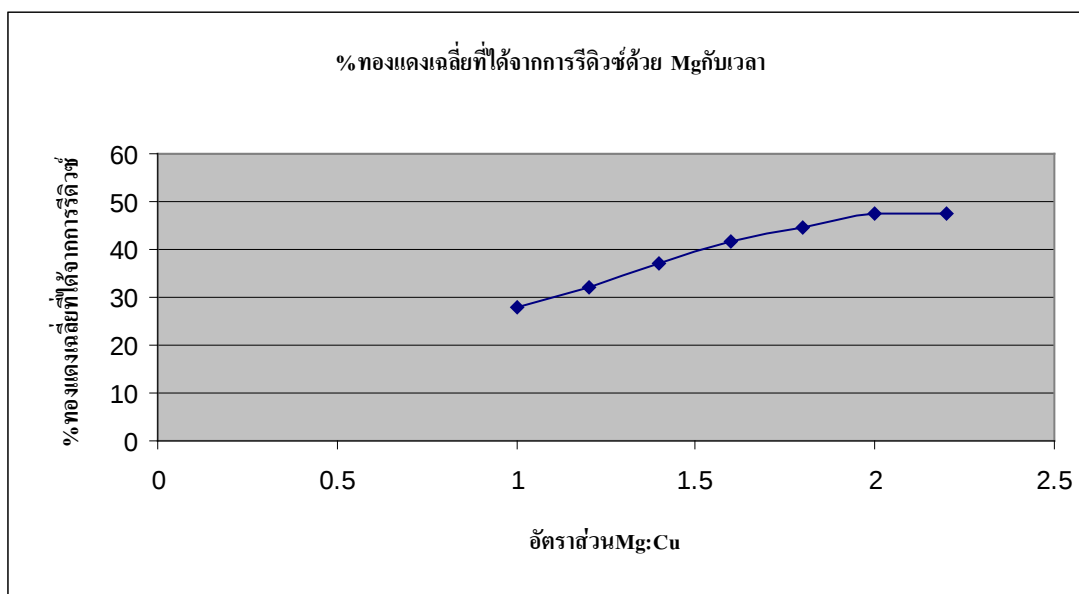
ค. ตัวอย่างน้ำเสียหลังการบำบัดด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมี

4.2 การทดสอบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างทองแดงไอออนกับโลหะแมกนีเซียม ในการรีดิวซ์ด้วยโลหะแมกนีเซียม

ตารางที่ 4.2 การทดสอบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างทองแดงไอออนกับโลหะแมกนีเซียม

อัตราส่วน Mg:Waste	ครั้งที่	น้ำหนัก ทองแดงที่ ได้	% ทองแดงที่ ได้	ค่าเฉลี่ย	SD	%RSD	สีของตะกอนที่ได้
1:1	1	0.2351	27.49	27.84	0.42	1.51	น้ำตาลแดง
	2	0.2422	28.30				น้ำตาลแดง
	3	0.2371	27.72				น้ำตาลแดง
1.2:1	1	0.2751	32.16	31.97	0.89	2.78	น้ำตาลแดง
	2	0.2651	30.99				น้ำตาลแดง
	3	0.2795	32.75				น้ำตาลแดง
1.4:1	1	0.3122	36.49	37.04	0.67	1.81	น้ำตาลแดง
	2	0.3153	36.84				น้ำตาลแดง
	3	0.3229	37.78				น้ำตาลแดง
1.6:1	1	0.3487	40.82	41.56	0.67	1.61	น้ำตาลแดง
	2	0.3569	41.75				น้ำตาลแดง
	3	0.3599	42.11				น้ำตาลแดง
1.8:1	1	0.3761	43.98	44.64	0.60	1.34	น้ำตาลแดง
	2	0.3833	44.80				น้ำตาลแดง
	3	0.3857	45.15				น้ำตาลแดง
2.0:1	1	0.4059	47.49	47.49	0.70	1.47	น้ำตาลแดง
	2	0.4123	48.19				น้ำตาลแดง
	3	0.4003	46.78				น้ำตาลแดง
2.2:1	1	0.4097	47.95	47.63	0.71	1.49	น้ำตาลแดงมีMgลอย บนสารละลาย
	2	0.4113	48.07				น้ำตาลแดงมีMgลอย บนสารละลาย
	3	0.4004	46.78				น้ำตาลแดงมีMgลอย บนสารละลาย

หมายเหตุ : พีเอช 2 เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 15 นาที จากผลการทดลองพบว่า ค่าร้อยละความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์(%RSD)มีค่าไม่สูงมากนัก แสดงว่าผลการทดลองนี้มีความน่าเชื่อถือได้ในระดับหนึ่ง



ภาพที่ 4.2 เปอร์เซนต์ประสิทธิภาพการได้ทองแดงเฉลี่ยจากการรีดิวซ์ด้วยMg

จากภาพที่ 4.2 พบว่าอัตราส่วนของMg : Cu ที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อเปอร์เซนต์ประสิทธิภาพการได้ทองแดงจากการรีดิวซ์ โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนกระทั่งพบว่าอัตราส่วนของMg : Cu คือ 2.2 : 1 ปริมาณของMg เหลืออยู่ในสารละลาย จากการทดลองดังกล่าวจึงเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างของเสียทางเคมีกับโลหะแมกนีเซียม คือ 2:1 เนื่องด้วยโลหะแมกนีเซียมซึ่งเป็นโลหะที่ไวกว่าทองแดงในการทำปฏิกิริยา (Cu^{2+} รับอิเล็กตรอนได้ดีกว่า Mg^{2+}) จะเข้าแทนที่ทองแดงในสารละลายได้หมด และจากการทดลองหาปริมาณทองแดงในของเสียทางเคมีโดยใช้เครื่องAAS พบว่ามีทองแดง เหลืออยู่ 1334.67 ppm.

การคำนวณเปอร์เซนต์ประสิทธิภาพการได้ทองแดงจากการรีดิวซ์ด้วยMg

จากการวัดหาปริมาณทองแดงในของเสียทางเคมีโดยใช้เครื่องAAS พบว่ามีทองแดง 4277ppm.

ดังนั้นแสดงว่าในสารละลาย 1000 ml. มีทองแดง = 4.277 g

ในสารละลาย 200 ml. มีทองแดง = $4.277 \times 200 / 1000 = 0.8544$ g

ดังนั้น%ทองแดงที่ได้จากการรีดิวซ์ด้วยMg = $\frac{\text{น้ำหนักทองแดงที่ซั่งได้(g)} \times 100}{0.8544 \text{ g}}$

การคำนวณเปอร์เซนต์ประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงจากการรีดิวซ์ด้วยอัตราส่วนMg:Cu คือ 2:1

จากwaste เริ่มต้น มี Cu^{2+} 4277 ppm. กำจัดโดยการรีดิวซ์ Mg $4277 - 1334.67 = 2942.33$ ppm

จากwaste เริ่มต้น มี Cu^{2+} 100 ppm. กำจัดโดยการรีดิวซ์ Mg = $\frac{2942.33 \times 100}{4277}$ ppm

= 68.79 %

ในขั้นตอนการรีดิวซ์ด้วยMg พบว่าสารละลายร้อนขึ้นดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงจากการรีดิวซ์ และ เปอร์เซนต์ประสิทธิภาพการได้ทองแดงจากการรีดิวซ์ด้วยMg พบว่ามีความแตกต่างกัน $68.79 - 47.49 = 21.30$ อาจเนื่องมาจากระหว่างการเกิดปฏิกิริยาเกิดความร้อนที่ค่อนข้างสูง จึงทำให้เกิดการสูญเสียทองแดงเนื่องจากความร้อน

4.3 ศึกษาค่าความเป็นกรด ศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดไอออนของทองแดง

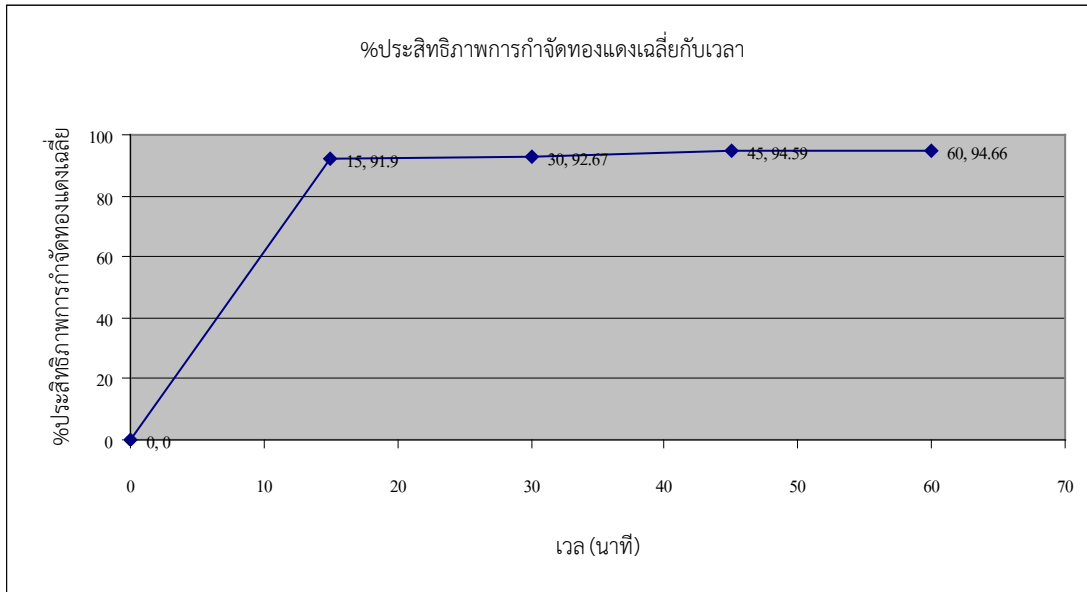
4.3.1 ศึกษาประสิทธิภาพและระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดไอออนของทองแดง

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพและระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดไอออนของทองแดงในของเสียทางเคมีจากการบำบัดด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ศักย์ไฟฟ้า 3 โวลต์ pH =1

ปริมาณของทองแดงไอออนในของเสียทางเคมีก่อนบำบัด 4277.00 ppm.

ปริมาณของทองแดงไอออนในของเสียทางเคมีหลังรีดิวซ์ด้วยMg 1334.67 ppm.

ครั้งที่	ปริมาณ ทองแดงไอออน(ppm.) ที่เวลาต่างๆ(นาท)				%ประสิทธิภาพ การกำจัดทองแดง ที่เวลาต่างๆ(นาท)				น้ำหนัก ทองแดง เกาะที่ ขั้ว (g)
	15	30	45	60	15	30	45	60	
1	140.1	112	64	57	89.50	91.61	95.2	95.73	0.2412
2	113.5	108	80.5	80	91.50	91.91	93.96	94.01	0.2417
3	139.5	129.5	105	105	89.55	90.30	92.13	92.13	0.2455
ค่าเฉลี่ย	131.03	116.5	83.17	80.67	91.9	92.67	94.59	94.66	0.2428
SD	15.19	11.435	20.63	24.01	2.63	2.83	2.80	2.93	0.0024
%RSD	11.59	9.81	24.8	29.75	2.86	3.05	2.96	3.10	0.9885



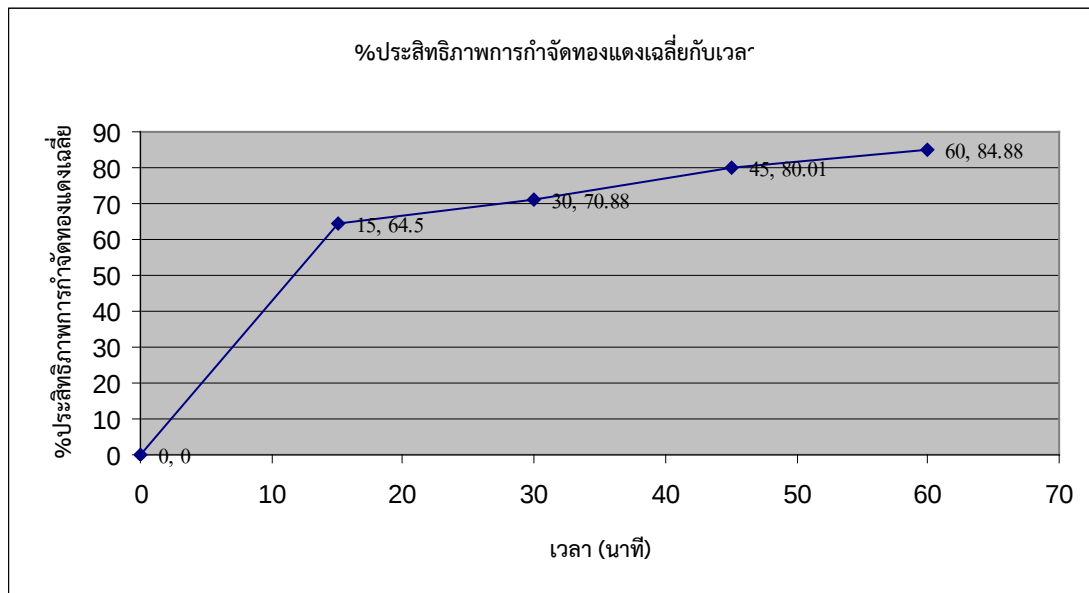
ภาพที่ 4.3 เปอร์เซนต์ประสิทธิภาพการกำจัดไอออนทองแดงเฉลี่ย
จากการบำบัดด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ศักย์ไฟฟ้า 3 โวลต์ pH =1

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพและระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดไอออนของทองแดงในของเสียทางเคมี
จากการบำบัดด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ศักย์ไฟฟ้า 3 โวลต์ pH =2

ปริมาณของทองแดงไอออนในของเสียทางเคมีก่อนบำบัด 4277.00 ppm.

ปริมาณของทองแดงไอออนในของเสียทางเคมีหลังรีดิวซ์ด้วยMg 1334.67 ppm.

ครั้งที่	ปริมาณ ทองแดงไอออน(ppm.) ที่เวลาต่างๆ(นาทื)				%ประสิทธิภาพ การกำจัดทองแดง ที่เวลาต่างๆ(นาทื)				น้ำหนัก ทองแดง เกาะที่ ขั้ว (g)
	15	30	45	60	15	30	45	60	
1	456.5	356	235	171.5	65.80	73.33	82.4	87.2	0.2052
2	474	401	273	212.5	64.49	69.99	79.58	84.08	0.2079
3	490	410	293	221.5	63.29	69.32	78.05	83.40	0.2102
ค่าเฉลี่ย	473.50	389.00	267.00	201.8	64.5	70.88	80.01	84.88	0.2078
SD	16.76	28.93	29.46	26.65	1.26	2.15	2.20	2.00	0.0025
%RSD	3.54	7.44	11.03	13.21	1.95	3.03	2.75	2.36	1.2031



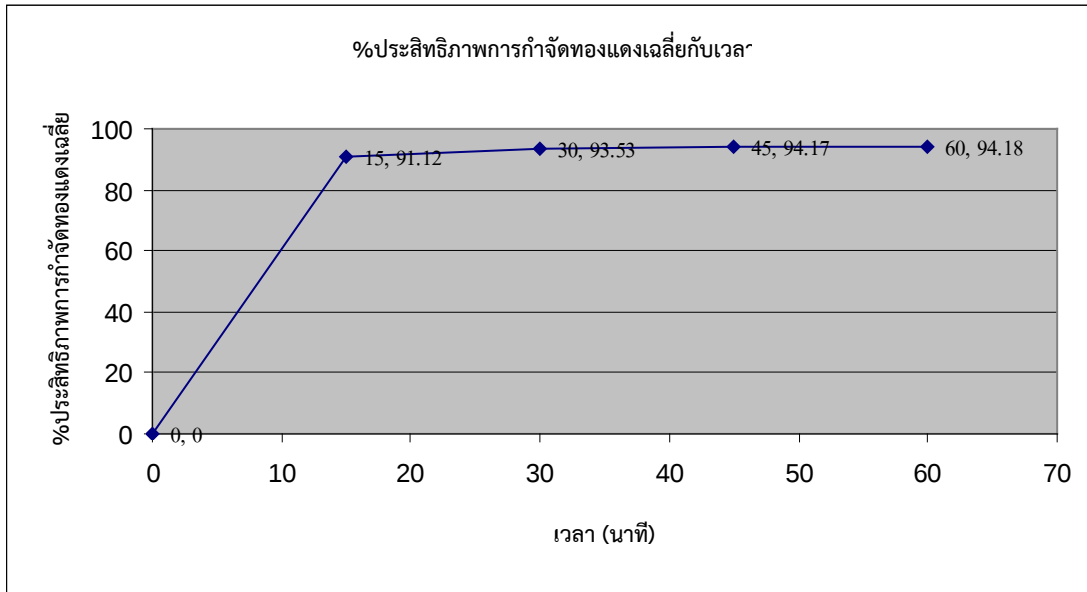
ภาพที่ 4.4 เปอร์เซนต์ประสิทธิภาพการกำจัดไอออนทองแดงเฉลี่ย
จากการบำบัดด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ศักย์ไฟฟ้า 3 โวลต์ pH =2

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพและระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดไอออนของทองแดงในของเสียทางเคมี
จากการบำบัดด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ศักย์ไฟฟ้า 5 โวลต์ pH =1

ปริมาณของทองแดงไอออนในของเสียทางเคมีก่อนบำบัด 4,277 ppm.

ปริมาณของทองแดงไอออนในของเสียทางเคมีหลังรีดิวซ์ด้วยMg 1,334.67 ppm.

ครั้งที่	ปริมาณ ทองแดงไอออน(ppm.) ที่เวลาต่างๆ(นาทื)				%ประสิทธิภาพ การกำจัดทองแดง ที่เวลาต่างๆ(นาทื)				น้ำหนัก ทองแดง เกาะที่ ขั้ว (g)
	15	30	45	60	15	30	45	60	
1	96	55	64.5	48.5	92.81	95.9	95.17	96.37	0.2235
2	109	66	61.5	88	91.83	95.07	95.39	93.41	0.2288
3	150.5	112.5	107	122.5	88.72	91.57	91.98	90.82	0.2344
ค่าเฉลี่ย	118.50	77.83	77.67	91.333	91.12	94.17	94.18	93.53	0.2289
SD	28.46	30.52	20.78	37.028	2.14	2.29	1.91	2.78	0.0055
%RSD	24.02	39.21	26.75	40.54	2.35	2.43	2.03	2.97	2.4028



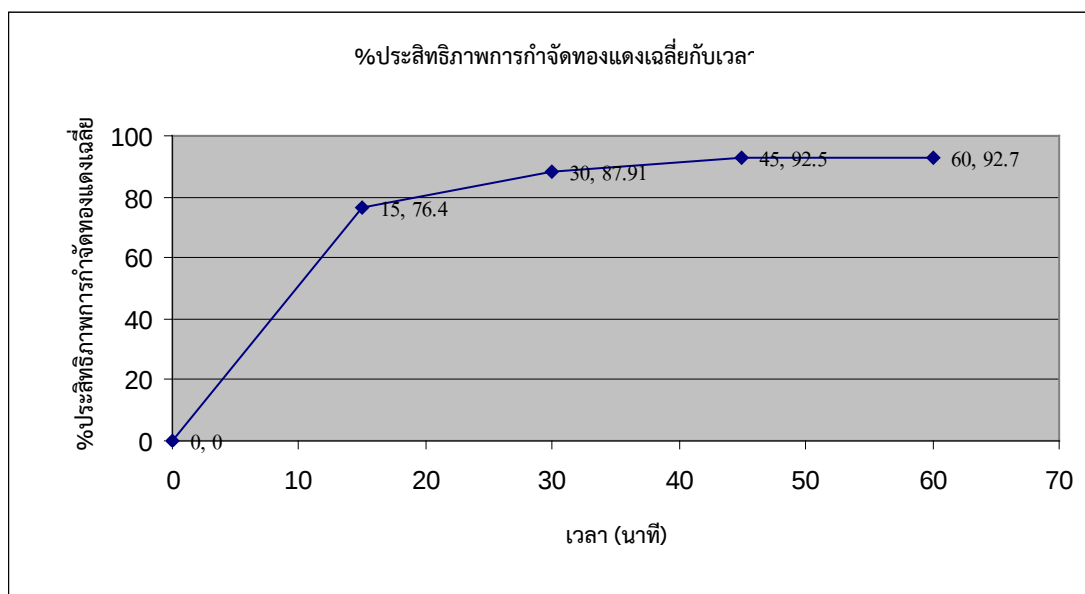
ภาพที่ 4.5 เปอร์เซนต์ประสิทธิภาพการกำจัดไอออนทองแดงเฉลี่ย
จากการบำบัดด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ศักย์ไฟฟ้า 5 โวลต์ pH =1

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพและระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดไอออนของทองแดงในของเสียทางเคมี
จากการบำบัดด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ศักย์ไฟฟ้า 5 โวลต์ pH =2

ปริมาณของทองแดงไอออนในของเสียทางเคมีก่อนบำบัด 4,277 ppm.

ปริมาณของทองแดงไอออนในของเสียทางเคมีหลังรีดิวซ์ด้วยMg 1,334.67 ppm.

ครั้งที่	ปริมาณ ทองแดงไอออน(ppm.) ที่เวลาต่างๆ(นาทื)				%ประสิทธิภาพ การกำจัดทองแดง ที่เวลาต่างๆ(นาทื)				น้ำหนัก ทองแดง เกาะที่ ขั้ว (g)
	15	30	45	60	15	30	45	60	
1	299.5	142	86.5	83	77.56	89.40	93.52	93.78	0.2202
2	318	157	98	102.5	76.17	88.24	92.66	92.32	0.2239
3	328.5	185.5	116	106.5	75.39	86.10	91.31	92.02	0.2295
ค่าเฉลี่ย	315.33	161.50	100.17	97.33	76.4	87.91	92.50	92.70	0.2245
SD	14.68	22.10	14.87	12.57	1.1	1.67	1.11	0.95	0.0047
%RSD	4.66	13.68	14.84	12.92	1.44	1.90	1.20	1.02	2.0935



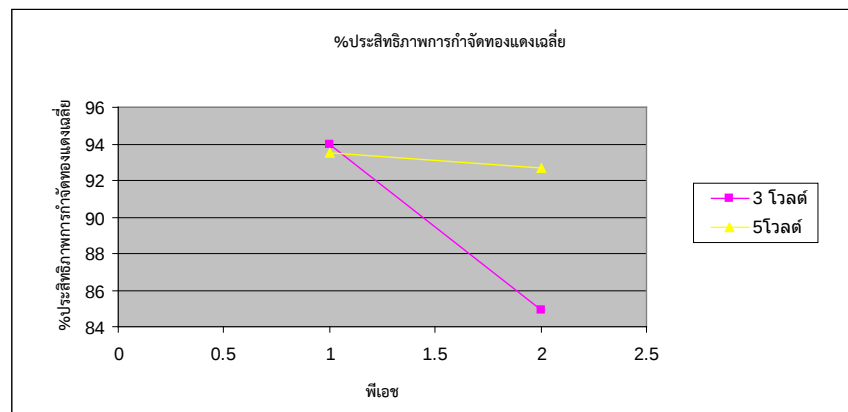
ภาพที่ 4.6 เปอร์เซนต์ประสิทธิภาพการกำจัดไอออนทองแดงเฉลี่ย
จากการบำบัดด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ศักย์ไฟฟ้า 5 โวลต์ pH =2

จากภาพที่ 4.3 - 4.6 จากผลการศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดไอออนของทองแดง เป็นเวลา 60 นาที ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรกคือ 0-45 นาที มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของ %ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนของทองแดงอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ที่กล่าวว่ามวลของสารที่เกิดขึ้นที่แอโนดหรือแคโทดในขณะที่เกิดอิเล็กโทรไลซิส จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในเซลล์ ซึ่งหมายความว่า ปฏิกริยาภายในเซลล์ไฟฟ้าจะเกิดมากหรือน้อย มีส่วนสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารละลาย และระยะเวลาของการปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ดังนั้นเมื่อให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน เซลล์ไฟฟ้า ในระยะเวลาที่นานกว่าปฏิกิริยาที่ขั้วอิเล็กโทรดจะเกิดขึ้นมากกว่าหรือไอออนของทองแดงจะเกิดปฏิกิริยากลายเป็นโลหะทองแดงเกาะที่ขั้วแคโทดมากกว่า แต่หลังจาก 45 นาที %ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนของทองแดงมีแนวโน้มเห็นความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดไอออนของทองแดงไม่ควรเกิน 60 นาที เพราะการทำการทดลองเกิน 60 นาที ไม่คุ้มค่ากับพลังงาน และเวลาที่เสียไป นอกจากนี้จากภาพที่ 4.5 - 4.6 ซึ่งทำการทดลองที่ศักย์ไฟฟ้า 5 โวลต์ ที่พีเอช 1 และ พีเอช 2 พบว่า %ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนของทองแดงที่มีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องมาจากพลังงานไฟฟ้าที่ให้บางส่วนถูกเปลี่ยนไปในรูปของความร้อน อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปนี้มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำเสียทำให้ประสิทธิภาพต่ำลง เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกาะของโลหะทองแดงที่ขั้วแคโทดอยู่ที่ 25- 40 องศาเซลเซียส

4.3.2 ศึกษาค่าความเป็นกรด และศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในการกำจัดไอออนของทองแดง ศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรด และศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อ %ประสิทธิภาพการกำจัดไอออนของทองแดง เหล็ก

ตารางที่ 4.7 อิทธิพลของค่าความเป็นกรด และศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกำจัด ไอออนของทองแดงเหล็ก

	%ประสิทธิภาพการกำจัด ทองแดงเหล็ก	%ประสิทธิภาพการกำจัด ทองแดงเหล็ก
ศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	พีเอช 1	พีเอช 2
3	93.96	84.88
5	93.53	92.7

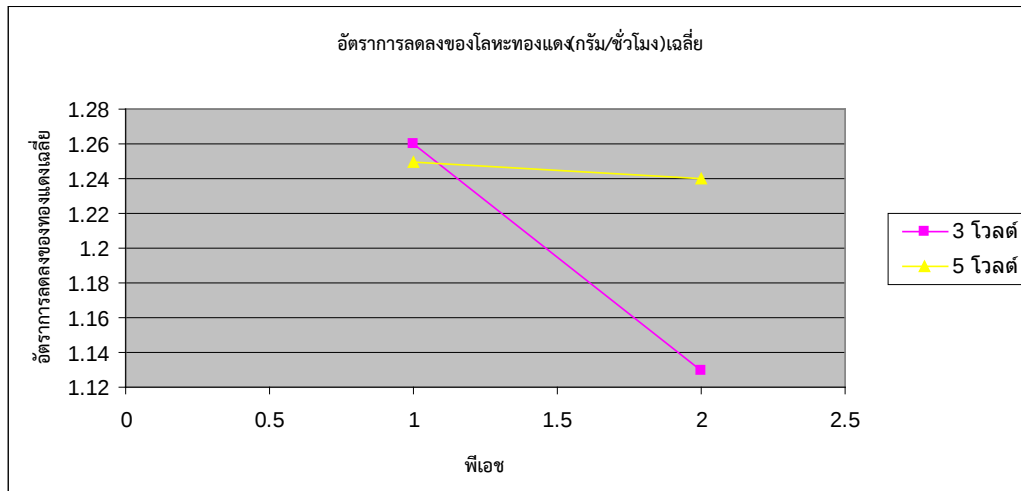


ภาพที่ 4.7 ค่าความเป็นกรด และศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อ %ประสิทธิภาพการกำจัดไอออนของทองแดงเหล็ก

ข. ศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรด และศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อ อัตราการลดลงไอออนของทองแดงเหล็ก

ตารางที่ 4.8 อิทธิพลของค่าความเป็นกรด และศักย์ไฟฟ้าที่มีต่ออัตราการลดลงไอออนของทองแดงเหล็ก

ศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	pH	ปริมาณ ทองแดงไอออน ก่อนบำบัด mg/l	ปริมาณ ทองแดงไอออน หลังบำบัด mg/l	อัตราการลดลง ของ โลหะทองแดง (กรัม/ชั่วโมง)
3	1	1334.67	80.67	1.26
	2	1334.67	201.83	1.13
5	1	1334.67	86.33	1.25
	2	1334.67	97.33	1.24

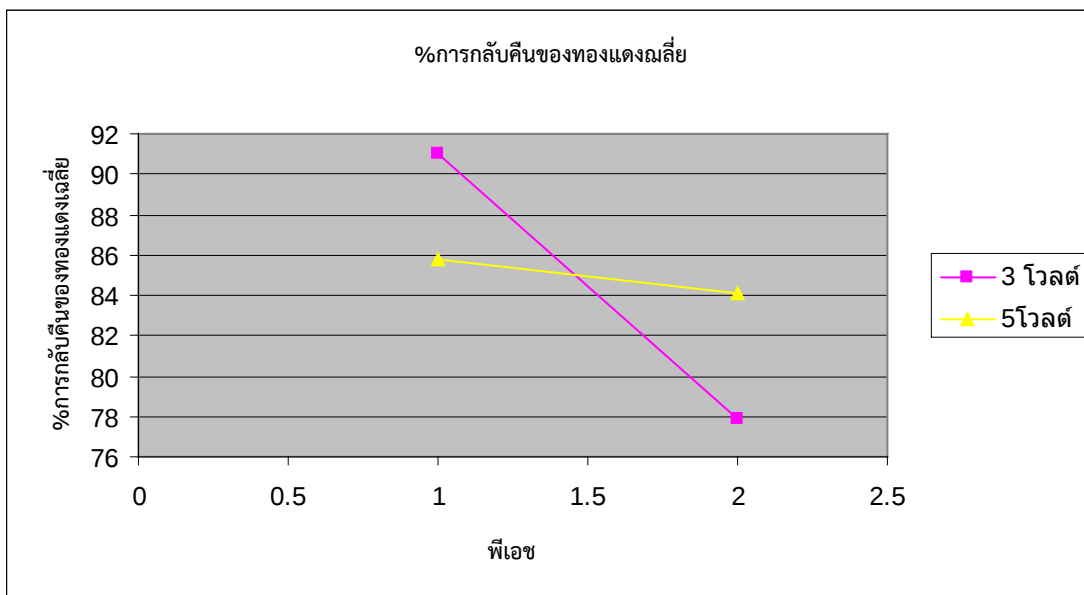


ภาพที่ 4.8 อิทธิพลของค่าความเป็นกรด และศักย์ไฟฟ้าที่มีต่ออัตราการลดลงไอโอดีนของทองแดงเจลลี่

ค. ศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรด และศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อ % การกลับคืนไอโอดีนของทองแดงเจลลี่

ตารางที่ 4.9 ศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรด และศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อ %การกลับคืนไอโอดีนของทองแดงเจลลี่

ศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	pH	ทองแดงไอโอดีน ก่อนบำบัด (กรัม)	ทองแดงเจลลี่ ชั่งได้(g)	% การกลับคืนของทองแดงเจลลี่
3	1	0.2669	0.2428	90.97
	2	0.2669	0.2078	77.86
5	1	0.2669	0.2289	85.76
	2	0.2669	0.2245	84.11



ภาพที่ 4.9 ศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรดและศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อร้อยละการกลับคืนไอออนของทองแดงเฉลี่ย

จากภาพที่ 4.7 - 4.9 เมื่อพีเอชมีความเป็นกรดมากขึ้น (พีเอชต่ำลง) โดยการเติมกรดซัลฟิวริก ไอออนของทองแดงจะถูกกำจัดออกจากน้ำเสีย กลายเป็นโลหะทองแดงเข้าเกาะที่ขั้วแคโทดมากขึ้น เนื่องจากกรดซัลฟิวริกจะแตกตัวได้เป็น H^+ และ SO_4^{2-} อนุภาคเหล่านี้เป็นตัวทำให้ปริมาณของ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสารละลายมากขึ้น มีการให้และรับอิเล็กตรอนกันมากขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ขั้ว อิเล็กโทรดทั้งสองมากขึ้น ไอออนของทองแดงจึงถูกกำจัดออกจากน้ำเสียได้มากขึ้น เราเรียก กรดซัลฟิวริก ว่า เป็นตัวให้ความนำไฟฟ้าหรือตัวอิเล็กโทรไลต์ ทำให้ %ประสิทธิภาพการกำจัดไอออนของทองแดง อัตราการลดลงไอออนของทองแดง และ%การกลับคืนไอออนของทองแดงมีค่าเพิ่มขึ้น

แต่เมื่อเปรียบเทียบการให้ศักย์ไฟฟ้า ในปริมาณที่แตกต่างกันพบว่าเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้ามากขึ้น %ประสิทธิภาพการกำจัดไอออนของทองแดง อัตราการลดลงไอออนของทองแดง และ%การกลับคืน ไอออนของทองแดงมีค่าลดลง ไม่เป็นไปตามกฎข้อที่ 1 ของฟาราเดย์ (ภาคผนวก ข) ที่กล่าวว่า ปฏิกิริยาเคมีที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยมีส่วนสัมพันธ์โดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านน้ำเสีย เมื่อ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้ำเสียมากขึ้น ไอออนของทองแดงในน้ำเสียควรจะเกิดปฏิกิริยาเคมีกลายเป็น โลหะทองแดงเข้ามาเกาะที่ขั้วแคโทดมากขึ้น นั่นคือควรมี%ประสิทธิภาพการกำจัดไอออนของทองแดง อัตราการลดลงไอออนของทองแดง และ%การกลับคืนไอออนของทองแดงมีค่ามากขึ้น อาจเนื่องมาจาก พลังงานไฟฟ้าที่ให้บางส่วนถูกเปลี่ยนไปเป็นรูปของความร้อน อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปนี้มีผลต่อประสิทธิภาพ การใช้พลังงานในการบำบัดน้ำเสียต่ำลง เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกาะของโลหะทองแดงที่ขั้ว แคโทดอยู่ที่ 25- 40 องศาเซลเซียส

4.4 สถิติวิเคราะห์ ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมี 2 ตัวประกอบ (Two-Factor ANOVA) ทุกค่าสถิติมีระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 หรือมีความเชื่อมั่น 95 % เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของพีเอช, ศักย์ไฟฟ้า และผลรวมของพีเอชกับศักย์ไฟฟ้า

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบ 2 ทาง คือ จำแนกตามศักย์ไฟฟ้า และจำแนกตามพีเอช โดยวิเคราะห์จาก %ประสิทธิภาพการกำจัดไอออนของทองแดงด้วยการวัดซ้ำ

%ประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง	พีเอช 1	พีเอช 2
ศักย์ไฟฟ้า 3 โวลต์	95.73	87.2
	94.01	84.08
	92.13	83.4
ศักย์ไฟฟ้า 5 โวลต์	96.37	93.78
	93.41	92.32
	90.82	92.02

จาก ตารางที่ 4.10 เมื่อใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมี 2 ตัวประกอบ (Two-Factor ANOVA) ทุกค่าสถิติมีระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 หรือมีความเชื่อมั่น 95 % สรุปได้ว่า

- ผลของศักย์ไฟฟ้า: พบว่าแต่ละค่าของศักย์ไฟฟ้า(3, 5 โวลต์) ทำให้เกิดผลในการกำจัดทองแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่าความน่าจะเป็น P-value คือ 0.012512 มีค่าน้อยกว่าค่า α ที่ผู้ทดสอบกำหนด คือ 0.05
- ผลของพีเอช: พบว่าแต่ละค่าของพีเอช (1,2) ทำให้เกิดผลในการกำจัดทองแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่าความน่าจะเป็น P-value คือ 0.02653 มีค่าน้อยกว่า ค่า α ที่ผู้ทดสอบกำหนด คือ 0.05
- ผลรวมของศักย์ไฟฟ้าและพีเอช: พบว่ามีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่าความน่าจะเป็น P-value คือ 0.007267 มีค่าน้อยกว่า ค่า α ที่ผู้ทดสอบกำหนด คือ 0.05

ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบ 2 ทาง คือ จำแนกตามศักย์ไฟฟ้า และจำแนกตามพีเอช โดยวิเคราะห์จาก อัตราการลดลงของทองแดงด้วยการวัดซ้ำ (กรัม/ชั่วโมง)

อัตราการลดลงของทองแดง ไอออน(กรัม/ชั่วโมง)		
	พีเอช 1	พีเอช 2
ศักย์ไฟฟ้า 3 โวลต์	1.28	1.16
	1.26	1.12
	1.23	1.11
ศักย์ไฟฟ้า 5 โวลต์	1.29	1.25
	1.25	1.23
	1.21	1.23

จาก ตารางที่ 4.11 เมื่อใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมี 2 ตัวประกอบ (Two-Factor ANOVA) ทุกค่าสถิติมีระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 หรือมีความเชื่อมั่น 95 % สรุปได้ว่า

- ผลของศักย์ไฟฟ้า: พบว่าแต่ละค่าของศักย์ไฟฟ้า(3, 5 โวลต์) ทำให้อัตราการลดลงของทองแดงไอออนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่าความน่าจะเป็น P-value คือ 0.014064 มีค่าน้อยกว่า ค่า α ที่ผู้ทดสอบกำหนด คือ 0.05
- ผลของพีเอช: พบว่าแต่ละค่าของพีเอช (1,2) ทำให้เกิดผลในการกำจัดทองแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่าความน่าจะเป็น P-value คือ 0.002353 มีค่าน้อยกว่า ค่า α ที่ผู้ทดสอบกำหนด คือ 0.05
- ผลรวมของศักย์ไฟฟ้าและพีเอช: พบว่าศักย์ไฟฟ้าและพีเอชมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญในการกำจัดทองแดงเนื่องจากค่าความน่าจะเป็น P-value คือ 0.007567 มีค่าน้อยกว่า ค่า α ที่ผู้ทดสอบกำหนด คือ 0.05

ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบ 2 ทาง คือ จำแนกตามศักย์ไฟฟ้า และจำแนกตามพีเอช โดยวิเคราะห์จาก % การกลับคืนไอออนของทองแดง

%การกลับคืนของไอออน ทองแดง		
	พีเอช 1	พีเอช 2
ศักย์ไฟฟ้า 3 โวลต์	90.37	76.88
	90.56	77.89
	91.98	78.76
ศักย์ไฟฟ้า 5 โวลต์	83.74	82.5
	85.72	83.89
	87.82	85.99

จาก ตารางที่ 4.12 เมื่อใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมี 2 ตัวประกอบ (Two-Factor ANOVA) ทุกค่าสถิติมีระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 หรือมีความเชื่อมั่น 95 % สรุปได้ว่า

- ผลของศักย์ไฟฟ้า: พบว่าแต่ละค่าของศักย์ไฟฟ้า(3, 5 โวลต์) ทำให้% การกลับคืนของทองแดงไอออนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่าความน่าจะเป็น P-value คือ 0.55072721 มีค่ามากกว่า ค่า α ที่ผู้ทดสอบกำหนด คือ 0.05
- ผลของพีเอช: พบว่าแต่ละค่าของพีเอช (1,2) ทำให้เกิดผลในการกำจัดทองแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่าความน่าจะเป็น P-value คือ 2.66332E-05 มีค่าน้อยกว่า ค่า α ที่ผู้ทดสอบกำหนด คือ 0.05
- ผลรวมของศักย์ไฟฟ้าและพีเอช: พบว่าศักย์ไฟฟ้าและพีเอชมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญในการกำจัดทองแดงเนื่องจากค่าความน่าจะเป็น P-value คือ 0.000157606 มีค่าน้อยกว่า ค่า α ที่ผู้ทดสอบกำหนด คือ 0.05