



ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดตะกั่ว

จากตัวอย่างน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นมาที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร โดยทดลองกำจัดที่เงื่อนไขต่าง ๆ สรุปผลได้ดังตารางที่ 4.1 จากผลการทดลองนี้พบว่าทุกเงื่อนไขให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักได้สูง แต่เงื่อนไขที่ให้ตะกอนเฟอร์ไรต์ได้เป็นส่วนใหญ่คือที่พีเอช 9 และพบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียคือที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 70⁰ซ. ดังแสดงผลการศึกษากระบวนการเฟอร์ไรต์ที่เงื่อนไขนี้ ในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 เนื่องจากที่เงื่อนไขดังกล่าวจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง และให้ตะกอนเฟอร์ไรต์ซึ่งเป็นตะกอนดำ หนัก และมีความเป็นสารแม่เหล็กสูงด้วย ซึ่งเมื่อนำตะกอนที่ได้จากการทดลองที่เงื่อนไขต่าง ๆ ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบความเป็นสารแม่เหล็กด้วย X-ray Diffractometer พบว่า สอดคล้องกับผลสรุปดังกล่าว ดังแสดงผลของ X-ray Diffraction Patterns ในรูปที่ 4.2 และ 4.3

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ได้แก่ 55⁰, 60⁰, 65⁰, 70⁰ และ 75⁰ซ. ณ พีเอชคงที่ที่ 9 นั้น อุณหภูมิที่เกิดสารประกอบเฟอร์ไรต์ที่ให้ค่าความเป็นแม่เหล็กสูงสุด (peak ที่ตำแหน่ง $2\theta = 35.48$) ได้แก่ ที่อุณหภูมิ 70⁰ซ. และที่อุณหภูมินี้จะให้เกอไตต์ (Goethite) ดังแสดงด้วยลูกศร ปรากฏน้อยที่สุด ในขณะที่ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะปรากฏพีคของเกอไตต์ จึงทำให้ตะกอนจากผลการทดลองเป็นสีเขียวปนดำ

ทำนองเดียวกันในรูปที่ 4.3 ซึ่งพบว่าที่พีเอชต่าง ๆ กันคือ พีเอช 9, 10 และ 11 ณ อุณหภูมิคงที่ที่ 70⁰ซ. นั้นก็พบว่าที่พีเอช 9 จะเกิดสารประกอบเฟอร์ไรต์ที่ให้ค่าความเป็นแม่เหล็กสูงสุดด้วยเช่นกัน และที่อุณหภูมิ 9 นี้พบว่าจะไม่ปรากฏพีคสเกอไตต์ ดังเช่นในอุณหภูมิ 10 และ 11 จึงทำให้ตะกอนที่ได้มีสีดำสนิทเฉพาะของเฟอร์ไรต์เท่านั้น

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์ที่เงื่อนไขต่าง ๆ

พีเอช	อุณหภูมิ (^o ซ.)	ช่วงศักย์ออกซิเดชัน (มิลลิโวลต์)	เวลาการคงไว้ (นาที) (Retention time)	ลักษณะและสีตะกอน	ความเป็นสาร แม่เหล็ก	ความเข้มข้นหลังกำจัด (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์ เดซิเมตร)	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
9	55	-720 ถึง -120	104	ดำ, เบา	+ (0.5 ซม.)	0.240	99.76
10	55	-730 ถึง - 50	65	เหลือง, เบา	-	0.210	99.79
11	55	-820 ถึง -170	106	เขียวปนดำ, เบา	+ (≈0.2 ซม.)	0.280	99.72
9	60	-825 ถึง + 75	57.5	น้ำตาลปนเหลือง	-	0.170	99.83
10	60	-930 ถึง - 25	73.0	น้ำตาลปนเหลือง	-	0.170	99.83
11	60	-950 ถึง - 10	67.5	น้ำตาลปนเหลือง	-	0.340	99.66
9	65	-850 ถึง +150	75	เขียวขี้ม้า, เบา	+ (≈0.1 ซม.)	0.140	99.86
10	65	-850 ถึง + 25	70	น้ำตาลปนเหลือง	-	0.100	99.90
11	65	-900 ถึง - 50	77.5	ดำ, เบา	+ (≈0.5 ซม.)	0.140	99.86
9	70	-825 ถึง + 50	81	ดำ, หนัก	+++ (≈3 ซม.)	0.140	99.86
10	70	-800 ถึง 0	72.5	เขียวปนเทา, เบา	-	0.280	99.72
11	70	-850 ถึง - 70	65	เขียวปนเทา, เบา	-	0.280	99.72
9	75	-750 ถึง + 75	70	เขียวขี้ม้า, เบา	-	0.210	99.79

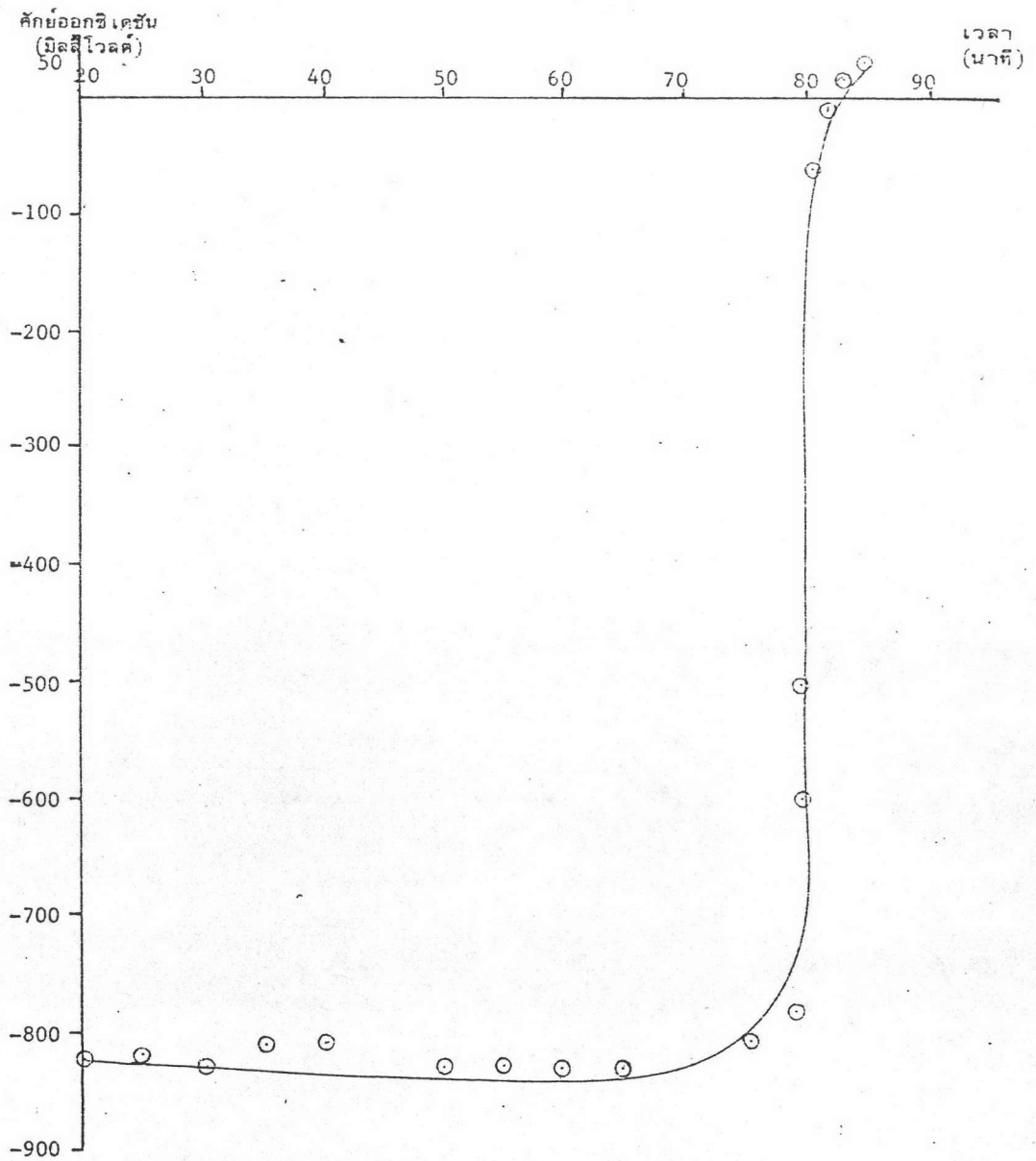
ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

พีเอช	อุณหภูมิ (^o ซ.)	ช่วงศักย์ออกซิเดชัน (มิลลิโวลต์)	เวลาการคงไว้ (นาที) (Retention time)	ลักษณะและสีตะกอน	ความเป็นสาร แม่เหล็ก	ความเข้มข้นหลังกำจัด (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์ เดซิเมตร)	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
10	75	-900 ถึง -100	72.5	เขียวขี้ม้า, เบา	-	0.170	99.83
11	75	-925 ถึง - 50	70	เขียวปนดำ, เบา	+ (0.2 ซม.)	1.450	98.55

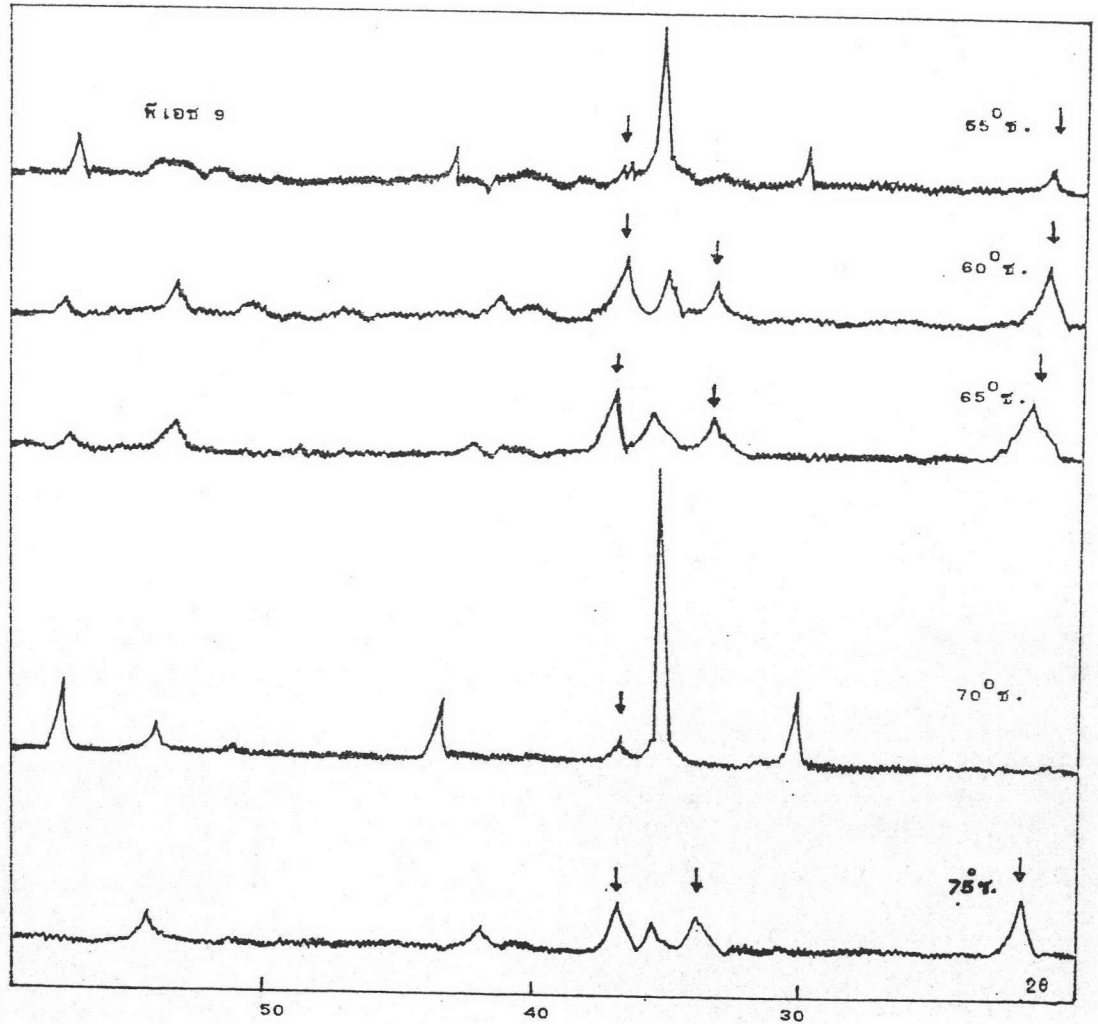
- หมายเหตุ
- Retention time หมายถึง ช่วงเวลาดังแต่จุดเริ่มต้นทำปฏิกิริยาจนกระทั่งถึงจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของค่าศักย์ออกซิเดชัน
 - เครื่องหมาย + หมายถึง เป็นสารแม่เหล็ก ตัวเลขในวงเล็บหลังเครื่องหมายนี้คือ ความสูงของตะกอนที่สามารถดูดได้ด้วยแท่งแม่เหล็กแท่งเดียวกัน
 - เครื่องหมาย - หมายถึง ไม่เป็นสารแม่เหล็ก

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ออกซิเดชันของตะกั่ว 100 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์-
เดซิเมตร ที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 70 ซ.

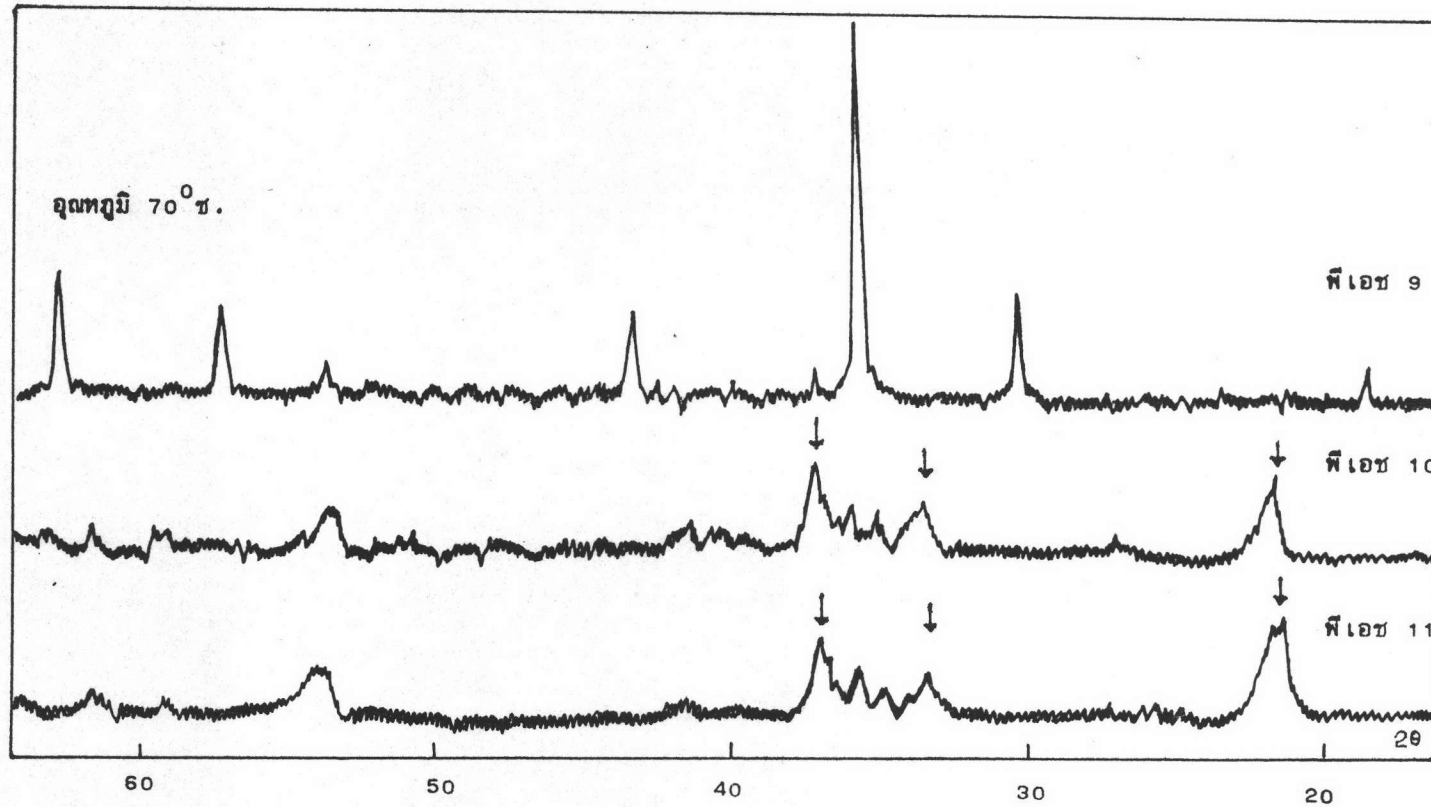
เวลา (นาที)	ค่าศักย์ออกซิเดชัน (มิลลิโวลต์)	พีเอช
0	-818	9.11
5	-815	9.11
10	-815	9.15
15	-820	9.15
20	-818	9.08
25	-819	9.10
30	-830	9.10
35	-810	9.10
40	-808	9.40
50	-828	9.30
55	-825	9.30
60	-834	9.13
65	-832	9.13
78	-802	9.13
79	-788	9.10
79.5	-601	9.10
80	-504	9.10
80.5	- 62	9.10
81	- 9	9.10
82	3	9.10
83	17	9.10
85	32	9.00
90	56	9.00
95	63	9.00



รูปที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าคักย์ออกซิเคชัน (มิลลิโวลต์) ของการกำจัดตะกั่ว 100 มก./ลบ.คม. ด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ ทีเอช 9, อุณหภูมิ 70⁰ซ.



รูปที่ 4.2 X-ray Diffraction Patterns ของตะกอนจากการกำจัดตะกั่วด้วยกระบวนการเพอร์ไลต์ ที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 55^o, 60^o, 65^o, 70^o และ 75^o ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 X-ray Diffraction Patterns ของตะกอนจากการกำจัดตะกั่วด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์ที่ 70°ซ.

หมายเลข 9, 10 และ 11 ตามลำดับ

4.2 การศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดแคดเมียม

จากตัวอย่างน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นมาด้วยความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์ เดซิเมตร โดยทดลองกำจัดที่เงื่อนไขต่าง ๆ สรุปผลได้ดังตารางที่ 4.3 จากผลการทดลองนี้พบว่า การกำจัดแคดเมียมโดยใช้กระบวนการเพอร์ไรท์นี้สามารถเกิดได้ดีที่ทุกเงื่อนไขกล่าวคือ จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงมากกว่า 99% และตะกอนที่ได้จะเป็นตะกอนที่ดำ หนัก และมีความเป็นสารแม่เหล็กสูงด้วย เมื่อพิจารณาในแง่ของเป็นสารแม่เหล็กสูงสุดของตะกอนที่ได้สรุปได้ว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแคดเมียมด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์คือ พีเอช 9 อุณหภูมิ 55⁰ซ. ดังแสดงผลการศึกษากระบวนการเพอร์ไรท์ที่เงื่อนไขนี้ในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 เนื่องจากที่เงื่อนไขดังกล่าวจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง และให้ตะกอนเพอร์ไรท์ซึ่งเป็นตะกอนดำ หนัก และมีความเป็นสารแม่เหล็กสูงด้วย ซึ่งเมื่อนำตะกอนเพอร์ไรท์ที่ได้จากการทดลองที่เงื่อนไขต่าง ๆ ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบความเป็นสารแม่เหล็กด้วย X-ray Diffractometer พบว่า สอดคล้องกับผลสรุปดังกล่าว ดังแสดงผลของ X-ray Diffraction Patterns ในรูปที่ 4.5 และ 4.6

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันได้แก่ 55⁰, 60⁰, 65⁰, 70⁰ และ 75⁰ซ. ณ พีเอชคงที่ที่ 9 นั้น อุณหภูมิที่เกิดสารประกอบเพอร์ไรท์ที่ให้ค่าความเป็นแม่เหล็กสูงสุด (peak ที่ตำแหน่ง $2\theta = 35.48$) ได้แก่ ที่อุณหภูมิ 55⁰ซ. และที่อุณหภูมินี้พบว่าจะไม่ปรากฏพีคของเกอไตต์ และจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้น โดยเฉพาะที่ 75⁰ซ. จะปรากฏพีคเกอไตต์ด้วย

ในทำนองเดียวกันในรูปที่ 4.6 ซึ่งพบว่าที่พีเอชต่าง ๆ กันคือ พีเอช 9, 10 และ 11 ณ อุณหภูมิที่คงที่ที่ 70⁰ซ. นั้นก็พบว่าที่พีเอช 9 นั้นแม้จะมีความสูงของสารแม่เหล็กต่ำกว่าแต่ก็ปรากฏพีคของเกอไตต์น้อยกว่าที่พีเอช 11 และ 10

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการกำจัดแคดเมียมความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตรด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์ที่เงื่อนไขต่าง ๆ

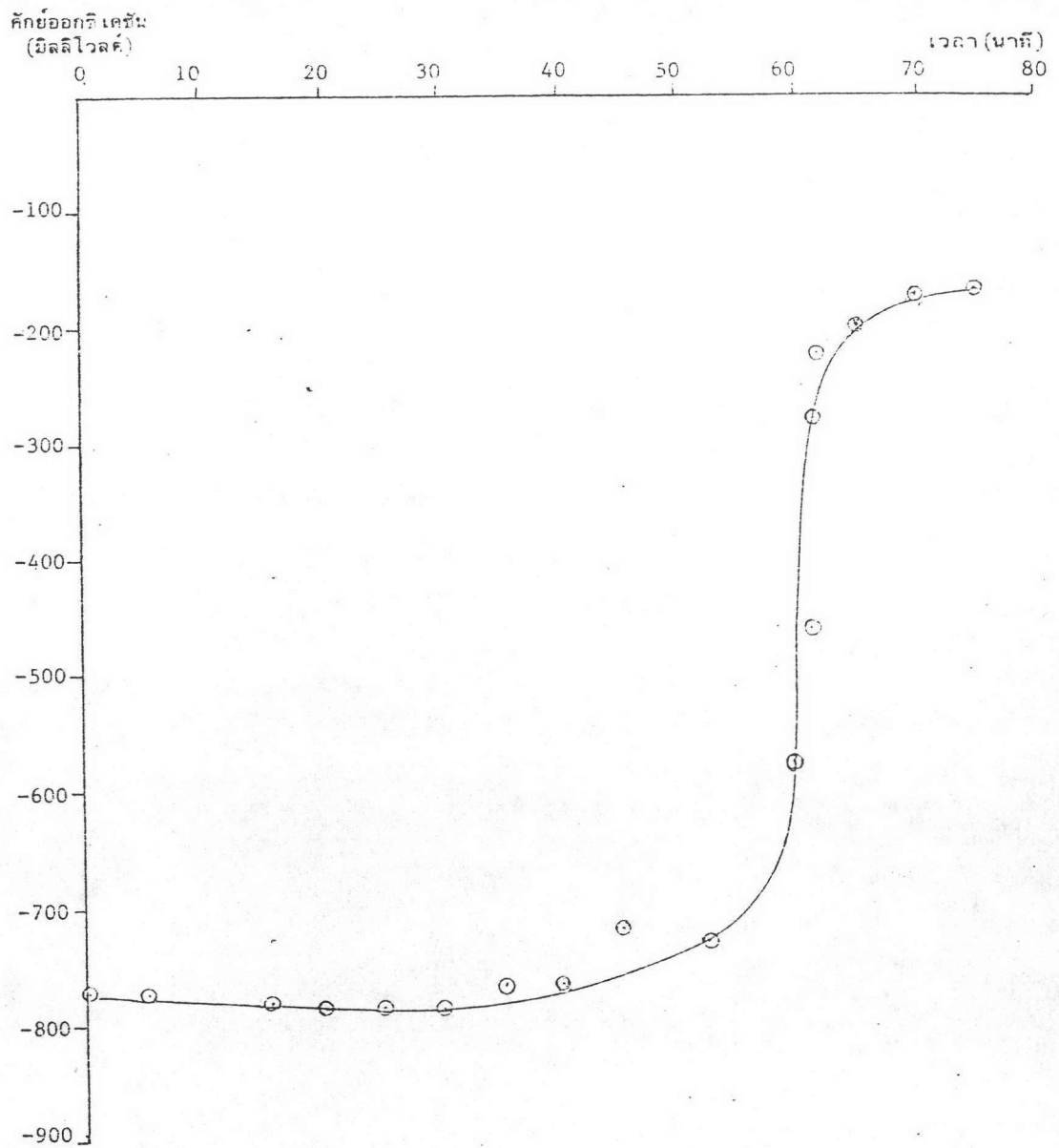
พีเอช	อุณหภูมิ (°ซ.)	ช่วงศักย์ออกซิเดชัน (มิลลิโวลต์)	เวลาการคงไว้ (นาที) (Retention time)	ลักษณะและสีตะกอน	ความเป็นสาร แม่เหล็ก	ความเข้มข้นหลังกำจัด (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์ เดซิเมตร)	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
9	55	-700 ถึง -260	58	ดำ, หนัก	++++ (≈4 ชม.)	0.028	99.97
10	55	-800 ถึง -100	52.5	ดำ, เบา	+ (≈1 ชม.)	0.028	99.97
11	55	-800 ถึง -225	47.5	ดำ, เบา	++ (≈2 ชม.)	0.037	99.96
9	60	-775 ถึง 0	50	ดำ, หนัก	++(≈2.2 ชม.)	0.060	99.94
10	60	-825 ถึง -150	47.5	ดำ, หนัก	+ (≈1.5 ชม.)	0.032	99.97
11	60	-875 ถึง -200	50	ดำ, เบา	+++ (≈2.5 ชม.)	0.042	99.96
9	65	-800 ถึง 0.0	55	ดำ, หนัก	++(≈2.5 ชม.)	0.018	99.98
10	65	-800 ถึง -100	55	ดำ, เบา	+ (≈1 ชม.)	0.023	99.98
11	65	-800 ถึง -100	56	ดำ, เบา	+ (≈1.5 ชม.)	0.042	99.96
9	70	-650 ถึง -100	52.5	ดำ, หนัก	+ (≈1.5 ชม.)	0.042	99.96
10	70	-725 ถึง 0	55	ดำ, หนัก	++ (≈2 ชม.)	0.051	99.95
11	70	-825 ถึง -100	50	ดำ, หนัก	+++ (≈3 ชม.)	0.042	99.96
9	75	-750 ถึง + 60	57.5	ดำ, หนัก	+ (≈1.5 ชม.)	0.023	99.98

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

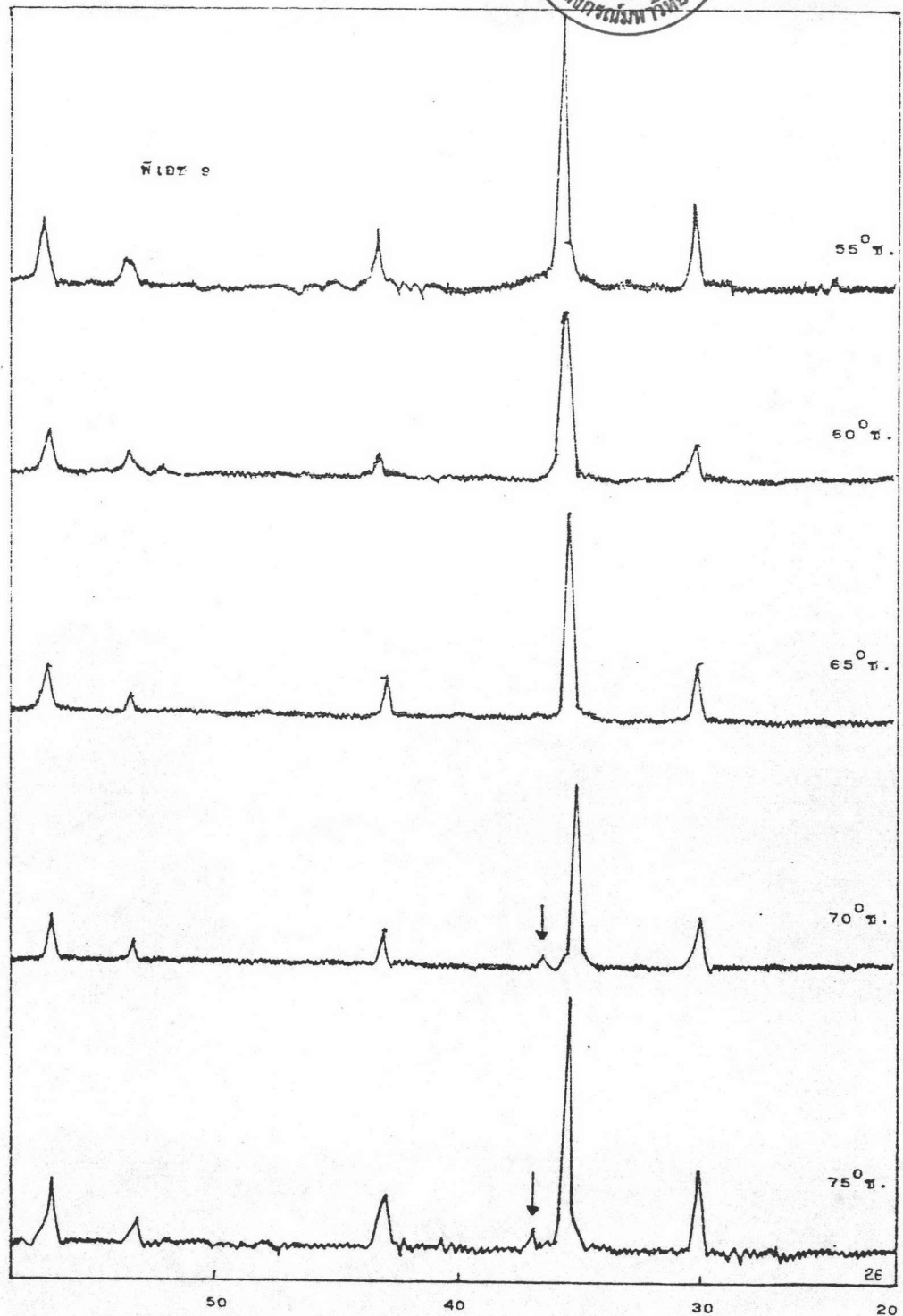
พีเอช	อุณหภูมิ (^o ซ.)	ช่วงศักย์ออกซิเดชัน (มิลลิโวลต์)	เวลาการคงไว้ (นาที) (Retention time)	ลักษณะและสีตะกอน	ความเป็นสาร แม่เหล็ก	ความเข้มข้นหลังกำจัด (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์ เดซิเมตร)	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
10	75	-775 ถึง - 50	53	ดำ, หนัก	++ (≈2 ชม.)	0.037	99.96
11	75	-850 ถึง -125	45	ดำ, หนัก	+ (≈1 ชม.)	0.083	99.92

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ออกซิเดชันของแคดเมียม 100 มิลลิกรัมต่อ
ลูกบาศก์เดซิเมตร ที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 55^oซ.

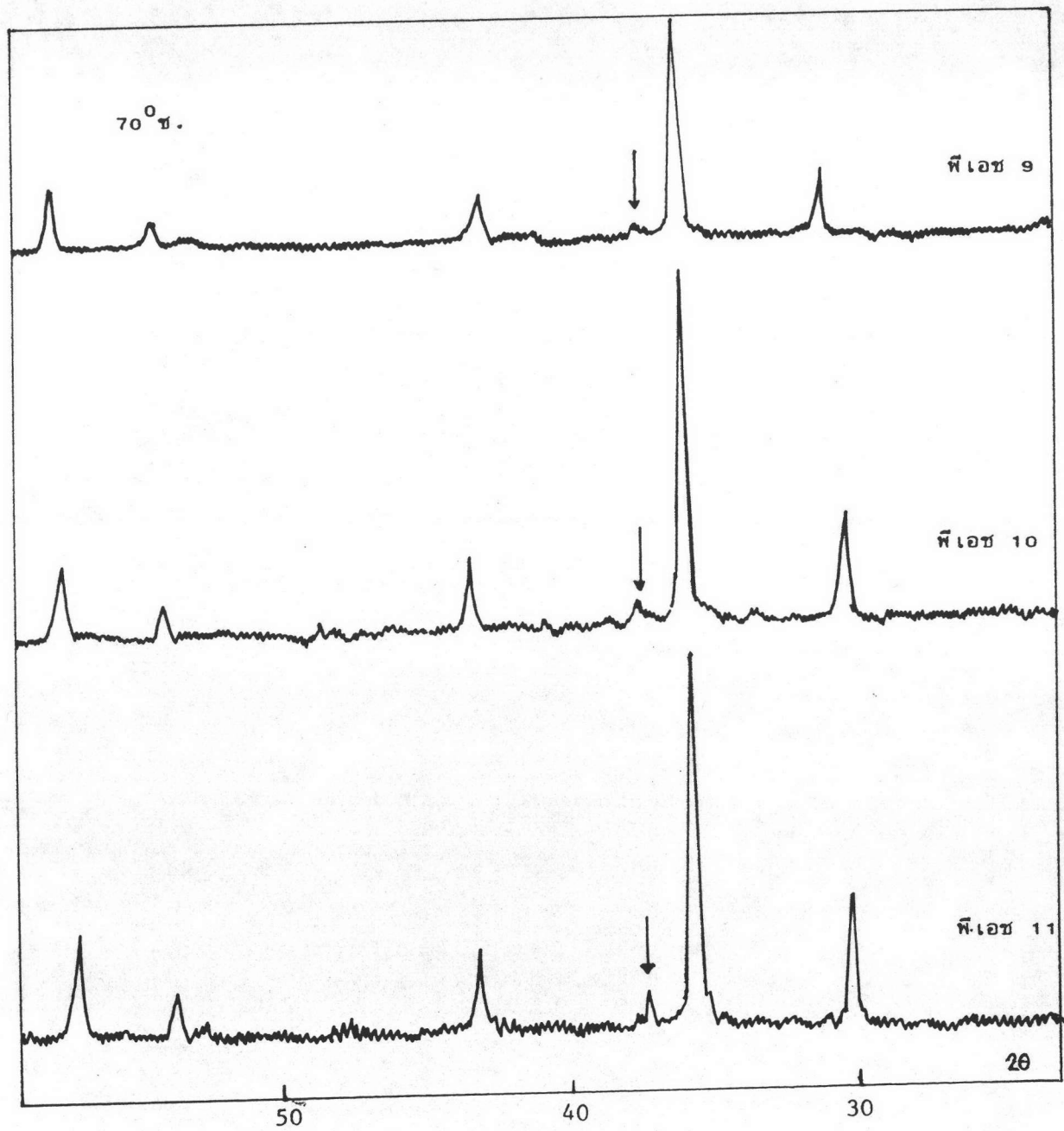
เวลา (นาที)	ค่าศักย์ออกซิเดชัน (มิลลิโวลต์)	พีเอช
0	-778	9.20
5	-780	9.25
10	-784	9.25
15	-783	9.30
20	-785	9.30
25	-785	9.20
30	-785	9.20
35	-765	9.10
40	-767	9.10
45	-722	9.10
55	-734	9.10
60	-580	9.10
61	-460	9.00
61.5	-284	9.00
62	-227	9.00
63	-204	9.00
63.5	-194	9.10
64	-200	9.10
65	-208	9.10
70	-180	9.10
75	-176	9.10



รูปที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงศักย์ออกซิเคชัน (มิลลิโวลต์) ของการกำจัดแคดเมียม 100 มก./ลบ.ซม. ด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์เอช 9, อุณหภูมิ 55^oซ.



รูปที่ 4.5 X-ray Diffraction Patterns ของตะกอนเฟอร์ไรต์จากการกำจัดแคดเมียม
ด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ทีซีเอช ๑ อุณหภูมิ 55°, 60°, 65°, 70° และ 75° ซ.
ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 X-ray Diffraction Patterns ของตะกอนเฟอร์ไรต์ จากการกำจัดแคดเมียม ด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ที่ 70° ซ. พีเอช 9, 10 และ 11 ตามลำดับ

4.3 การศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมที่ผสมกันผุ่พร้อม ๆ กัน

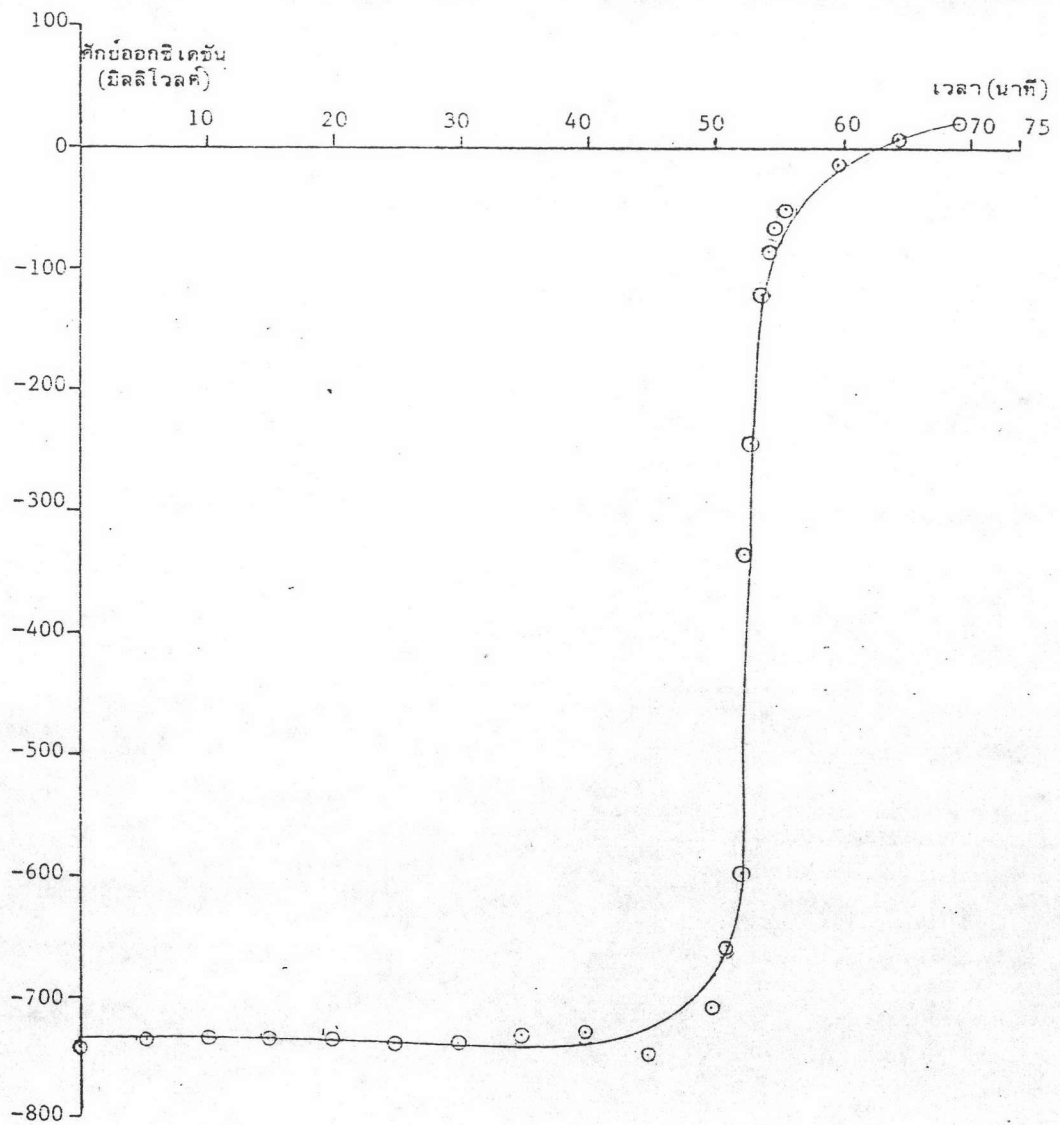
เมื่อพิจารณาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดตะกั่วพร้อมกันกับการกำจัดแคดเมียม จากตารางที่ 4.1 และ 4.3 พบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วชนิดเดียวคือ พีเอช 9 อุณหภูมิ 70⁰ซ. ส่วนเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดแคดเมียมชนิดเดียวคือ พีเอช 9 55⁰ซ. (กำจัดได้ช่วงกว้าง 55⁰-75⁰ซ.) แต่เนื่องจากที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 55⁰ซ. สามารถกำจัดตะกั่วได้น้อยกว่า และตะกอนที่ได้มีความเป็นสารแม่เหล็กน้อยกว่าที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 70⁰ซ. จึงเลือกพีเอช 9 อุณหภูมิ 70⁰ซ. ตามเงื่อนไขที่ใช้กำจัดตะกั่ว เพื่อที่ว่าจะได้กำจัดตะกั่วและแคดเมียมพร้อม ๆ กันได้ดี สำหรับผลการศึกษาระบวนการเพอร์ไรท์ในการกำจัดแคดเมียมที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 70⁰ซ. มีดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.7 ส่วนผลการทดลองกำจัดตะกั่วและแคดเมียมที่ผสมกันอยู่ชนิดละ 100 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.8 เมื่อศึกษาความเป็นสารแม่เหล็กของตะกอนเพอร์ไรท์ที่ได้ที่เงื่อนไขดังกล่าวด้วย X-ray Diffractometer เทียบกับตะกอนที่ได้เมื่อเทียบกับแมลงค์ (Blank) พบว่าพีคของสารแม่เหล็กจะปรากฏที่เดียวกันและมีความสูงน้อยกว่า และจากพีคที่ปรากฏไม่พบเกอไตต์เลย ดังรูปที่ 4.9

4.4 การศึกษาอัตราส่วนโมลที่เหมาะสมในการกำจัดสารผสมของตะกั่วและแคดเมียม

จากตัวอย่างน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นมาที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ทดลองกำจัดด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์ที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 70⁰ซ. ผลการทดลองอัตราส่วนโมลต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.7 จากผลการทดลองพบว่าที่ค่าอัตราส่วนโมล $Pb^{2+} \times 10^{-2} / Iron_{total}$ ในสารละลายตั้งต้นต่ำกว่าหรือเท่ากับ 1.383 และค่าอัตราส่วนโมล $Cd^{2+} \times 10^{-2} / Iron_{total}$ ในสารละลายตั้งต้นต่ำกว่าหรือเท่ากับ 2.549 จะสามารถให้ประสิทธิภาพในการกำจัดได้ดี และให้ตะกอนเพอร์ไรท์ซึ่งเป็นตะกอนค้ำสนิท หนัก และเป็นสารแม่เหล็กด้วยส่วนอัตราส่วนโมลที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองกำจัดโลหะหนักทั้งสองนี้เท่ากัน พบว่าอัตราส่วนโมล $Pb^{2+} \times 10^{-2} / Iron_{total}$ ในสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 0.691 และ $Cd^{2+} \times 10^{-2} / Iron_{total} = 1.274$ เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักทั้งสองสูงถึง 99.91 % และ 99.97% ตามลำดับ และตะกอนที่ให้เป็นตะกอนเพอร์ไรท์ซึ่งมีความเป็นแม่เหล็ก จากผลการทดลองนี้ พบว่ากระบวนการเพอร์ไรท์สามารถที่จะกำจัดโลหะหนักทั้งสองชนิดนี้ได้แม้จะมีความเข้มข้นต่ำเพียง 0.1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ออกซิเดชันของแคดเมียม 100 มิลลิกรัมต่อ
ลูกบาศก์เดซิเมตร ที่พีเอช ๙ อุณหภูมิ 70⁰ซ.

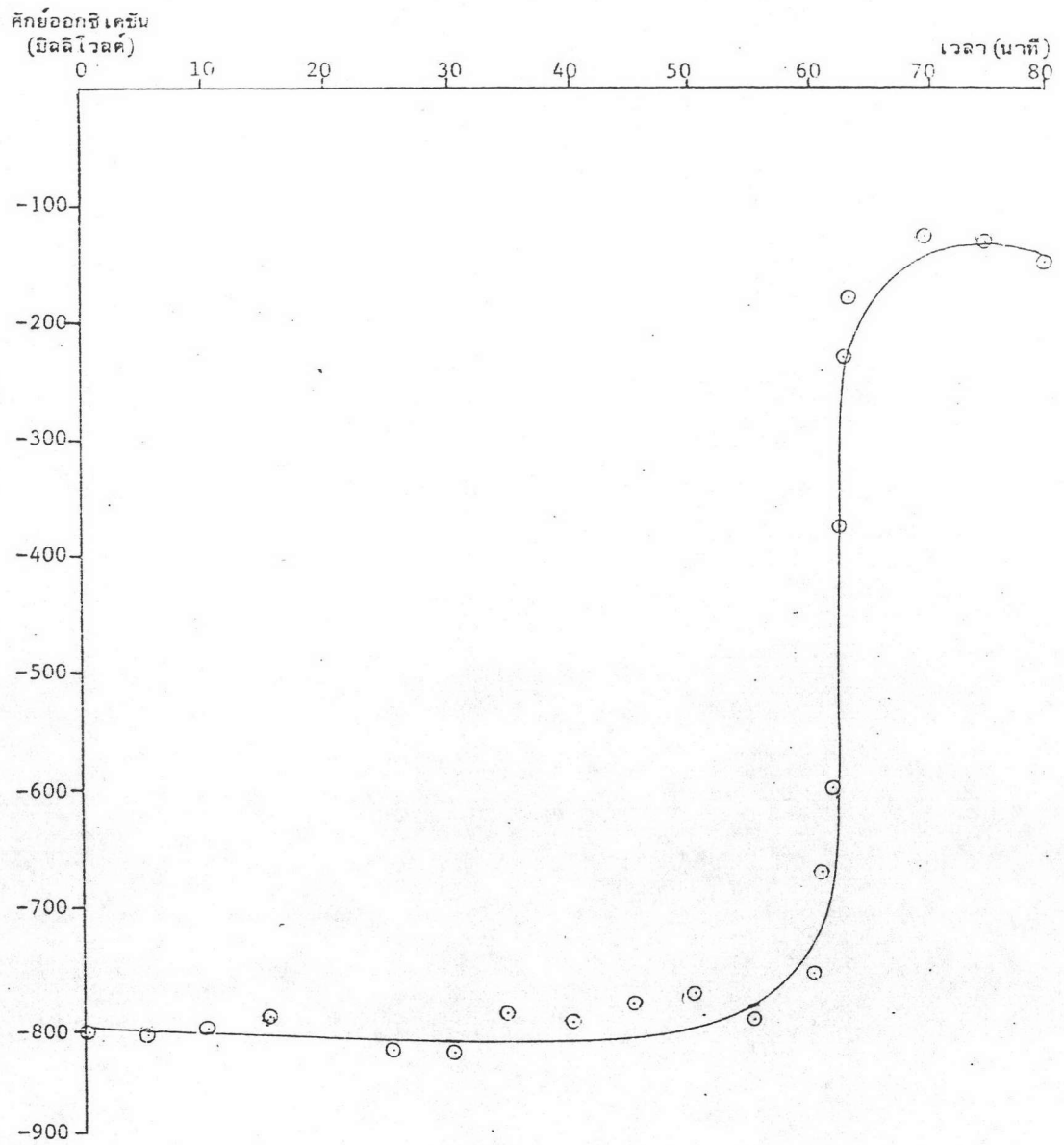
เวลา (นาท)	ค่าศักย์ออกซิเดชัน (มิลลิโวลต์)	พีเอช
0	-739	๙.10
5	-737	๙.05
10	-736	๙.04
15	-733	๙.01
20	-733	๙.05
25	-738	๙.05
30	-739	๙.02
35	-736	๙.14
40	-731	๙.20
45	-748	๙.05
50	-708	๙.00
51	-664	๙.10
52	-600	๙.10
52.5	-343	๙.10
53	-250	๙.10
53.5	-170	๙.10
54	-117	๙.00
54.5	- 84	๙.10
55	- 69	๙.20
55.5	- 57	๙.20
56	- 51	๙.20
60	- 13	๙.20
65	2	๙.20
70	16	๙.20



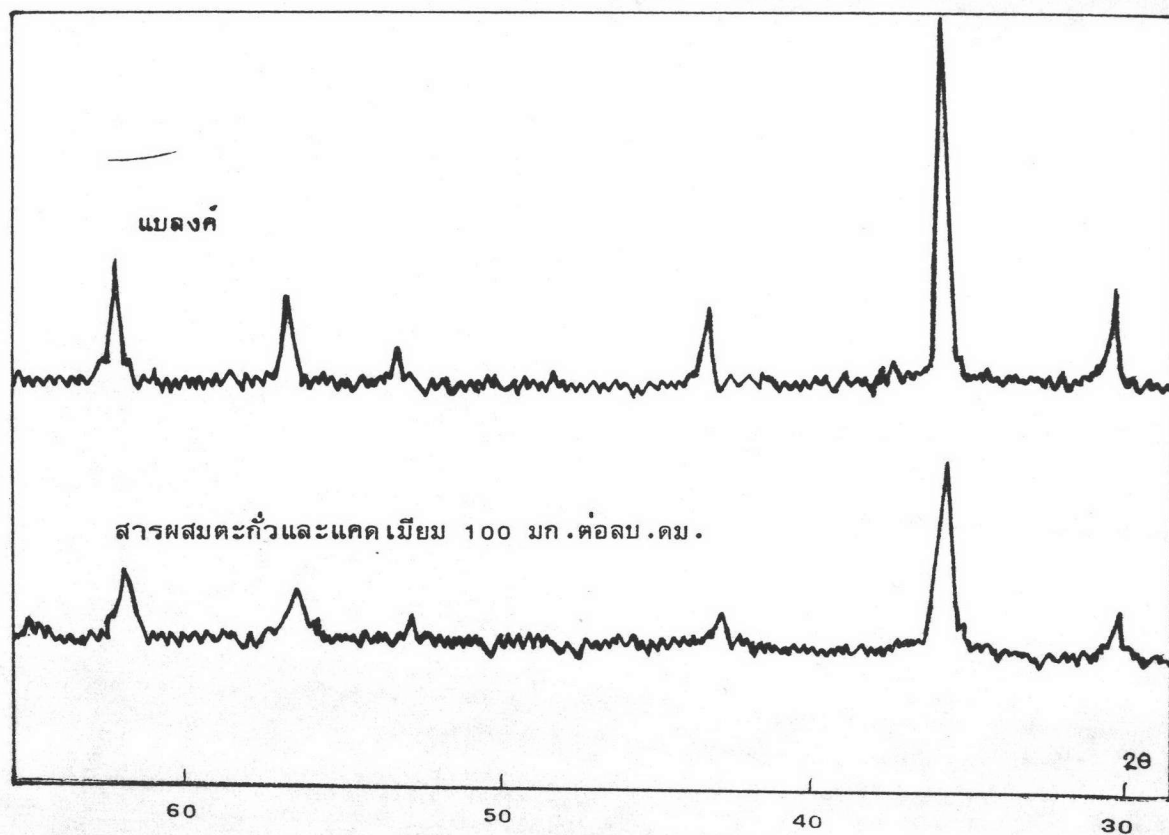
รูปที่ 4.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าคักซ์ออกซิเคชัน (มิลลิโวลต์) ของการกำจัดแคดเมียม 100 มก/ลบ.คม. ด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์ พีเอช 9, อุณหภูมิ 70⁰ซ.

ตารางที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ออกซิเดชันของสารผสมตะกั่วและแคดเมียม 100 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร พีเอช 9 อุณหภูมิ 70⁰ซ.

เวลา (นาที)	ค่าศักย์ออกซิเดชัน (มิลลิโวลต์)	พีเอช
0	-812	9.13
5	-815	9.13
10	-810	9.20
15	-803	9.20
20	-823	9.18
25	-834	9.23
30	-831	9.15
35	-798	9.15
40	-803	9.15
45	-792	9.15
50	-786	9.10
55	-798	9.10
60	-764	9.10
61	-677	9.25
62	-609	9.20
62.5	-379	9.20
63	-230	9.30
63.5	-177	9.30
65	-153	9.30
70	-127	9.30
75	-130	9.10
80	-150	9.30



รูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ออกซิเดชัน (มิลลิโวลต์) ของการกำจัด ตะกั่วและแคดเมียม 100 มก./ลบ.คม. ด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ ที่ พีเอช 9, อุณหภูมิ 70 ช.



รูปที่ 4.9 X-ray Diffraction Patterns ของตะกอนเฟอร์ไรต์ จากการกำจัดสารตะกั่วและแคดเมียมด้วยกระบวนการเฟอร์ไรต์ที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 70⁰ซ.

ตารางที่ 4.7 สรุปผลการศึกษาคัควาส่วนไมล $Pb^{2+}/Iron_{total}$ และ $Cd^{2+}/Iron_{total}$ ที่พอเหมาะในการกำจัดสารละลายผสมของตะกั่วและแคดเมียม ด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์ ที่เอช 9 อุณหภูมิ 70⁰ซ.

ปริมาณ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (กรัม)	ความเข้มข้นก่อนกำจัด (มก./ลบ.คม.)		ความเข้มข้นหลังกำจัด (มก./ลบ.คม.)		อัตราส่วนไมล*		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)		ช่วงศักย์ออกซิเดชัน (มิลลิโวลต์)	เวลาการคงไว้ (นาที) (Retention time)	ลักษณะและสีตะกอน	ความเป็นสารแม่เหล็ก
	ตะกั่ว	แคดเมียม	ตะกั่ว	แคดเมียม	$Pb^{2+} \times 10^{-2}$	$Cd^{2+} \times 10^{-2}$	ตะกั่ว	แคดเมียม				
					$Iron_{total}$	$Iron_{total}$						
14.4	0	0	-	-	0	0	-	-	-825 ถึง 100	62.5	ค่า, หนัก	++ (2 ชม.)
14.4	1000	1000	0.183	9.542	6.915	12.747	99.98	99.04	-600 ถึง -320	61	น้ำคาลปนแดง, เพา	-
28.8	1000	1000	1.820	46.317	3.458	6.374	99.84	95.37	-620 ถึง -380	28	เบียวขี้ม้า, เพา	-
3.6	100	100	0.200	0.051	2.977	5.497	99.80	99.95	-720 ถึง -190	41	น้ำคาลปนแดง, เพา	-
7.2	100	100	0.183	0.128	1.363	2.549	99.82	99.87	-680 ถึง -300	42	ค่า, หนัก	+ (1 ชม.)
14.4	100	100	0.091	0.025	0.691	1.274	99.91	99.97	-800 ถึง -125	62.5	ค่า, หนัก	++ (2 ชม.)
28.8	100	100	0.320	0.049	0.346	0.637	99.68	99.95	-730 ถึง -270	70	ค่า, หนัก	+ (1.2 ชม.)
14.4	10	10	0.000	0.031	0.069	0.127	100.00	99.69	-850 ถึง -330	50	ค่า, หนัก	++ (2.2 ชม.)
14.4	1	1	0.091	0.025	0.007	0.013	90.90	97.50	-800 ถึง -100	67.5	ค่า, หนัก	+ (1.5 ชม.)
14.4	0.5	0.5	0.000	0.051	0.004	0.007	100.00	99.80	-785 ถึง -230	40.5	ค่า, หนัก	++ (2 ชม.)
14.4	0.1	0.1	0.003	0.002	0.007	0.0013	97.00	98.00	-850 ถึง -250	57	ค่า, หนัก	++ (2 ชม.)

*หมายเหตุ อัตราส่วนไมลนี้หมายถึง อัตราส่วนจำนวนไมลของสารละลายตั้งต้น (initial solution)

4.5 การศึกษาผลของตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิดที่มีต่อการกำจัดสารผสมตะกั่วและแคดเมียมด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์

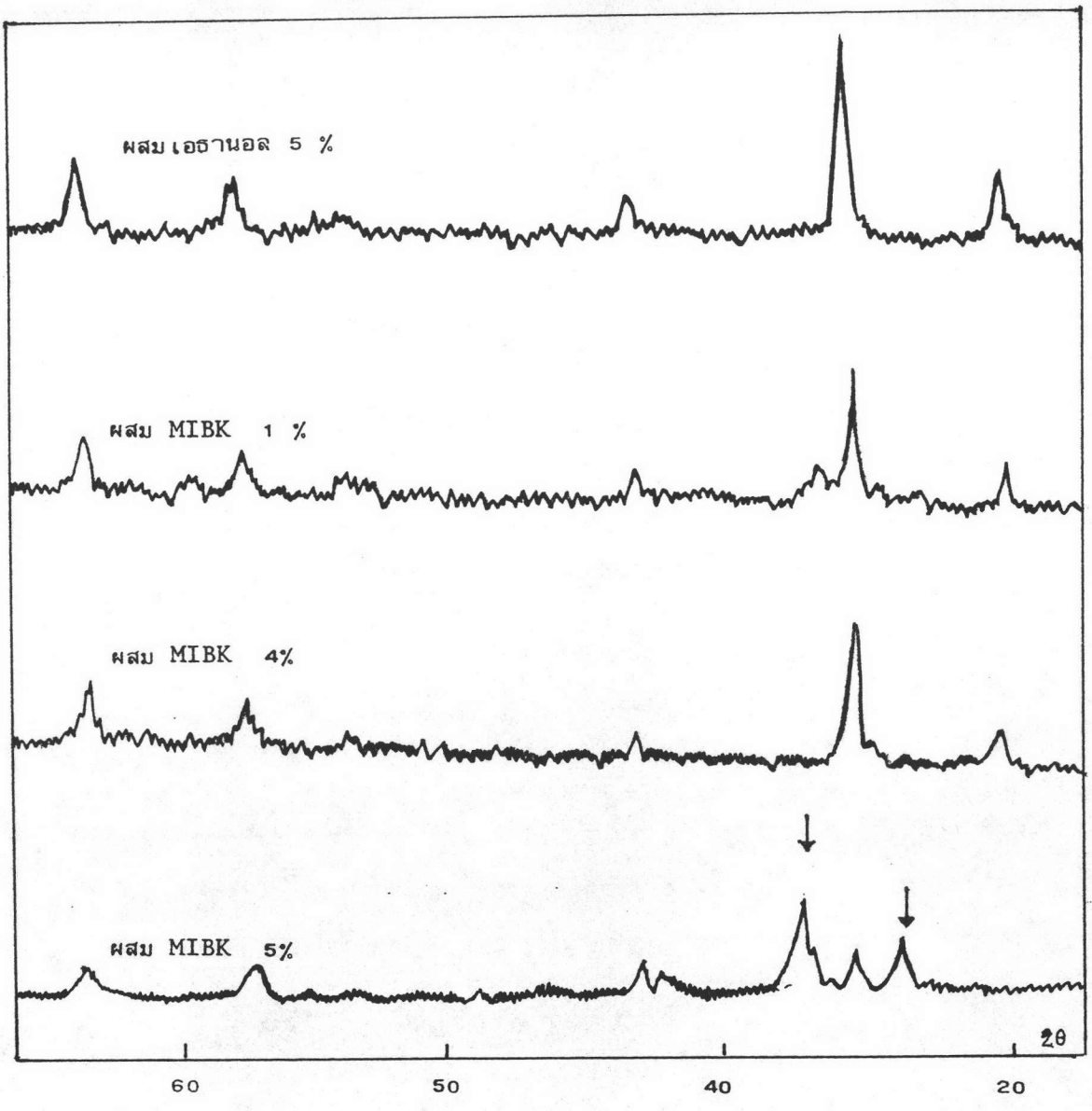
จากตัวอย่างน้ำเสียที่ส่งเคราะห์ขึ้นมาของสารผสมตะกั่วและแคดเมียม 100 มิลลิกรัม ต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ทดลองที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 70⁰ซ. พบว่าเอทานอลไม่มีผลต่อการกำจัด ตะกั่วและแคดเมียมด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์ เนื่องจากยังคงให้ประสิทธิภาพในการกำจัด โลหะหนักทั้งสองนี้สูงและตะกอนที่ได้เป็นตะกอนเพอร์ไรท์ แม้จะเติมเอทานอลมากถึง 10% ก็ตาม ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ส่วน MIBK นั้น เนื่องจากไม่สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำได้ จึงแยกชั้นกับ น้ำในขณะทดลองกระบวนการเพอร์ไรท์ และในขณะเดียวกันโลหะหนัก บางส่วนก็สามารถ ละลายในชั้น MIBK ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีปริมาณ MIBK 5% มีผลให้ตะกอนที่ได้ไม่ เกิดเป็นตะกอนเพอร์ไรท์

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.10 ซึ่งเป็นการทดลองนำตะกอนที่ได้จากการทดลองกำจัด โลหะหนักผสมขณะเมื่อมีเอทานอล และ MIBK ผสมอยู่ พบว่า X-ray Diffraction Patterns ของตะกอนที่มี MIBK ผสม 5% จะไม่ปรากฏทิศของความเป็นสารแม่เหล็กชัดเจน (น้อยมาก) แต่จะปรากฏทิศของ เกอไตต์มากที่สุดสอดคล้องกับผลการทดลองซึ่งได้ตะกอนสีเขียว ชี้อันเป็นตะกอนของ เกอไตต์

ตารางที่ 4.8 สรุปผลการศึกษามลของตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีต่อการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์ ที่เอช 9, อุณหภูมิ 70^oซ.

ชนิดตัวทำละลายอินทรีย์	%ตัวทำละลายอินทรีย์	ความเข้มข้นก่อนกำจัด (มิลลิกรัมต่อ ลูกบาศก์ เดซิ เมตร)		ความเข้มข้นหลังกำจัด (มิลลิกรัมต่อ ลูกบาศก์ เดซิ เมตร)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)		ช่วงศักย์ออกซิเดชัน (มิลลิโวลต์)	เวลาการคงไว้ (นาที)	ลักษณะและสีตะกอน	ความเป็นสารแม่เหล็ก
		ตะกั่ว	แคดเมียม	ตะกั่ว	แคดเมียม	ตะกั่ว	แคดเมียม				
Ethanol (b.p. 78.2 ^o c)	5	100	100	0.137	0.348	99.86	99.65	-785 ถึง -230	36.0	ดำ, หนัก	++ (2 ชม.)
	10	100	100	0.352	5.054	99.65	94.85	-660 ถึง -400	37.5	ดำ, หนัก	+++ (4 ชม.)
								-301 ถึง -60	55.8		
								-740 ถึง -755	32.5		
MIBK (b.p. 118.8 ^o c)	1	100	100	0.000	0.260	100	99.64	-686 ถึง -651	55.5	ดำ, เปราะหนัก	+ (1.5 ชม.)
	2.5	100	100	0.000	0.000	100	100	-687 ถึง -602	33.5	ดำ, หนัก	+ (1.5 ชม.)
								-588 ถึง -532	74.0		
	3	100	100	0.000	0.102	100	99.90	-680 ถึง -480	45.5	ดำ, หนัก	++ (2.5 ชม.)
	4	100	100	0.000	0.000	100	100	-510 ถึง -210	74.0	ดำ, หนัก	+++ (3 ชม.)
5	100	100	0.087	4.023	99.91	99.98	-752.5 ถึง -632	28.0	เขียวขี้ม้า, เบา	-	



รูปที่ 4.10 X-ray Diffraction Patterns ซึ่งแสดงผลของตัวทำละลายอินทรีย์ ที่มีต่อการกำจัดสารผสมตะกั่วและแคดเมียม ด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์

4.6 การทดลองกำจัดสารผสมตะกั่วและแคดเมียมโดยวิธีตกตะกอนแบบธรรมดา (Conventional Chemical Precipitation)

ผลการทดลองกำจัดสารผสมของตะกั่วและแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่สังเคราะห์ขึ้นมาด้วย 4N NaOH ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9

พบว่า พีเอชที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมได้สูงพร้อมกันในช่วง 9.1-9.9% คือ พีเอช 10 ตะกอนที่ได้เป็นตะกอนขาวและเบา สำหรับที่พีเอช 9 และ 11 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักต่ำกว่า และค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 13.14 ถึง 98.05% (สำหรับตะกั่ว) และ 19.76 ถึง 99.99% (สำหรับแคดเมียม) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัดโลหะหนักทั้งสองนี้โดยวิธีจากตะกอนแบบธรรมดากับกระบวนการเฟอร์ไรท์ ณ ที่ความเข้มข้นผสม 1000, 100 และ 10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ที่เงื่อนไข 9 อุณหภูมิ 70^oซ. พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมจะมากกว่า 99%

จากการทดลองศึกษาการตกตะกอนตะกั่วและแคดเมียมโดยวิธีการตกตะกอนแบบธรรมดา พบว่าตะกอนที่เกิดมีลักษณะตะกอนเบา และเป็นคอลลอยด์ (colloid) ทำให้ตกตะกอนนอนกันได้ง่าย และตะกอนที่นอนกันนี้พบว่าแม้จะกรองมาแล้วก็ตามก็จะมีส่วนที่เป็นน้ำปนอยู่มาก และต้องใช้เวลาในการกรองด้วยกระดาษ GF/C ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นจะใช้วิธีการแยกตะกอนไฮดรอกไซด์ของโลหะหนักโดยการปล่อยให้มีส่วนใสด้านบนไหลไป จึงมีผลให้ตะกอนบางส่วนไหลไปกับน้ำทิ้งได้ อันเนื่องจากลักษณะของตะกอนไฮดรอกไซด์นี้ เมื่อเปรียบเทียบกับตะกอนเฟอร์ไรท์ซึ่งเป็นตะกอนหนักสามารถนอนกันได้เร็วภายในเวลาประมาณ 7 นาที ฉะนั้นในทางปฏิบัติก็จะกระทำได้ดีกว่า นอกจากนั้นปัญหาของตะกอนไฮดรอกไซด์ที่ได้ยังจะเกิดต่อได้อีกถ้าไม่เลือกจุดยั่งที่ดี ในขณะที่ปัญหาในข้อนี้ของตะกอนเฟอร์ไรท์จะไม่มี และยังไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อได้อีก

ตารางที่ 4.9 สรุปผลการทดลองตกตะกอนสารผสมตะกั่วและแคดเมียมด้วยวิธีตกตะกอนแบบธรรมดา

พีเอช	ความเข้มข้นก่อนกำจัด (มก./ลบ.ดม.)		ความเข้มข้นหลังกำจัด (มก./ลบ.ดม.)		ลักษณะและสีตะกอน	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			
	ตะกั่ว	แคดเมียม	ตะกั่ว	แคดเมียม		ตกตะกอนธรรมดา		กระบวนการเฟอร์ไรท์	
						ตะกั่ว	แคดเมียม	ตะกั่ว	แคดเมียม
9	1000	1000	93.668	533.333	ขาว, เบา	90.63	46.67	99.98	99.04
10	1000	1000	13.701	42.122	ขาว, เบา	98.63	95.79	-	-
11	1000	1000	292.428	80.25	ขาว, เบา	70.76	91.97	-	-
9	100	100	0.198	26.482	ขาว, เบา	99.80	73.51	99.91	99.97
10	100	100	0.001	0.002	ขาว, เบา	99.99	99.98	-	-
11	100	100	1.946	0.003	ขาว, เบา	98.05	99.99	-	-
9	10	10	6.920	8.021	ขาว, เบา	30.80	19.79	100.00	99.69
10	10	10	0.119	0.864	ขาว, เบา	98.81	91.36	-	-
11	10	10	2.180	8.641	ขาว, เบา	78.20	91.36	-	-
9	5	5	4.343	0.073	ขาว, เบา	13.14	98.54	-	-
10	5	5	0.121	0.002	ขาว, เบา	97.58	99.96	-	-
11	5	5	3.267	0.038	ขาว, เบา	34.66	99.24	-	-

หมายเหตุ ที่ความเข้มข้น 1 และ 0.1 มก./ลบ.ดม. ไม่สามารถสังเกตเห็นการตกตะกอนด้วย 4N NaOH ได้ (∵ มีปริมาณน้อยมาก)

4.7 การศึกษาตัวอย่างน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากบริเวณห้องปฏิบัติการและจากห้องปฏิบัติการโดยตรง ในจุฬาฯ

ดังตารางที่ 4.10 พบว่า ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ถูกทิ้งออกจากห้องปฏิบัติการต่าง ๆ รวมถึงบริเวณสระน้ำที่คาดว่าน่าจะมีผลจากห้องปฏิบัติการมีปริมาณน้อยมากจนถึงไม่มีค่าความเป็นกรด, การนำไฟฟ้า ตลอดจนถึงพีเอชซึ่งมีค่าประมาณ 7 นับเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ปกติในสิ่งแวดล้อม ยกเว้นในกรณีของตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บมาหมายเลข 2,4 ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างน้ำเสียโดยตรงจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 และ 2 ตามลำดับ พิจารณาจากการวัดค่าความเป็นกรด, การนำไฟฟ้าพบว่า 2 ค่านี้มีค่าสูงกว่าค่าปกติมาก ๆ และโดยเฉพาะค่าพีเอชพบว่ามีค่าต่ำมากคือ เป็น 0.3 และ 0.5 ตามลำดับ เนื่องจากน้ำเสียที่เก็บทั้งสองตัวอย่างนี้เป็นน้ำเสียที่เข้มข้นไม่มีการเจือจางแต่อย่างใด

4.8 การทดลองศึกษากำจัดน้ำเสียหมายเลข 2,3,4 โดยกระบวนการเพอร์ไรท์

โดยทดลองกำจัดน้ำเสียแต่ละตัวอย่างที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 70⁰ซ. ทำการทดลองกำจัดซ้ำ 2 ครั้งในน้ำเสียหมายเลข และทดลองกำจัด 4 ครั้งในน้ำเสียหมายเลข 2 และ 4 และการทดลองได้เฉลี่ยค่าที่ทดลองได้แล้ว สรุปผลดังตารางที่ 4.11 ผลการทดลองค่าเฉลี่ยของการกำจัดน้ำเสียหมายเลข 2 ดังตารางที่ 4.12 รูปที่ 4.11 หมายเลข 3 ตารางที่ 4.13 รูปที่ 4.12 หมายเลขตารางที่ 4.14 รูปที่ 4.13 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ากราฟที่ลากจะเป็น 2 curve คาดว่าน่าจะเป็นที่เกิดจากการที่มีการกำจัดโลหะหนักหรือสารชนิดอื่นที่ปนมาด้วย และประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมพบว่าอยู่ในช่วง 97-99 ปี และตะกอนที่ได้มีความเป็นสารแม่เหล็กด้วยดังปรากฏในพีค X-ray Diffraction Patterns รูปที่ 4.14 ซึ่งจะมีเฉพาะพีคของสารที่เป็นแม่เหล็กเท่านั้น

ตารางที่ 4.10 ตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บจากบริเวณห้องปฏิบัติการ และจากห้องปฏิบัติการโดยมาในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันเดือนปี	ตัวอย่างที่	สถานที่เก็บตัวอย่าง	ลักษณะตัวอย่างน้ำ	ความเข้มข้น (มก./ลบ.ตม.)		พีเอช	อุณหภูมิ (^o ซ.)	ความเป็นกรด มก./ลบ.ตม.	การนำไฟฟ้า μ mhos/cm
				ตะกั่ว	แคดเมียม				
9.12.29	1	เคมี 1 (จากท่อ)	ใส	0.000	0.000	7.3	30	6.99	320
5.1.30	2	เคมี 1 (โดยตรง)	ขุ่นมีตะกอนเหลืองปนดำ	41.123	138.272	0.3	30	46,716.5	100,000
16.12.29	3	เคมี 2 (จากท่อ)	ใส	1.861	1.692	6.5	25	12.82	365
26.1.30	4	เคมี 2 (โดยตรง)	ขุ่นมีตะกอนเหลือง	42.890	374.474	0.5	25	32,387.0	90,000
9.12.29	5	สระน้ำข้างเคมี 2	ใส	0.000	0.000	6.9	20	15.14	465
9.12.29	6	วิทยาศาสตร์ทั่วไป	ใส	0.000	0.000	7.0	25	24.46	790
9.12.29	7	ตึกชีววิทยา 1	ใสมีความขุ่น	0.000	0.000	7.3	31	5.82	320
26.1.30	8	วิศวกรรมเคมี, วิศวกรรมโลหการและ นิวเคลียร์เทคโนโลยี	ขุ่น, ขาว	0.080	0.000	7.8	28	2.33	355
28.1.29	9	ตึก 7 ชั้น	ใส	0.000	0.000	7.3	25	19.76	275
9.12.29	10	สระใหญ่จุฬาฯ	ขุ่นเขียว	0.000	0.000	7.6	24	2.33	320
11.12.29	11	สระน้ำทิ้งเกสัช	ขุ่นเขียว	0.000	0.000	7.3	25	11.65	590
28.1.29	12	ทันตแพทย์	ใส	0.000	0.000	7.0	26	14.12	310

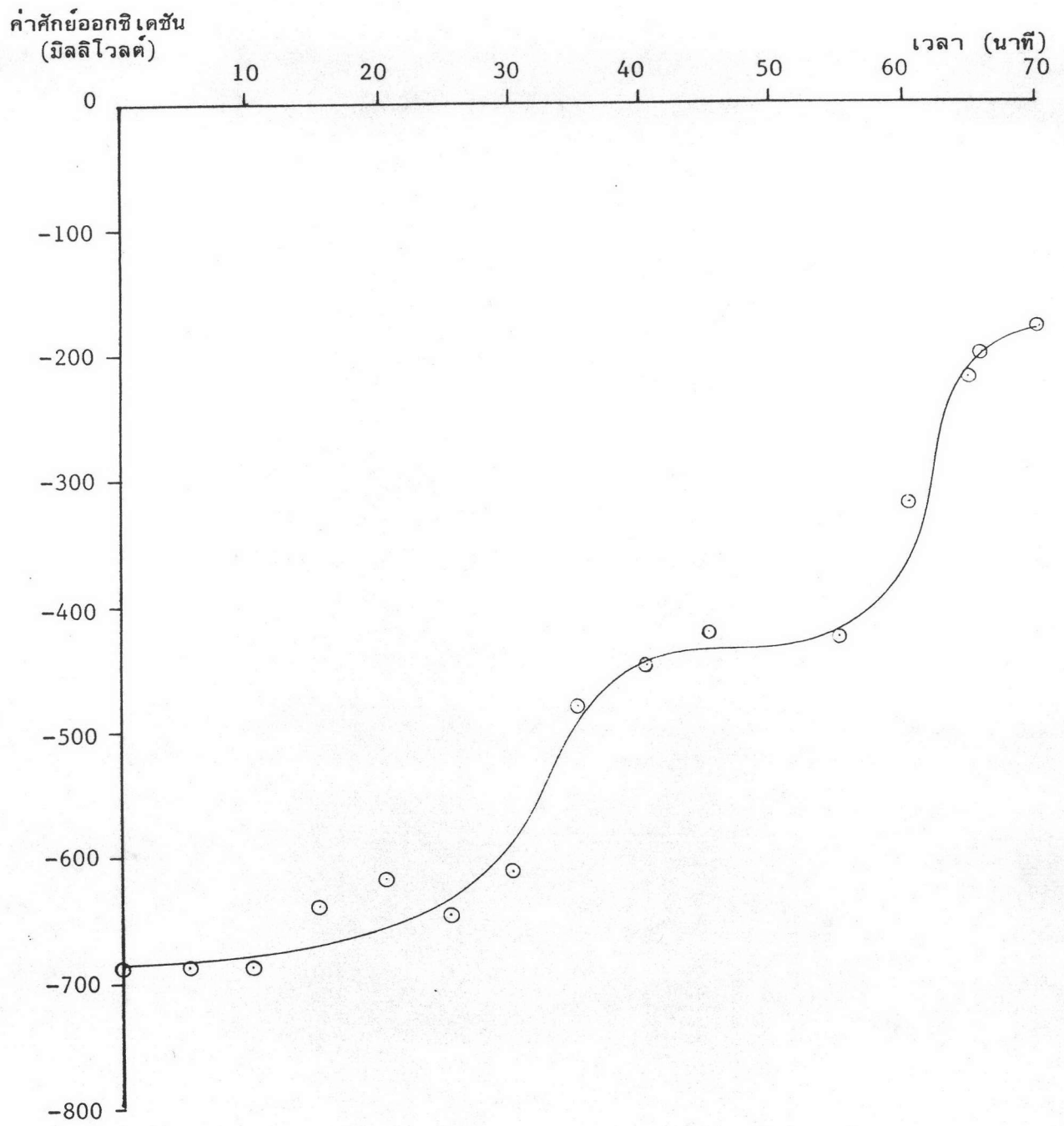
ตารางที่ 4.11 สรุปผลการทดลองกำจัดน้ำเสียด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์ ที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 70⁰ซ.

ตัวอย่างที่	สถานที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นก่อนกำจัด (มก./ลบ.ตม.)		ความเข้มข้นหลังกำจัด (มก./ลบ.ตม.)		ประสิทธิภาพ (%)		หมายเหตุ
		ตะกั่ว	แคดเมียม	ตะกั่ว	แคดเมียม	ตะกั่ว	แคดเมียม	
2	เคมี 1	41.123	138.272	0.618	0.317	98.50	99.77	เก็บโดยตรง
3	เคมี 2	1.861	1.692	0.036	0.048	98.06	97.16	เก็บจากท่อน้ำทิ้ง
4	เคมี 2	42.890	374.474	0.151	2.006	99.65	99.46	เก็บโดยตรง



ตารางที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ออกซิเดชันเฉลี่ยของการกำจัดน้ำเสียตัวอย่างที่ 2 ด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์

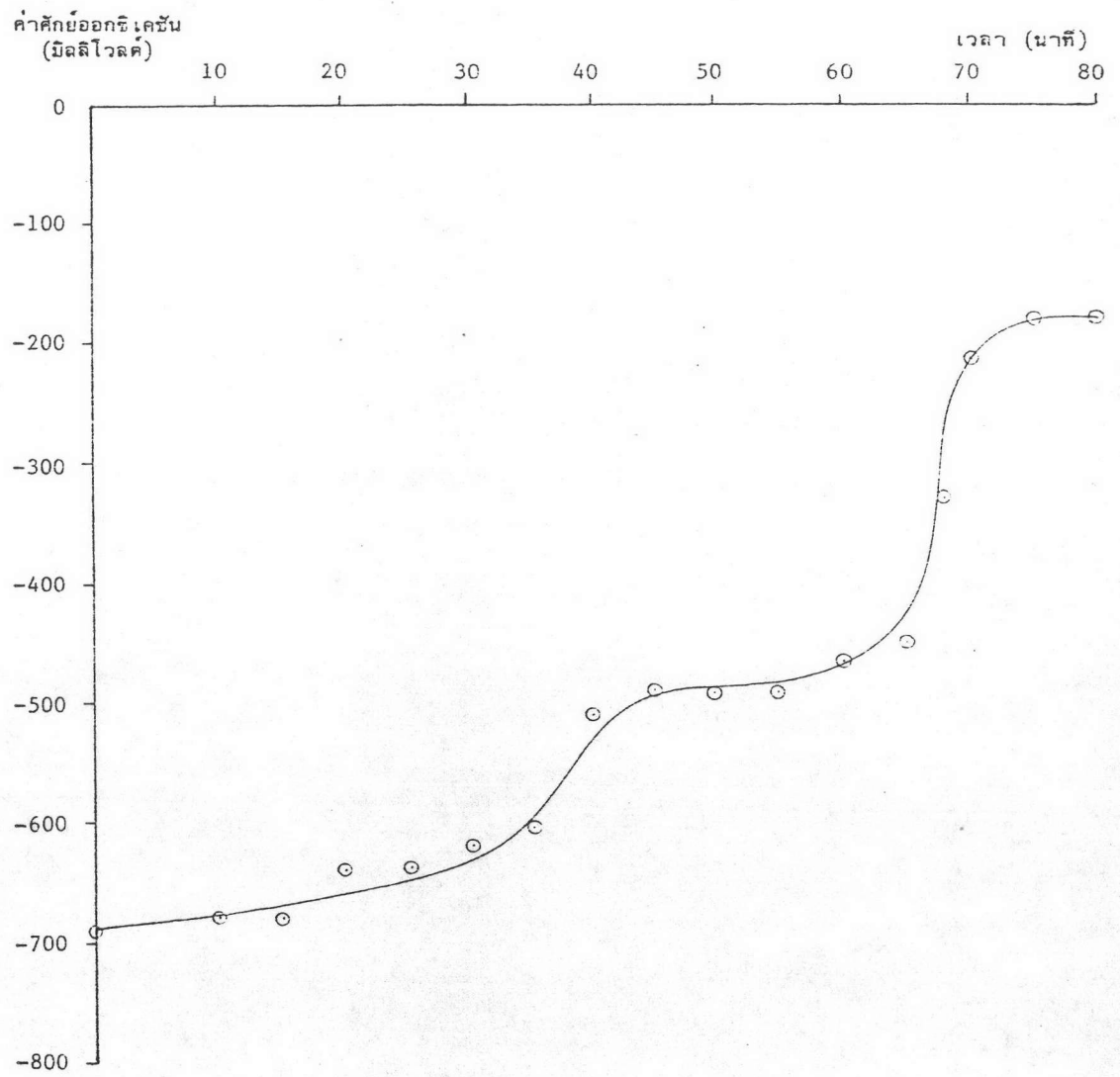
เวลา (นาที)	ค่าศักย์ออกซิเดชันเฉลี่ย (มิลลิโวลต์)
0	-693.7
5	-686.7
10	-691
15	-637
20	-617.2
25	-648.7
30	-617.2
35	-479
40	-450.5
45	-421
55	-434.2
60	-321.7
65	-219.7
65.5	-199.3
70	-184.7



รูปที่ 4.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ออกซิเดชันเฉลี่ยของการกำจัดน้ำเสีย ตัวอย่างที่ 2 ด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์

ตารางที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ออกซิเดชันเฉลี่ยของการกำจัดน้ำเสียตัวอย่าง 3 ด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์

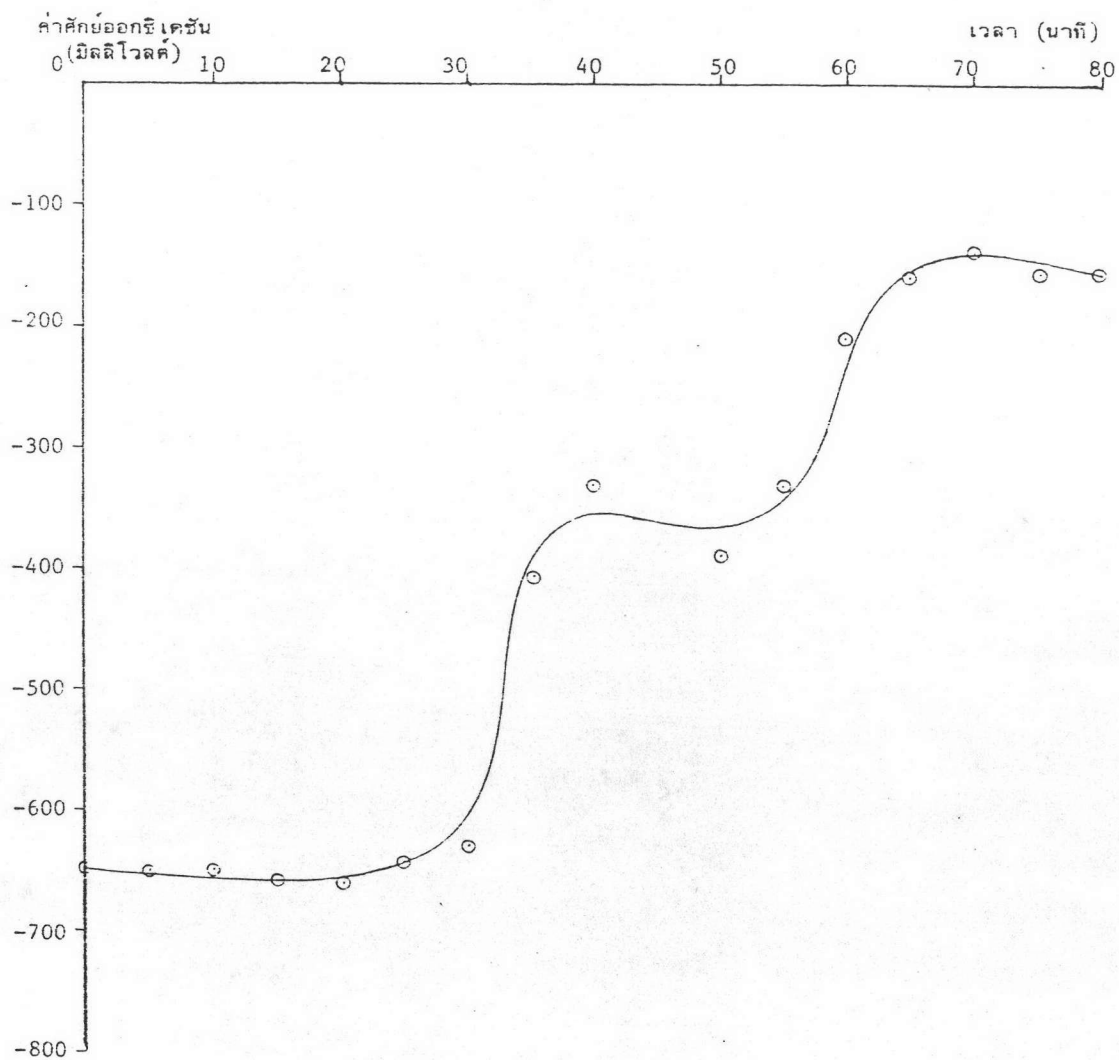
เวลา (นาที)	ค่าศักย์ออกซิเดชันเฉลี่ย (มิลลิโวลต์)
0	-690
5	-512.5
10	-678
15	-683
20	-642
25	-637
30	-624.5
35	-605
40	-510
45	-487
50	-486
55	-485.5
60	-465.5
65	-454.5
68	-327.5
70	-213
75	-179.5
80	-181.5



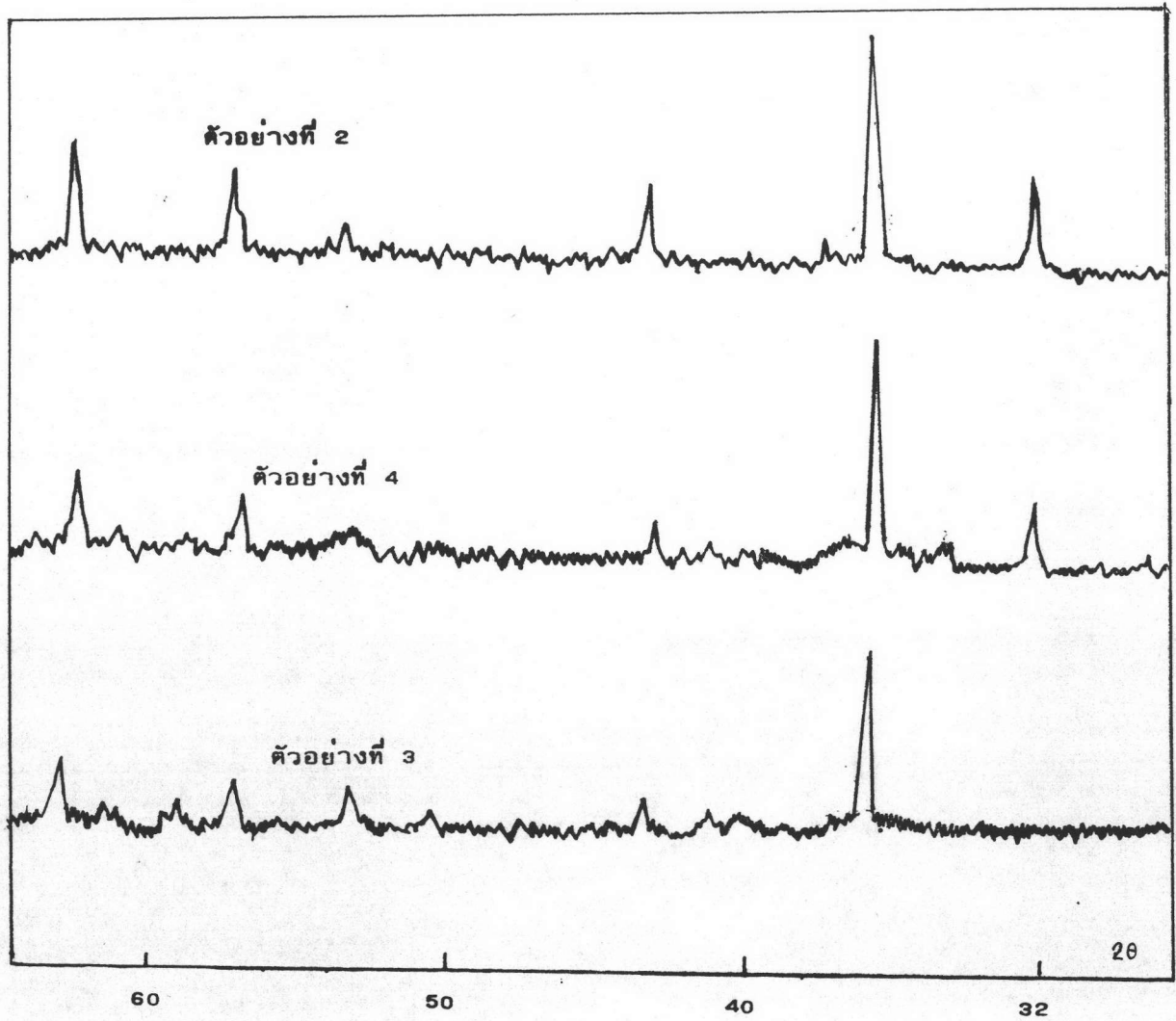
รูปที่ 4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ออกซิเคชันเฉลี่ยของการกำจัดน้ำเสีย ตัวอย่างที่ 3 ด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์

ตารางที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ออกซิเดชันเฉลี่ยของการกำจัดน้ำเสียตัวอย่างที่ 4
ด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์

เวลา (นาที)	ค่าศักย์ออกซิเดชันเฉลี่ย (มิลลิโวลต์)
0	-648.7
5	-651
10	-654.7
15	-661
20	-663
25	-645
30	-630.2
35	-409
40	-327.7
50	-387.7
55	-328.7
60	-209.5
65	-164
70	-144.7
75	-160.5
80	-158.5



รูปที่ 4.13 แสดงการ เปลี่ยนแปลงค่าศักย์ออกซิเคชันเฉลี่ยของการกำจัดน้ำเสียตัวอย่างที่ 4
ด้วยกระบวนการเฟอไรไรท์



รูปที่ 4.14 X-ray Diffraction Patterns ของตะกอนจากการกำจัดน้ำเสีย ตัวอย่างหมายเลข 2, 3 และ 4 ด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์ ที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 70°C .

4.9 การสำรวจชนิดและปริมาณการใช้โลหะหนักในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ได้ทำการสำรวจโดยการสัมภาษณ์อาจารย์ และ/หรือ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นผู้ควบคุมดูแลวัสดุสารเคมีในแต่ละภาควิชา โดยการใช้แบบสอบถาม ผลการสำรวจ ข้อมูลที่ได้อยู่ในช่วงปีการศึกษา 2526-2529 ดังแสดงในตารางที่ 4.15 โดยคาดว่าคณะที่เกี่ยวข้องกับการใช้โลหะหนักมากที่สุดคือ คณะวิทยาศาสตร์ และคณะเภสัชศาสตร์ สำหรับคณะอื่น ๆ ไม่ได้ทำการสำรวจ พบว่าภาควิชาเคมีและภาควิชาเภสัชพิษศาสตร์มีการใช้โลหะหนักชนิดและปริมาณสูงสุด

ตารางที่ 4.15 ชนิดและปริมาณโลหะหนักที่ใช้ตามห้องปฏิบัติการในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ช่วงปีการศึกษา 2526-2529

คณะ	ภาควิชา	ปีการศึกษา	ชนิดและปริมาณโลหะหนักที่ใช้ กรัม/ปี									ลักษณะงานที่ใช้	รูปแบบที่ใช้	หมายเหตุ	
			Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Fe	Hg	Ag	Ni				
วิทยาศาสตร์	เคมี	2526	1600	1000	1600	400	400	300	2400	400	400	ปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน	I ⁻ , Br ⁻ , PO ₄ ⁼ , CO ₃ ⁼ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁼		
		2527	1600	1000	1600	400	400	300	2400	400	400	สำหรับคณะวิทยา-			
		2528	1600	1000	1600	400	400	300	2400	400	400	ศาสตร์และคณะอื่นๆ			
		2529	1600	1000	1600	400	400	300	2400	400	400				
	เคมี	2526	-	-	1000	-	-	100	12	500	-	ปฏิบัติการฟิสิกส์เคมี			NO ₃ ⁼ , Cl ⁻ , CrO ₄ ⁼
		2527	-	-	1000	-	-	100	12	500	-				
		2528	-	-	1000	-	-	100	12	500	-				
		2529	-	-	1000	-	-	100	12	500	-				
	เคมี	2526	400	-	-	-	-	300	600	900	-	ปฏิบัติการเคมี			SO ₄ ⁼ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁼
		2527	400	-	-	-	-	300	600	900	-	วิเคราะห์			
		2528	400	-	-	-	-	300	600	900	-				
		2529	400	-	-	-	-	300	600	900	-				
	เคมี	2526	-	-	-	-	-	-	-	-	-	งานวิจัย			SO ₄ ⁼ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁼
		2527	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Senior Project			
		2528	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(ปริมาณและชนิดการใช้แต่ละปีไม่แน่นอน)			
		2529	-	500	2	900	-	-	-	900	2				

หมายเหตุ เครื่องหมาย - คือไม่มีการใช้โลหะหนักชนิดนั้น

ตารางที่ 4.15 (ต่อ)

คณะ	ภาควิชา	ปีการศึกษา	ชนิดและปริมาณโลหะหนักที่ใช้ กรัม/ปี									ลักษณะงานที่ใช้	รูปแบบที่ใช้	หมายเหตุ	
			Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Fe	Hg	Ag	Ni				
วิทยาศาสตร์	วิทยา- ศาสตร์ ทั่วไป	2526	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	ปฏิบัติการวิทยา- ศาสตร์ สภาวะแวดล้อม	ไม่ได้ระบุ	เนื่องจากปริมาณการใช้ขึ้น กับจำนวนนิสิตที่ลงทะเบียน จึงไม่มีการจัดบันทึกไว้ ชนิดที่ใช้มากที่สุดคือปลวก
		2527	✓	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓✓	✓	✓	✓			
		2528	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
		2529	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	วิทยา- ศาสตร์ ทั่วไป	2526-	✓	-	-	✓	-	✓	-	✓	-	-	ปฏิบัติการโฟโตเคมี, แยกสี	Cl ⁻ , NO ₃ ⁻	ไม่มีการจัดบันทึก แต่ชนิดที่ใช้มากที่สุดคือ Ag
		2529													
	วิทยา- ศาสตร์ ทางทะเล	2526	6	4	6	4	4	6	4	4	4	4	ปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม ในน้ำและงานวิจัย	Cl ⁻ , NO ₃ ⁻	
		2527	6	4	6	4	4	6	4	4	4	4			
		2528	6	4	6	4	4	6	4	4	4	4			
		2529	6	4	6	4	4	6	4	4	4	4			
	เคมี เทคนิค	2526-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	ปฏิบัติการ เคมี เทคนิค	เป็นโลหะ	ไม่มีการจัดบันทึกปริมาณ ที่ใช้
		2529													

หมายเหตุ เครื่องหมาย ✓ คือ มีการใช้โลหะชนิดนั้นแต่ไม่ทราบปริมาณที่ใช้ เนื่องจากไม่มีการจัดบันทึกไว้

ตารางที่ 4.15 (ต่อ)

คณะ	ภาควิชา	ปีการศึกษา	ชนิดและปริมาณโลหะหนักที่ใช่ กรัม/ปี									ลักษณะงานที่ใช่	รูปแบบที่ใช่	หมายเหตุ
			Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Fe	Hg	Ag	Ni			
เภสัชศาสตร์	เภสัช-เวช	2526	4	-	4	4	4	6	-	2	-	ปฏิบัติการเภสัชเวช	SO ₄ ⁼ , NO ₃ ⁻ , Cl ⁻	มีงานวิจัยต่างหากใช้ Pb และ Zn มากที่สุด
		2527	4	-	4	4	4	6	-	2	-			
		2528	4	-	4	4	4	6	-	2	-			
		2529	4	-	4	4	4	6	-	2	-			
	เภสัช- พฤษ- ศาสตร์	2526	400	-	20	20	40	-	200	-	-	ปฏิบัติการพฤษเคมี,	Cl ⁻ , SO ₄ ⁼ , CH ₃ COO ⁻	มีงานวิจัยต่างหากใช้ HgCl ₂ และ Mg มากที่สุด
		2527	400	-	20	20	40	-	200	-	-			
		2528	400	-	20	20	40	-	200	-	-			
		2529	400	-	20	20	40	-	200	-	-			
	อาหาร- เคมี	2526	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ปฏิบัติการ Food Chemistry I และ II	NO ₃ ⁻ , Cl ⁻	ปี 26-28 ไม่มีการจด บันทึกปริมาณการใช้ (ปริมาณใช้ขึ้นกับจำนวน นิสิตที่ลงทะเบียน)
		2527	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
		2528	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
		2529	6	-	10	-	-	-	10	6	-			
	ชีวเคมี	2526	-	-	20	200	80	50	40	-	-	Biopharm Lab I และ II	SO ₄ ⁼ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , CH ₃ COO ⁻	
		2527	-	-	20	200	80	50	40	-	-			
		2528	-	-	20	200	80	50	40	-	-			
		2529	-	-	20	200	80	50	40	-	-			

ตารางที่ 4.15 (ต่อ)

คณะ	ภาควิชา	มีการศึกษา	ชนิดและปริมาณโลหะหนักที่ใช้ (กรัม/ปี)									ลักษณะงานที่ใช้	รูปแบบที่ใช้	หมายเหตุ
			Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Fe	Hg	Ag	Ni			
เภสัชศาสตร์	เภสัชอุตสาหกรรม	2526-2529	-	-	20	10	-	10	-	-	-	เภสัชอุตสาหกรรม I และ II	$\text{SO}_4^{=}$	ของนิสิตปีที่ 3
	เภสัชเคมี	2526-2529	830	-	830	-	-	830	-	100	-	ปฏิบัติการ Inorganic Lab.	$\text{SO}_4^{=}, \text{NO}_3^{-}, \text{CH}_3\text{COO}^{-}$	
	เภสัชเคมี	2526	625	-	925	-	-	125	-	25	-	Inorganic Pharmaceutical	$\text{SO}_4^{=}, \text{NO}_3^{-}, \text{Cl}^{-}$	
		2527	650	-	950	-	-	150	-	50	-	Chem Lab.		
		2528	675	-	975	-	-	175	-	75	-			
		2529	700	-	1000	-	-	200	-	100	-			
	เภสัชเคมี	2526	-	-	-	200	-	-	-	240	-	Pharm Anal II	$\text{SO}_4^{=}, \text{Cl}^{-}$	
		2527	-	-	-	200	-	-	-	240	-			
		2528	-	-	-	200	-	-	-	240	-			
		2529	-	-	-	220	-	-	-	260	-			
	เภสัชเคมี	2526-2529	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Anal Chem Lab II	NO_3^{-}	
	เภสัชวิทยา	2526-2529	-	-	20	20	-	20	20	-	-	Toxicology	NO_3^{-}	
	เภสัชวิทยา	2526	-	500	50	1000	-	500	100	-	500	Pharmaceutical	$\text{SO}_4^{=}, \text{NO}_3^{-}, \text{CO}_3^{=}$	
		2527	-	500	500	1000	-	500	100	-	500	III, IV		
		2528	-	500	500	1000	-	500	100	-	500			
2529		-	500	500	1000	-	500	100	90	500				

