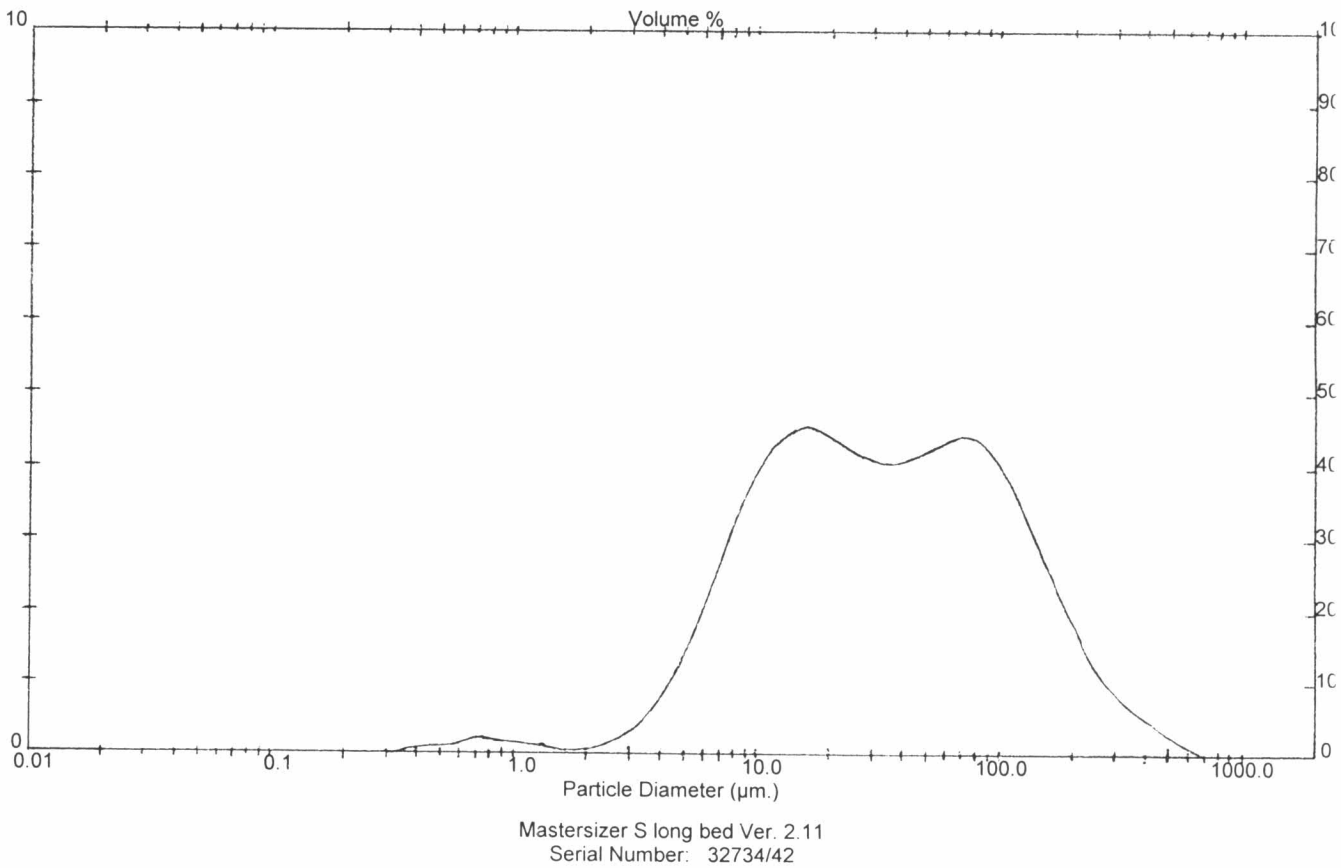
บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ

4.1.1 การหาขนาดของขี้เถ้าลอยลิกไนต์

จากการทดลองหาขนาดของขี้เถ้าลอยลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะ ด้วยเครื่อง Lazer Particle Size Analyzer โดยใช้ 300 Reverse Fourier lens พบว่าขนาดของขี้เถ้าลอยที่ใช้ในการทดลองนี้ ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงระหว่าง 10 ถึง 100 ไมครอน ดังแสดงผลในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 ซึ่งได้ค่าใกล้เคียงกับที่วิเคราะห์โดยกรมทางหลวง (ม.ล.วิจิตอัจฉรา สรรพกิจจำนง และคณะ, 2536)



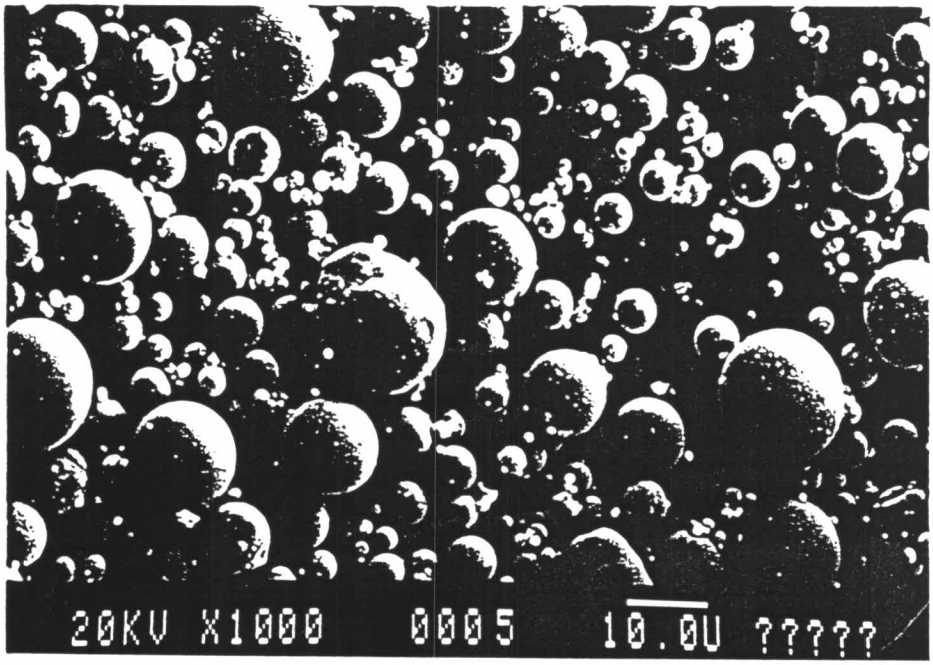
รูปที่ 4.1 ภาพแสดงขนาดอนุภาคของขี้เถ้าลอย โดยใช้เครื่อง Lazer Particle Size Analyzer

ตารางที่ 4.1 ขนาดของอนุภาคของขี้เถ้าลอย จากเหมืองแม่เมาะ

Size low (μm)	Size high(μm)	Under (%)	Size low (μm)	Size high(μm)	Under (%)	Size low (μm)	Size high(μm)	Under (%)
0.05	0.06	0.00	1.24	1.44	1.37	26.20	30.53	48.40
0.06	0.07	0.00	1.44	1.68	1.45	30.53	35.56	52.44
0.07	0.08	0.00	1.68	1.95	1.51	35.56	41.43	56.49
0.08	0.09	0.00	1.95	2.28	1.59	41.43	48.27	60.60
0.09	0.11	0.00	2.28	2.65	1.73	48.27	56.23	64.81
0.11	0.13	0.00	2.65	3.09	1.99	56.23	65.51	69.12
0.13	0.17	0.00	3.09	3.6	2.45	65.51	76.32	73.54
0.17	0.20	0.00	3.60	4.19	3.20	76.32	88.91	77.88
0.20	0.23	0.00	4.19	4.88	4.33	88.91	103.58	81.99
0.23	0.27	0.00	4.88	5.69	5.94	103.58	120.67	85.71
0.27	0.31	0.02	5.69	6.63	8.08	120.67	140.58	88.96
0.31	0.36	0.08	6.63	7.72	10.84	140.58	163.77	91.70
0.36	0.42	0.17	7.72	9.00	14.18	163.77	190.80	93.94
0.42	0.49	0.29	9.00	10.48	18.00	190.80	222.28	95.71
0.49	0.58	0.40	10.48	12.21	22.21	222.28	258.95	97.05
0.58	0.67	0.57	12.21	14.22	26.65	301.68	351.46	98.77
0.67	0.78	0.79	14.22	16.57	31.19	351.46	409.45	99.30
0.78	0.91	0.97	16.57	19.31	35.68	409.45	555.71	99.69

4.1.2 ลักษณะรูปร่างของขี้เถ้าลอย

จากภาพถ่ายกำลังขยายสูง(X1000) ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope พบว่าขี้เถ้าลอยลิกไนต์ มีลักษณะทรงกลมเล็กดังรูปที่ 4.2 พบว่ารูปร่างของขี้เถ้าลอยเป็นทรงกลม ทำให้มีพื้นที่ผิวสูงเหมาะสำหรับการเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิว จากตารางที่ 4.1 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย(ที่ 50 % Under) เท่ากับ 0.033 มิลลิเมตร สามารถคิดเป็นพื้นที่ผิวเฉลี่ย 3.42×10^{-3} ตร.มม./อนุภาค



รูปที่ 4.2 ขี้เถ้าลอยจากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง (X1000)

4.2 การศึกษาผลของปริมาณขี้เถ้าลอยที่เหมาะสม

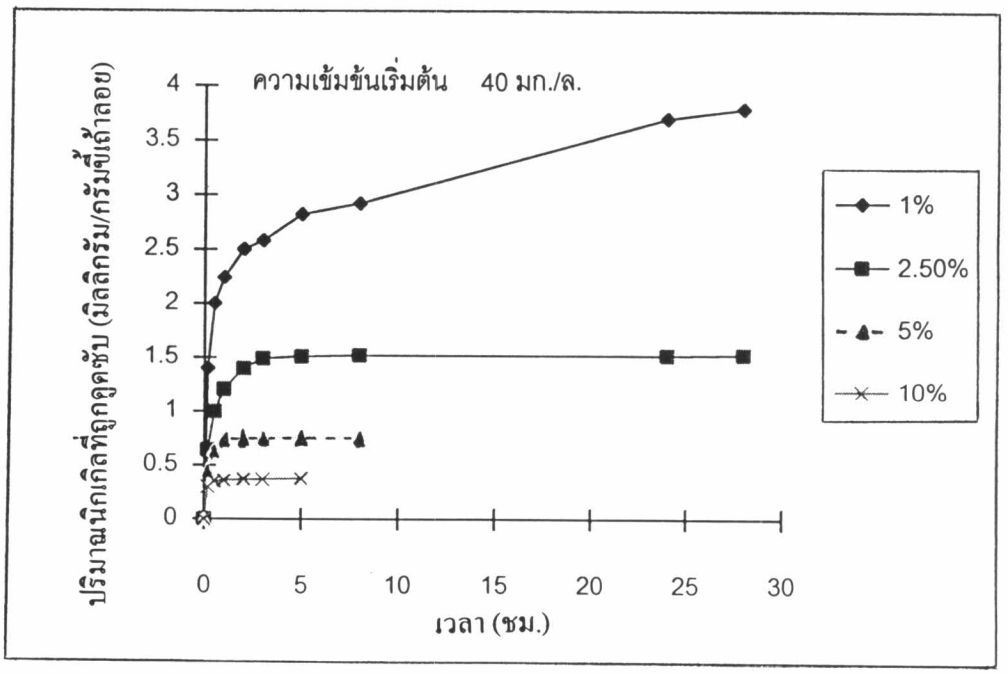
การทดลองศึกษาการดูดซับโลหะหนัก 3 ชนิด ได้แก่ นิกเกิล แคดเมียม และตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปรับเปลี่ยนปริมาณของขี้เถ้าลอยที่ใช้ 4 ค่า ดังนี้ คือ 1, 2.5, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์(น้ำหนัก/ปริมาตร) และปรับค่าพีเอชเป็น 7 ซึ่งผลการทดลองสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ โดยความสามารถในการดูดซับจะแตกต่างกันในแต่ละประเภทของโลหะหนัก

จากกราฟรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าในทุกๆ ความเข้มข้นของขี้เถ้าลอยเมื่อเวลากวนเพิ่มขึ้น ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับต่อกรัมขี้เถ้าลอยจะเพิ่มมากขึ้น และเข้าสู่สมดุลเช่นเดียวกัน กรณีเมื่อมีความเข้มข้นของขี้เถ้าลอยเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สมดุลคือ 24 ชั่วโมง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของขี้เถ้ามากขึ้นเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สมดุลจะเร็วขึ้นดังนี้คือ 5 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง และ 1 ชั่วโมง ได้ค่า

ตารางที่ 4.2 ปริมาณนิกเกิลที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณขี้เถ้าลอยต่างๆ กัน

ปริมาณขี้เถ้า / เวลา(ชม.)	ปริมาณนิกเกิลที่เหลือในน้ำ(mg/l)			
	1.0 %	2.5 %	5.0 %	10.0 %
0 นาที	40.08	40.12	40.08	39.89
10 นาที	26.12	24.20	16.87	4.21
30 นาที	20.21	15.10	6.75	2.50
1 ชั่วโมง	17.62	9.80	3.21	1.89
2 ชั่วโมง	15.05	5.10	2.16	1.82
3 ชั่วโมง	14.27	2.80	1.87	1.87
5 ชั่วโมง	11.90	2.30	1.83	1.92
8 ชั่วโมง	10.88	2.05	1.85	-
24 ชั่วโมง	2.55	1.81	-	-
28 ชั่วโมง	2.18	1.86	-	-

หมายเหตุ ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 40 มก./ล.



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับกับเวลา

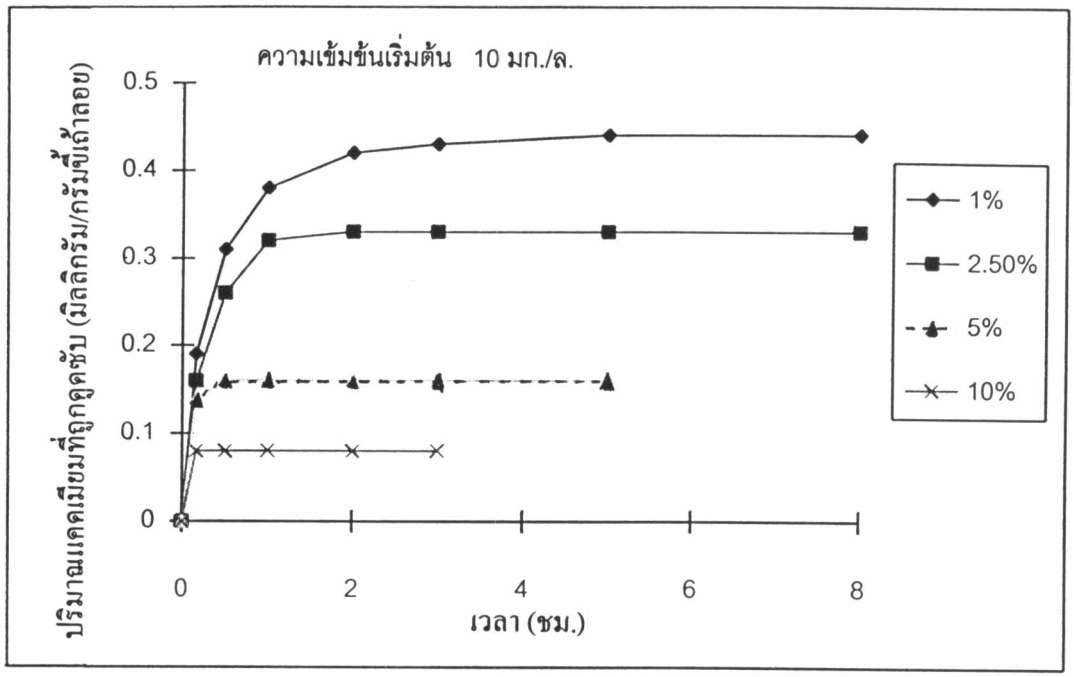
ปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับต่อกรัมขี้เถ้าลอยที่สมดุลเท่ากับ 3.77, 1.52, 0.76 และ 0.38 มิลลิกรัมต่อกรัมขี้เถ้าลอย ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อมีสารดูดซับมากขึ้นจะทำให้มีโอกาสสัมผัสกับโลหะหนักได้ดีกว่า จึงใช้เวลาที่น้อยกว่าในการเข้าสู่สมดุล และเมื่อนำมาแสดงผลโดยพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักที่ถูกดูดซับที่เวลาเข้าสู่สมดุลของแต่ละการทดลองกับความเข้มข้นของขี้เถ้าลอยดังกราฟรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าเมื่อความเข้มข้นเกิน 1 เปอร์เซ็นต์ การดูดซับนิกเกิลไม่ได้สูงขึ้นแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นดังกล่าวมีปริมาณขี้เถ้าลอยเพียงพอต่อการดูดซับนิกเกิลแล้ว จึงได้ว่าปริมาณขี้เถ้าลอยที่เหมาะสมในการดูดซับนิกเกิลคือ 1 เปอร์เซ็นต์

กรณีของแคดเมียม พบว่าปริมาณแคดเมียมที่เหลือในน้ำเมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณขี้เถ้าลอยต่างๆ กัน แสดงในตารางที่ 4.3 และหากพิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าได้แนวโน้มเดียวกับการดูดซับของนิกเกิลคือ ทุกๆ ความเข้มข้นของขี้เถ้าลอยเมื่อเวลากวนเพิ่มขึ้น ปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับต่อกรัมขี้เถ้าลอยจะเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน พบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของขี้เถ้าลอยเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สมดุลคือ 3 ชั่วโมง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของขี้เถ้าลอยเป็น 2.5, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สมดุลจะเร็วขึ้นคือ 1 ชั่วโมง, 30 นาที และ 10 นาที โดยได้ค่าปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับต่อกรัมขี้เถ้าลอยที่สมดุลเท่ากับ 0.43, 0.32, 0.16 และ 0.08 มิลลิกรัมต่อกรัมขี้เถ้าลอย ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 4.6 พบว่าการใช้ขี้เถ้าลอย 1 เปอร์เซ็นต์ ยังไม่ให้ความเข้มข้นของแคดเมียมที่ถูกดูดซับที่เวลาเข้าสู่สมดุลอยู่บนเส้นอิ่มตัว แต่เมื่อเพิ่มปริมาณขี้เถ้าลอยเป็น 2.5 เปอร์เซ็นต์ จึงให้ความเข้มข้นของแคดเมียมที่ถูกดูดซับที่เวลาเข้าสู่สมดุลอยู่บนเส้นอิ่มตัว ดังนั้นสรุปได้ว่าปริมาณขี้เถ้าลอยที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียมคือ 2.5 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.3 ปริมาณแคดเมียมที่เหลือในน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณขี้เถ้าลอยต่างๆ กัน

ปริมาณขี้เถ้า / เวลา(ชม.)	ปริมาณแคดเมียมที่เหลือในน้ำ(mg/l)			
	1.0 %	2.5 %	5.0 %	10.0 %
0 นาที	10.09	10.15	10.09	9.98
10 นาที	8.21	6.21	2.96	2.18
30 นาที	7.01	3.86	2.05	2.00
1 ชั่วโมง	6.28	2.24	2.01	1.85
2 ชั่วโมง	5.89	2.13	1.99	1.89
3 ชั่วโมง	5.74	2.08	1.98	1.92
5 ชั่วโมง	5.72	2.09	1.98	-
8 ชั่วโมง	5.71	2.01	-	-

หมายเหตุ ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 10 มก./ล.



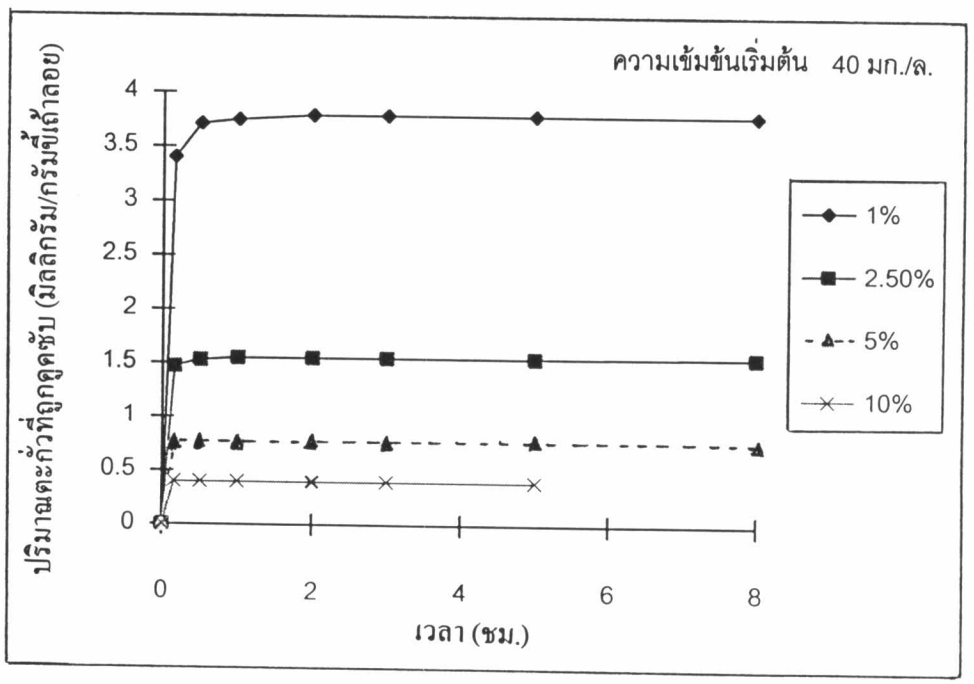
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับกับเวลา

กรณีการดูดซับของตะกั่ว ได้แสดงปริมาณของตะกั่วที่เหลือในน้ำเมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณขี้เถ้าลอยต่างๆ กัน ในตารางที่ 4.4 และหากพิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.5 พบว่ากราฟการดูดซับตะกั่วที่ความเข้มข้นของขี้เถ้าลอยต่างๆ กันได้แนวโน้มเดียวกับการดูดซับนิกเกิลคือ สำหรับทุกๆ ค่าความเข้มข้นของขี้เถ้าลอยเมื่อเวลากวนเพิ่มขึ้น ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับต่อกรัมขี้เถ้าลอยจะเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน กล่าวคือเมื่อใช้ความเข้มข้นของขี้เถ้าลอยเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สมดุลคือ 2 ชั่วโมง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของขี้เถ้าลอยเป็น 2.5, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สมดุลจะเร็วขึ้นคือ 1 ชั่วโมง, 30 นาที และ 10 นาที โดยได้ค่าปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับต่อกรัมขี้เถ้าลอยที่สมดุลเท่ากับ 3.79, 1.56, 0.79 และ 0.40 มิลลิกรัมต่อกรัมขี้เถ้าลอย ตามลำดับ นั่นย่อมแสดงว่าการใช้ขี้เถ้าลอย 1 เปอร์เซ็นต์ ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุด รวมทั้งเมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 4.6 ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ขี้เถ้าลอย 1 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของตะกั่วที่ถูกดูดซับที่เวลาเข้าสู่สมดุลได้อยู่บนเส้นอิ่มตัวแล้ว โดยให้ปริมาณการดูดซับที่ไม่แตกต่างกับปริมาณการดูดซับที่ความเข้มข้นอื่นๆ ดังนั้นสรุปได้ว่าความเข้มข้นของขี้เถ้าลอยที่ 1 เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่ว

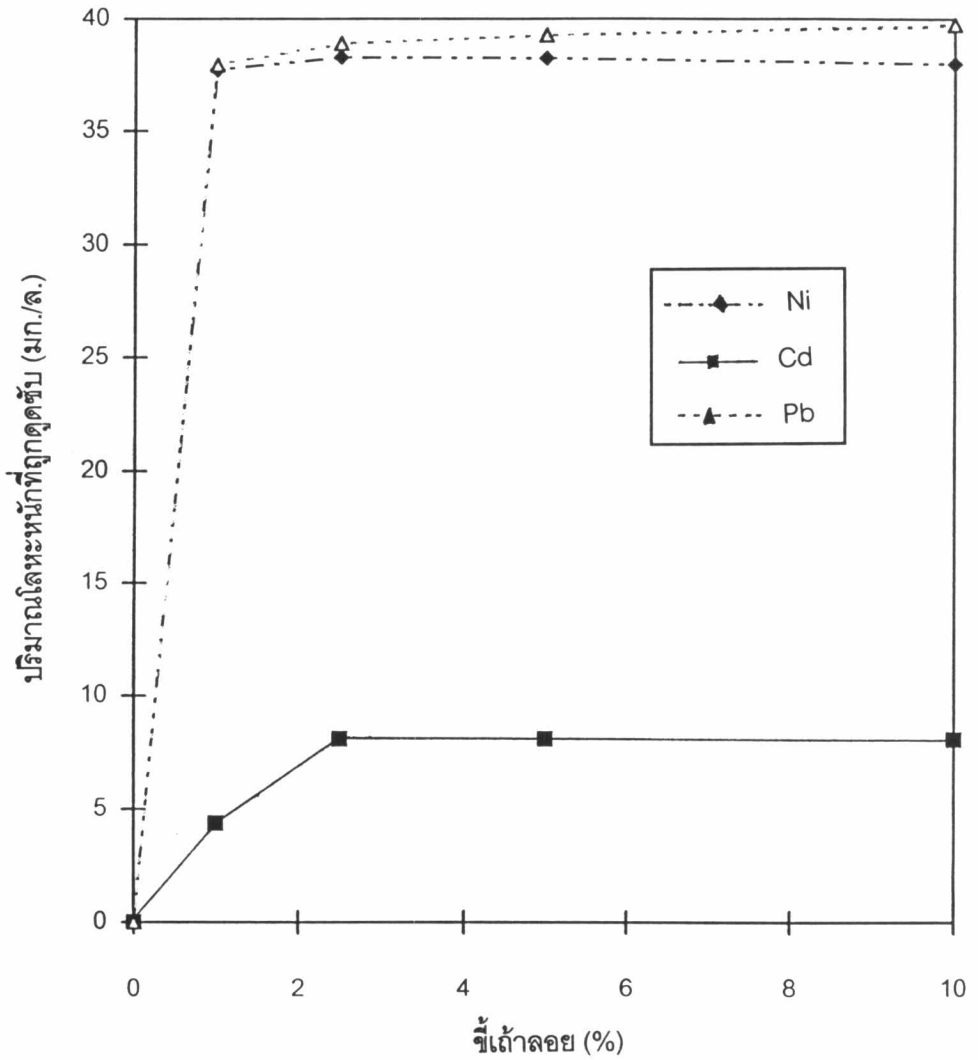
ตารางที่ 4.4 ปริมาณตะกั่วที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณขี้เถ้าลอยต่างๆ กัน

ปริมาณขี้เถ้า / เวลา(ชม.)	ปริมาณตะกั่วที่เหลือในน้ำ (mg/l)			
	1.0 %	2.5 %	5.0 %	10.0 %
0 นาที	40.11	40.10	40.15	40.09
10 นาที	6.15	3.17	1.12	0.54
30 นาที	2.97	1.64	0.98	0.34
1 ชั่วโมง	2.56	1.29	0.89	0.31
2 ชั่วโมง	2.20	1.18	0.86	0.39
3 ชั่วโมง	2.19	1.19	0.87	0.36
5 ชั่วโมง	2.14	1.21	0.84	-
8 ชั่วโมง	2.15	1.18	0.88	-

หมายเหตุ ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 40 มก./ล.



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับกับเวลา



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นของขี้เถ้าลอยที่สภาวะสมดุล

4.3 การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัด

ผลการทดลองการศึกษาการดูดซับโลหะหนัก 3 ชนิด ได้แก่ นิกเกิล แคดเมียม และตะกั่ว โดยปรับเปลี่ยนค่าพีเอช ตั้งแต่ 3 ถึง 10 ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ปริมาณของขี้เถ้าลอยที่สามารถดูดซับโลหะหนักได้สูงสุดคือ 1, 2.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ(ได้จากการทดลองหัวข้อ 4.2) ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

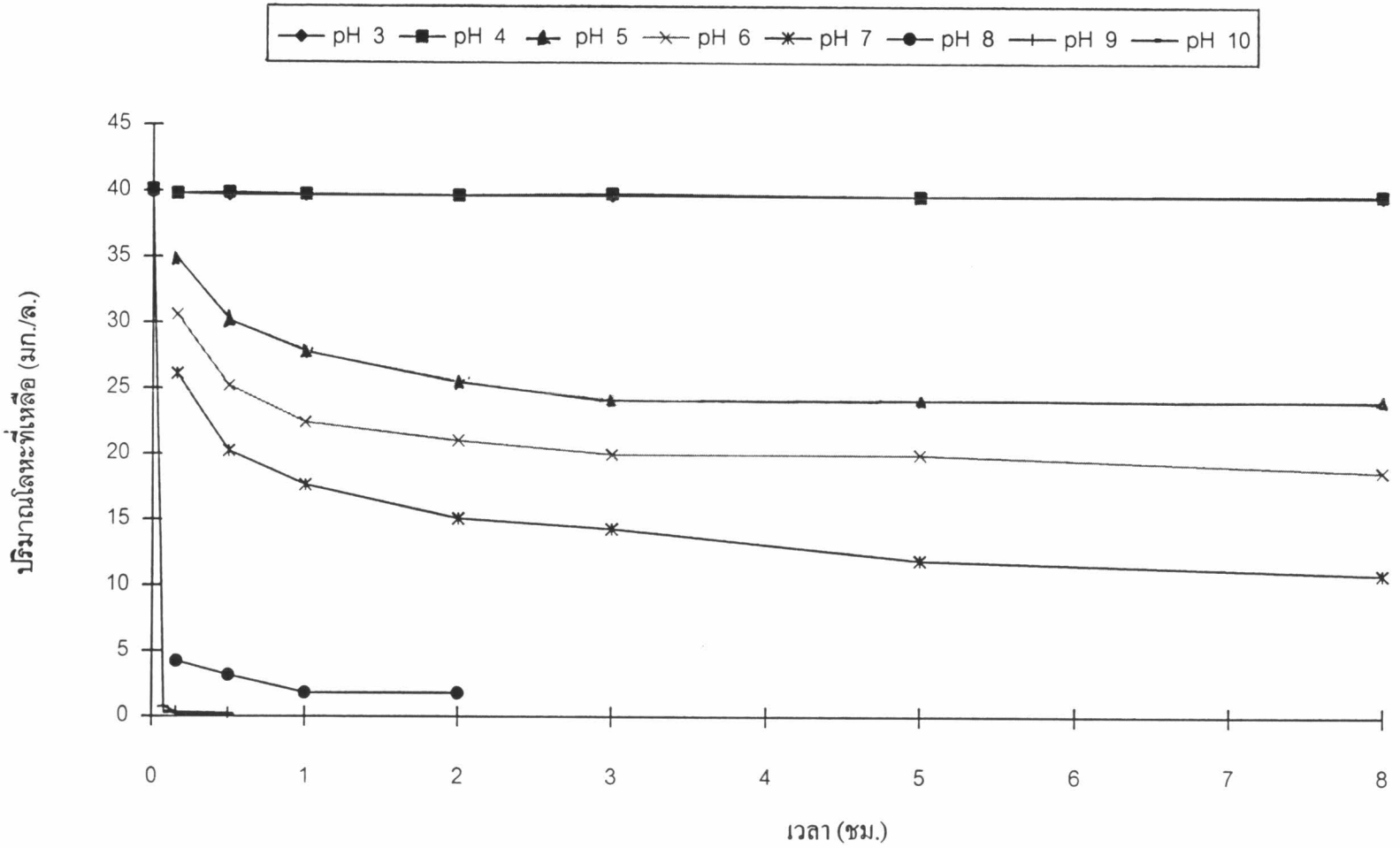
4.3.1 การกำจัดนิกเกิลในน้ำ

การใช้ขี้เถ้าลอยกำจัดโลหะนิกเกิลในน้ำ โดยเตรียมสารละลายนิกเกิลให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ขี้เถ้าลอยปริมาณร้อยละ 1 และปรับเปลี่ยนค่าพีเอช 8 ค่า ตั้งแต่ 3 ถึง 10 ปรากฏผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เหลือที่เวลาต่างๆ และประสิทธิภาพการกำจัดโลหะนิกเกิลที่สภาวะต่างๆ ได้แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.5 สามารถสรุปผลได้ดังนี้คือ พบว่าค่าพีเอช ของน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิลโดยการใช้ขี้เถ้าลอย โดยประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิลจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชของน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อนำมาทดสอบทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธี DMRT พบว่าที่ค่าพีเอช 10 เวลากวน 10 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดนิกเกิลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับประสิทธิภาพการบำบัดที่พีเอช 3 ถึง 8 เช่น ณ ค่าพีเอชเป็นกรดเท่ากับ 3 และ 4 พบว่าขี้เถ้าลอยไม่สามารถกำจัดโลหะหนักได้ต่ำมาก แม้เมื่อเพิ่มเวลาการกวนนาน 2 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการกำจัดมีค่าต่ำเพียงร้อยละ 1.0 และ 1.2 ตามลำดับ แต่เมื่อค่าพีเอชเป็นกลาง (6 - 8) ประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิลเริ่มจะสูงขึ้นและเมื่อค่าพีเอชเป็นด่าง พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะดีมาก โดยเฉพาะเมื่อ

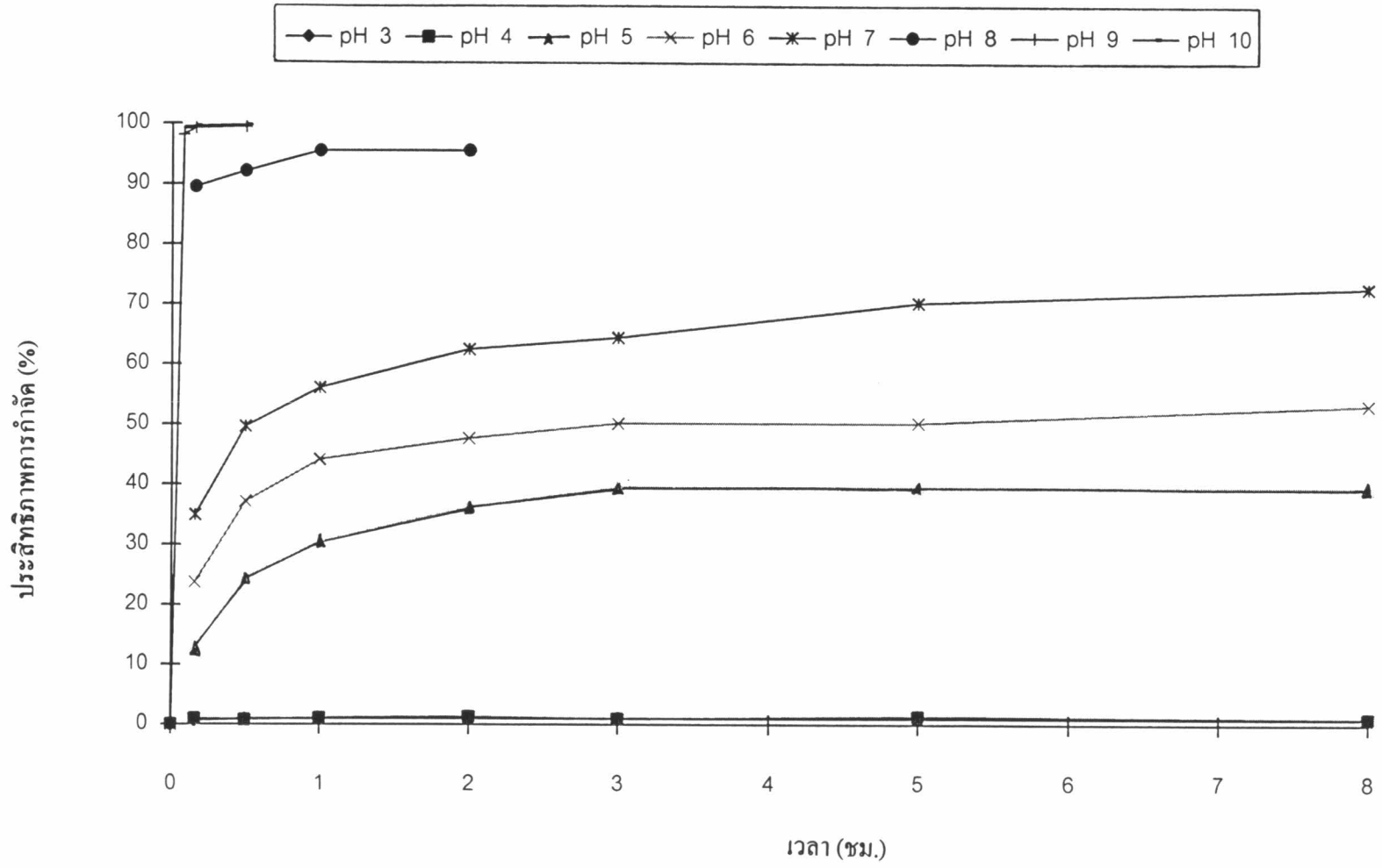
ตารางที่ 4.5 ปริมาณนิกเกิลที่เหลือในน้ำและประสิทธิภาพในการกำจัด(%)

pH	ปริมาณโลหะนิกเกิลที่เหลือ(ppm)						ประสิทธิภาพในการกำจัด(%)					
	0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	1 ชม.	2 ชม.	0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	1 ชม.	2 ชม.
3	40.05	-	39.80	39.68	39.67	39.65	0	-	0.62	0.92	0.95	1.00
4	40.11	-	39.80	39.88	39.76	39.69	0	-	0.95	0.75	1.05	1.22
5	40.05	-	34.85	30.22	27.85	25.54	0	-	12.98	24.54	30.46	36.23
6	40.09	-	30.58	25.21	22.42	20.99	0	-	23.72	37.12	44.08	47.64
7	40.08	-	26.10	20.21	17.62	15.05	0	-	34.88	49.58	56.04	62.45
8	39.95	-	4.20	3.15	1.78	1.77	0	-	89.49	92.12	95.54	95.57
9	39.97	0.75	0.33	0.24	-	-	0	98.12	99.17	99.40	-	-
10	39.94	0.31	0.19	0.11	-	-	0	99.22	99.52	99.72	-	-

หมายเหตุ ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของนิกเกิลที่เหลือกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 40 ppm



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิลกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 40 ppm

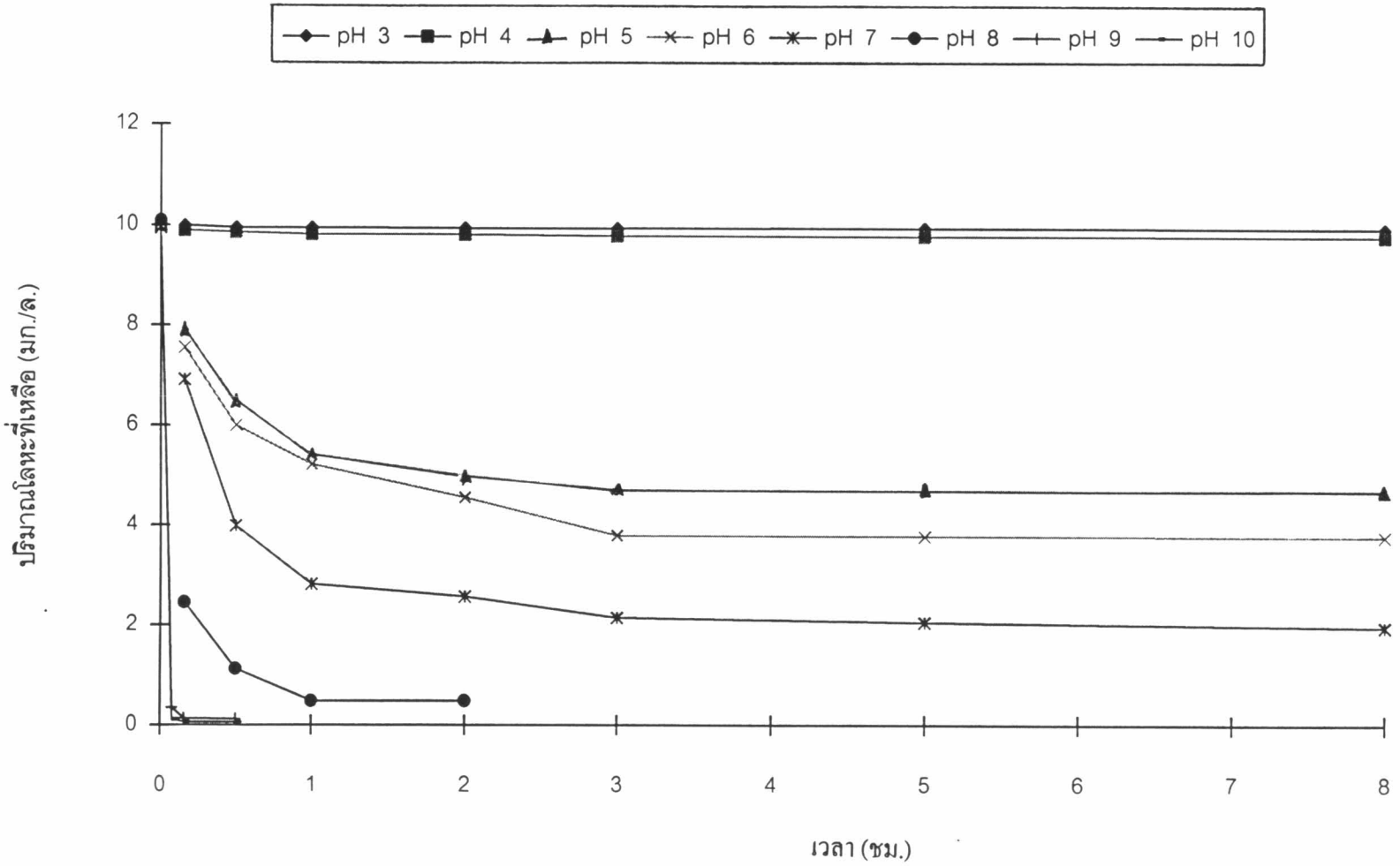
ค่าพีเอชเท่ากับ 10 เวลาการกวนเกิน 10 นาที ค่านิกเกิลที่เหลือจะต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งกำหนดให้มีค่านิกเกิลไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 99.52 และ 99.72 เมื่อใช้เวลากวน 10 และ 30 นาที ขณะที่ปริมาณโลหะหนักเหลือในน้ำเท่ากับ 0.19 และ 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่ามีปริมาณนิกเกิลที่เหลือต่ำกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานแล้ว ส่วนที่พีเอช 9 ประสิทธิภาพการบำบัดนิกเกิลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับประสิทธิภาพการบำบัดที่พีเอช 10 แต่ปริมาณของนิกเกิลที่เหลือที่ค่าพีเอชเท่ากับ 9 และเวลากวน 10 นาที พบว่าจะยังคงมีเหลือในน้ำมากกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม แม้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดจะสูงถึงร้อยละ 99.40 ก็ตาม หากนำมาเขียนกราฟพิจารณาเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการกำจัดนิกเกิลที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และกราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิลที่ค่าพีเอชต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7

เมื่อใช้ขี้เถ้าลอยกำจัดโลหะนิกเกิลในน้ำ โดยเตรียมสารละลายนิกเกิลให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ขี้เถ้าลอยปริมาณร้อยละ 1 และปรับเปลี่ยนค่าพีเอช 8 ค่า ตั้งแต่ 3 ถึง 10 ซึ่งผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เหลือที่เวลาต่างๆ และประสิทธิภาพการกำจัดโลหะนิกเกิลที่สภาวะต่างๆ ได้แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.6 และสามารถสรุปผลได้ดังนี้ คือ ค่าพีเอชของน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะนิกเกิลโดยการใช้ขี้เถ้าลอย โดยค่าพีเอชสูงขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะนิกเกิลจะสูงขึ้นด้วย เช่นเดียวกับการทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้นนิกเกิล 40 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ค่าพีเอชเท่ากับ 9 ประสิทธิภาพการกำจัดสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 98.79 ซึ่งจะพบว่ามีปริมาณโลหะนิกเกิลที่เหลือในน้ำเพียง 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาการกวน 10 นาที ก็พบว่ามีปริมาณนิกเกิลที่เหลือต่ำกว่า

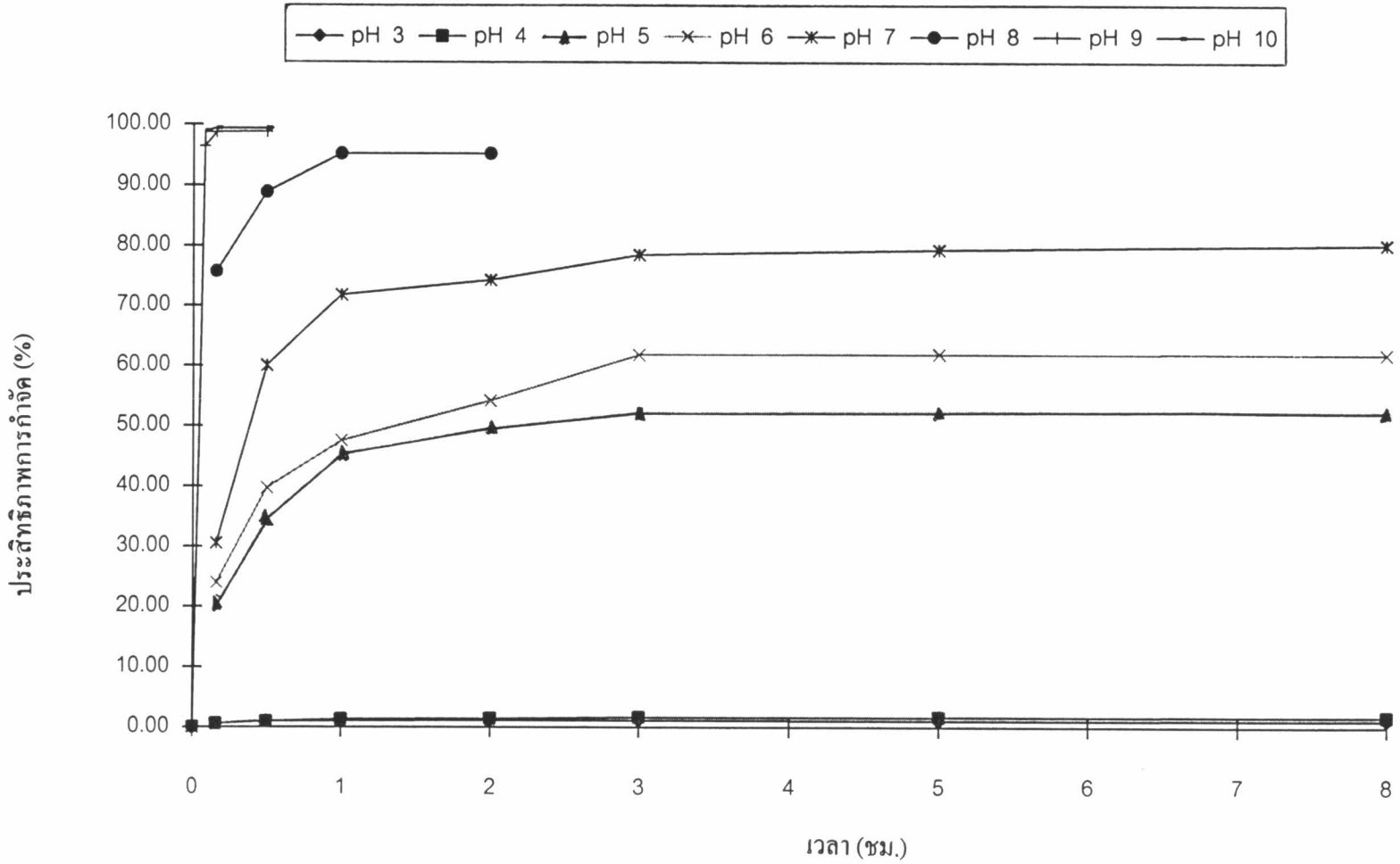
ตารางที่ 4.6 ปริมาณนิกเกิลที่เหลือในน้ำและประสิทธิภาพในการกำจัด(%)

pH	ปริมาณโลหะนิกเกิลที่เหลือ(ppm)						ประสิทธิภาพในการกำจัด(%)					
	0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	1 ชม.	2 ชม.	0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	1 ชม.	2 ชม.
3	10.05	-	9.99	9.95	9.95	9.94	0	-	0.60	1.00	1.00	1.09
4	9.95	-	9.98	9.86	9.82	9.81	0	-	0.60	0.90	1.31	1.41
5	9.92	-	7.91	6.48	5.42	4.99	0	-	20.26	34.68	45.36	49.70
6	9.93	-	7.55	5.99	5.21	4.55	0	-	23.97	39.68	47.53	54.18
7	9.95	-	6.91	3.98	2.81	2.56	0	-	30.55	60.00	71.76	74.27
8	10.09	-	2.45	1.12	0.48	0.48	0	-	75.72	88.90	95.24	95.24
9	9.89	0.35	0.13	0.12	-	-	0	96.46	98.68	98.79	-	-
10	9.90	0.11	0.06	0.06	-	-	0	98.89	99.39	99.39	-	-

หมายเหตุ ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของนิกเกิลที่เหลือกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 ppm



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิลกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 ppm

ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำทิ้ง ของกรมโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว และเมื่อนำมาทดสอบทางสถิติก็ให้ผลสอดคล้องกัน กล่าวคือ ณ ค่าพีเอชเท่ากับ 9 เวลาที่ใช้ 10 นาที ประสิทธิภาพการบำบัดนิกเกิลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับประสิทธิภาพการบำบัดเมื่อพีเอชเท่ากับ 10

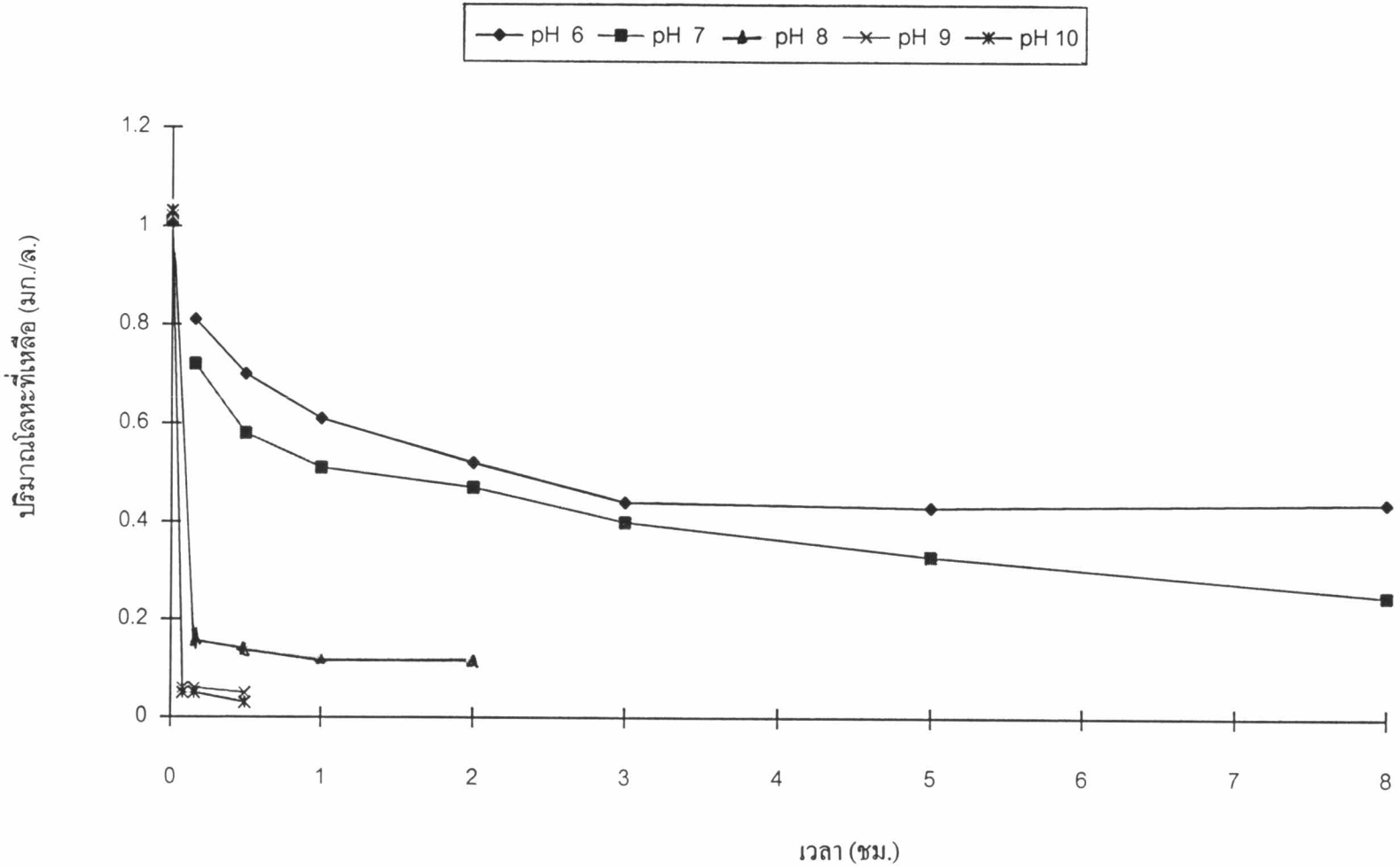
หากนำมาเขียนกราฟพิจารณาเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการกำจัดโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และกราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิลที่ค่าพีเอชต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9

เมื่อใช้ขี้เถ้าลอยกำจัดโลหะนิกเกิลในน้ำ โดยมีความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายนิกเกิลเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงปริมาณโลหะนิกเกิลที่เหลือ และ ประสิทธิภาพการกำจัด(%) ณ เวลาต่าง ๆ ตามตารางที่ 4.7 พบว่าค่าพีเอชของน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะนิกเกิลโดยการใช้ขี้เถ้าลอยที่ค่าพีเอชเป็นด่าง เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นต่ำๆพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณตั้งต้นแล้วจะต่ำกว่าที่ความเข้มข้นสูง แต่หากเปรียบเทียบในเชิงปริมาณจะพบว่ามีปริมาณนิกเกิลในน้ำต่ำกว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสูง เมื่อนำมาทดสอบทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธี DMRT พบว่าที่ค่าพีเอช 10 เวลากวน 10 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดนิกเกิลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับประสิทธิภาพการบำบัดที่พีเอช 6 ถึง 8 ส่วนที่พีเอช 9 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดนิกเกิลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับประสิทธิภาพการบำบัดที่พีเอช 10 แม้ว่าที่ค่าพีเอชเท่ากับ 8 ประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับร้อยละ 84.61 พบว่าสามารถกำจัดให้มีนิกเกิลเหลือในน้ำต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งแล้ว (0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร) หากนำมาเขียนกราฟพิจารณาเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการกำจัดโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และกราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิลที่ค่าพีเอช ต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11

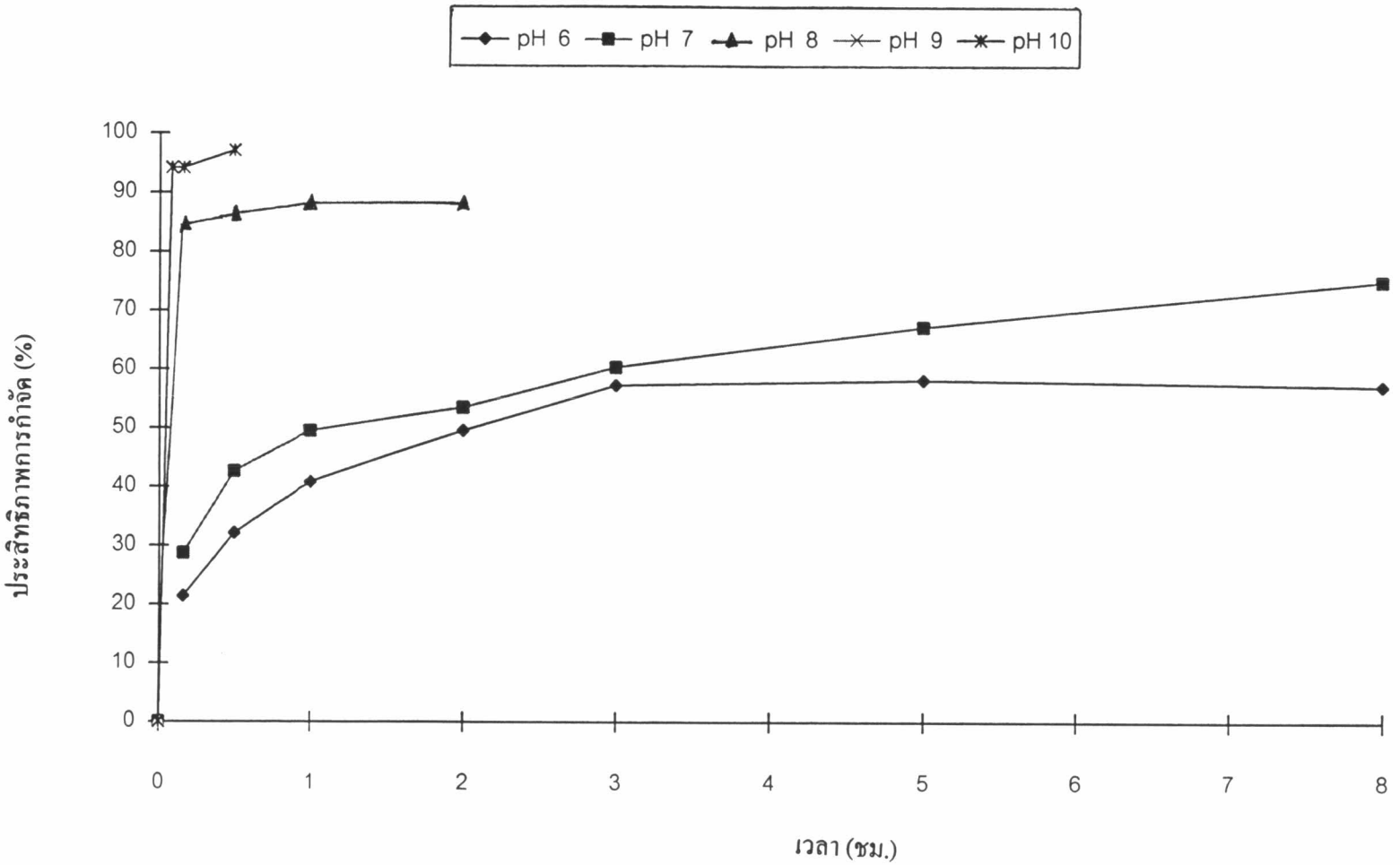
ตารางที่ 4.7 ปริมาณโลหะนิกเกิลที่เหลือในน้ำและประสิทธิภาพในการกำจัด(%)

pH	ปริมาณโลหะนิกเกิลที่เหลือ(ppm)						ประสิทธิภาพในการกำจัด(%)					
	0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	1 ชม.	2 ชม.	0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	1 ชม.	2 ชม.
6	1.03	-	0.81	0.70	0.61	0.52	0	-	21.36	32.04	40.78	49.51
7	1.01	-	0.72	0.58	0.51	0.47	0	-	28.71	42.57	49.50	53.47
8	1.04	-	0.16	0.14	0.12	0.12	0	-	84.62	86.54	88.46	88.46
9	1.02	0.06	0.06	0.05	-	-	0	94.12	94.12	97.06	-	-
10	1.03	0.05	0.05	0.03	-	-	0	94.17	94.17	97.09	-	-

หมายเหตุ ความเข้มข้นข้นนิกเกิลเริ่มต้นเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

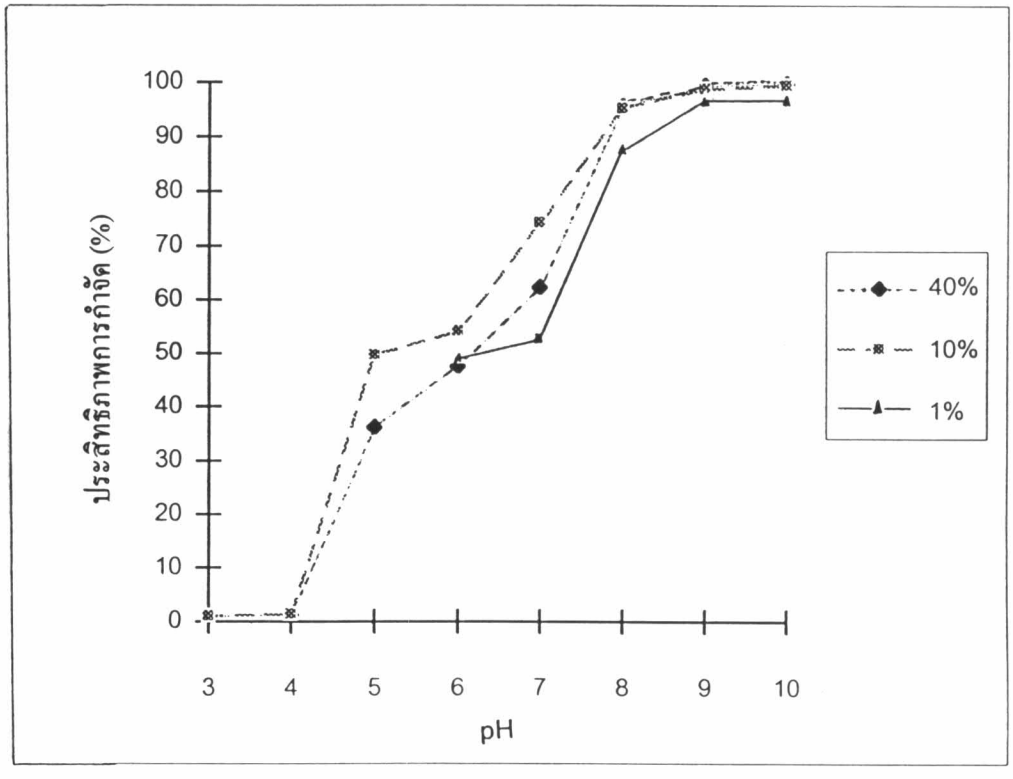


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของนิกเกิลที่เหลือกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 ppm



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิลกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 ppm

กล่าวโดยสรุปจากตารางที่ 4.6, 4.7 และ 4.8 สามารถพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 40, 10 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร กับค่าพีเอช ที่ทำการทดลองคือ 3 ถึง 10 ดังกราฟรูปที่ 4.12 เมื่อพิจารณาจากกราฟจะเห็นได้ว่า ทุกๆ ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล ประสิทธิภาพในการกำจัดจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อค่าพีเอชเพิ่มมากขึ้นและ สามารถกำจัดนิกเกิลได้ดีที่พีเอชเป็นด่าง โดยสามารถกำจัดให้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งได้และมีประสิทธิภาพเท่ากับ 84.62 %, 98.79 % และ 99.52 % ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 1, 10 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และที่ค่าพีเอชเท่ากับ 8, 9 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งกลไกการกำจัดนิกเกิลในน้ำโดยขี้เถ้าลอย คาดว่าเกิดจากกระบวนการตกผลึกร่วมกับกระบวนการดูดติดผิว โดยพิจารณาได้จากที่ ค่าพีเอชเป็นกรดนิกเกิลจะอยู่ในรูปละลายน้ำ ทำให้ไม่สามารถดูดติดผิวของขี้เถ้าลอยได้ แต่ที่ค่าพีเอชสูงกว่า 7 นิกเกิลบางส่วนเปลี่ยนรูปเป็น NiOH ซึ่งไม่ละลายน้ำและสามารถดูดติดผิวขี้เถ้าลอยได้ดีขึ้น โดยพิจารณาจากเมื่อใช้เวลาในการกวนนานขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิลจะเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.5 และ 4.6) และเมื่อพีเอชเท่ากับ 8 กลไกการกำจัดจะเกิดจากกระบวนการตกตะกอนร่วมกับกระบวนการดูดติดผิว ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดจะสูงขึ้น แต่ที่พีเอชสูงกว่า 9 พบว่ากลไกการกำจัดส่วนใหญ่เกิดเนื่องจากกระบวนการตกตะกอน เนื่องจากนิกเกิลเปลี่ยนรูปเป็น $Ni(OH)_2$ ซึ่งเป็นของแข็งตกตะกอนได้ กลไก

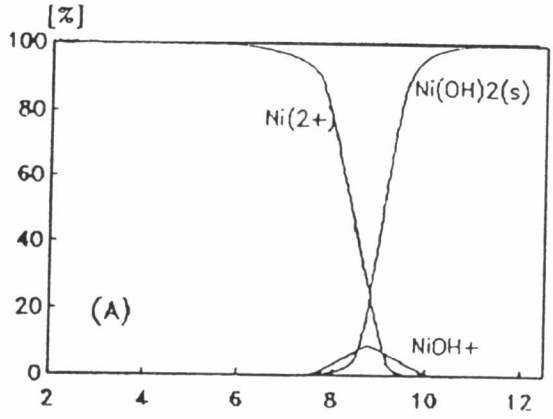


รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิลโดยใช้ขี้เถ้าลอยกับค่าพีเอช ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลต่างๆ กัน

การกำจัดนิกเกิลโดยใช้ขี้เถ้าลอยสามารถอธิบายได้ดังนี้ กล่าวคือสาเหตุที่ ณ ค่าพีเอชสูงสามารถกำจัดโลหะนิกเกิลได้ดีนั้น สามารถพิจารณาจากสมการการละลายน้ำ(Hydrolysis) ของโลหะนิกเกิลดังนี้ คือ

$$Ni^{2+} + H_2O \text{ --------- } NiOH^+ + H^+$$

$$Ni^{2+} + 2H_2O \text{ --------- } Ni(OH)_2 + H^+$$



รูปที่ 4.14 การไฮโดรไลซิสของนิกเกิลที่ค่าพีเอชต่างๆ

เมื่อพิจารณาจากกราฟแสดงการไฮโดรไลซิสของนิกเกิลในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ จะพบว่าที่ค่าพีเอชเท่ากับ 7 ปริมาณนิกเกิลไอออนอิสระ(Ni^{2+})จะลดปริมาณลง โดยเปลี่ยนรูปไปเป็นนิกเกิลไฮดรอกไซด์ ($NiOH^+$) ขึ้นแทน และเมื่อค่าพีเอชมากกว่า 9 ($NiOH^+$) ก็จะลดลงและเกิดตะกอน $Ni(OH)_2$ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และจากการวิจัยของ Mavros และคณะ(1993) พบว่าที่ค่าพีเอชมากกว่า 9 $Ni(OH)_2$ ละลายน้ำได้น้อยมาก ดังนั้นในการกำจัดโลหะนิกเกิลที่พีเอชสูงกว่า 9 จึงเกิดเนื่องจากการตกตะกอน โดยที่ขี้เถ้าลอยเป็นเพียงสารที่ช่วยให้เกิดการตกตะกอนได้ดีขึ้นเท่านั้นและในการกำจัดโลหะนิกเกิลออกจากน้ำเสียนอกจากกระบวนการตกผลึก ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการกำจัดโลหะนิกเกิลแล้ว ยังมีกระบวนการดูดติดผิวเกิดขึ้นอีกด้วย ซึ่งกระบวนการนี้เป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่ช่วยในการกำจัดโลหะนิกเกิลออกจากน้ำที่ค่าพีเอช ต่ำๆ กล่าวคือการกำจัดโลหะนิกเกิลมีความสัมพันธ์กับปริมาณของ Fe_2O_3 ที่มีอยู่ในขี้เถ้าลอย ถ้ามี Fe_2O_3 อยู่มากก็จะทำให้สามารถกำจัดนิกเกิลได้มาก เนื่องจากนิกเกิลจะถูกดูดซับอยู่บน Fe_2O_3 แต่กระบวนการที่นิกเกิลถูกดูดซับนี้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ (Fuerstenau และคณะ,1987) ดังนั้นต้องใช้เวลานานในการกำจัด ซึ่งจากตารางที่ 2.6 พบว่าขี้เถ้าลอยจากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีปริมาณ Fe_2O_3 อยู่ประมาณ 15 % โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังมีข้อสมมติฐานบางประการเกี่ยวกับกลไกการกำจัดนิกเกิลในน้ำคือ ในขี้เถ้าลอยนั้นมี CaO อยู่ เมื่อเติมขี้เถ้าลอยลงในน้ำ CaO ก็จะละลายน้ำ(Hydrolysis) ทำให้ค่าพีเอชของน้ำสูงขึ้น และแม้ว่าค่าพีเอชในน้ำที่เติมลงไปยังคงเป็นกรดอยู่แต่บริเวณรอบๆ อนุภาคของขี้เถ้าลอยก็ยังคงมีสภาพที่เป็นด่างสูงอยู่ เมื่อ Ni^{2+} เข้าใกล้อนุภาคของขี้เถ้า

ลอยก็จะเกิดเป็น $Ni(OH)_2$ และเกิดตกตะกอนผลึก ซึ่งเป็นการกำจัดนิกเกิลออกจากน้ำเสีย (Mavros และคณะ,1993) ดังนั้นในกรณีที่น้ำเสียมีค่าพีเอชต่ำๆ ประสิทธิภาพในการกำจัดจะขึ้นอยู่กับปริมาณ CaO ในขี้เถ้าลอยเป็นสำคัญ และจากตารางที่ 2.6 พบว่าขี้เถ้าลอยจากเหมืองแม่เมาะนี้มี CaO อยู่เฉลี่ยประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ และผลการวิจัยจะสอดคล้องกับการวิจัยของ Sharma และคณะ(1990) ซึ่งใช้ Wollastonite ซึ่งจะประกอบด้วย Calcium metasilicate และ CaO รวมกันเท่ากับ 49%(w/w) และแสดงผลให้เห็นว่าแม้ที่ค่าพีเอชต่ำก็สามารถกำจัด Ni^{2+} ได้เพราะ CaO

4.3.2 ผลการกำจัดโลหะแคดเมียมในน้ำ

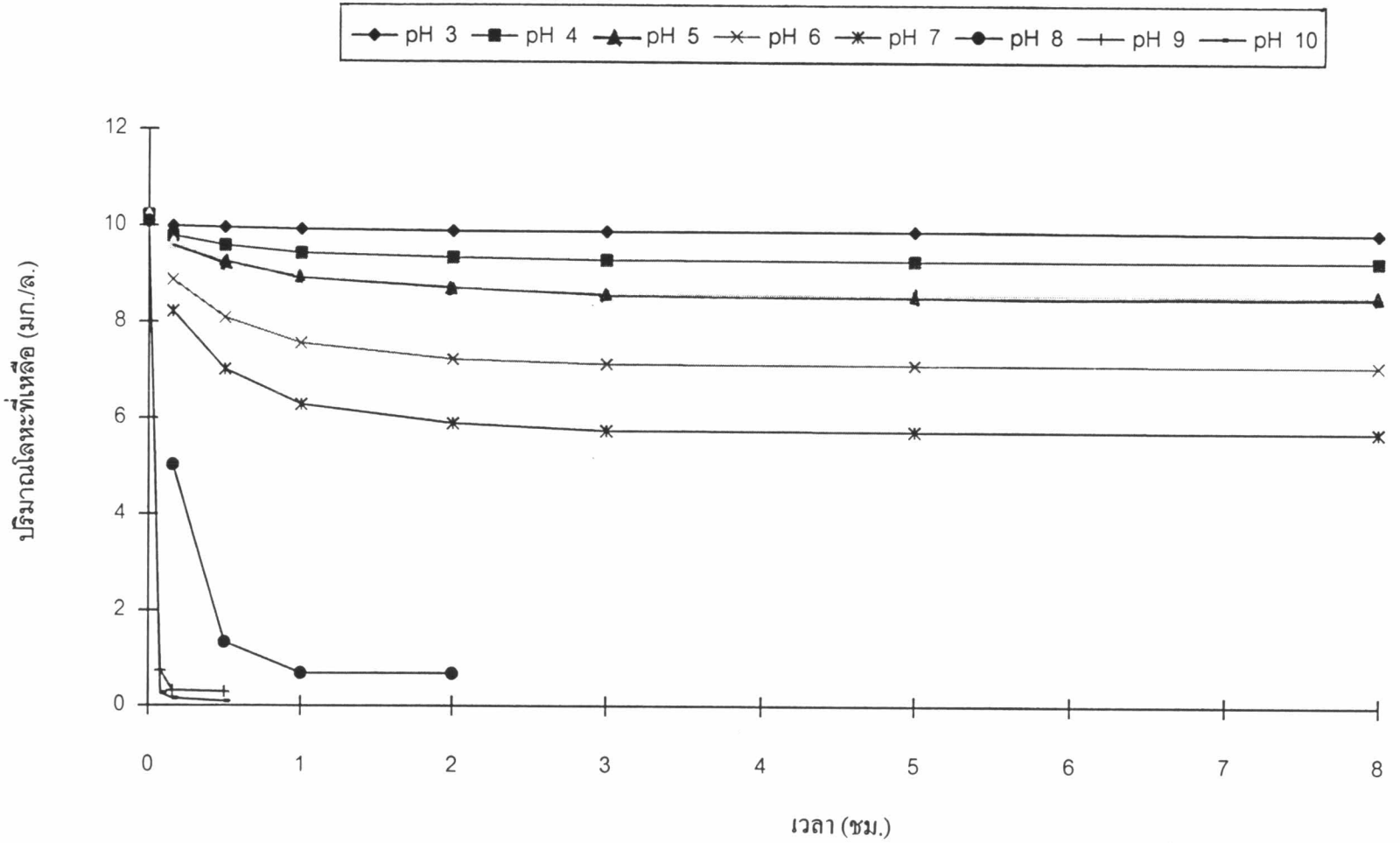
เมื่อใช้ขี้เถ้าลอยกำจัดโลหะแคดเมียมในน้ำ โดยมีความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแคดเมียม 10, 1 และ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าพีเอชของน้ำ 8 ค่า ตั้งแต่พีเอช 3 ถึง 10 โดยแสดงปริมาณแคดเมียมที่เหลือ และ ประสิทธิภาพการกำจัด(%) โดยปรับค่าพีเอช ที่เวลาต่าง ๆ ตามตารางที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ และกราฟรูปที่ 4.14 ถึง 4.19

จากตารางที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมในน้ำที่ค่าพีเอชตั้งแต่ 3 ถึง 10 จะพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นในทุกค่าความเข้มข้นเริ่มต้น โดยเมื่อนำมาทดสอบทางสถิติที่ระดับ 0.05 พบว่าที่ค่าพีเอช 10 ที่เวลาเท่ากับ 30 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดแคดเมียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับประสิทธิภาพการบำบัดที่พีเอช 3 ถึง 8 ส่วนที่พีเอช 9 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดแคดเมียมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ

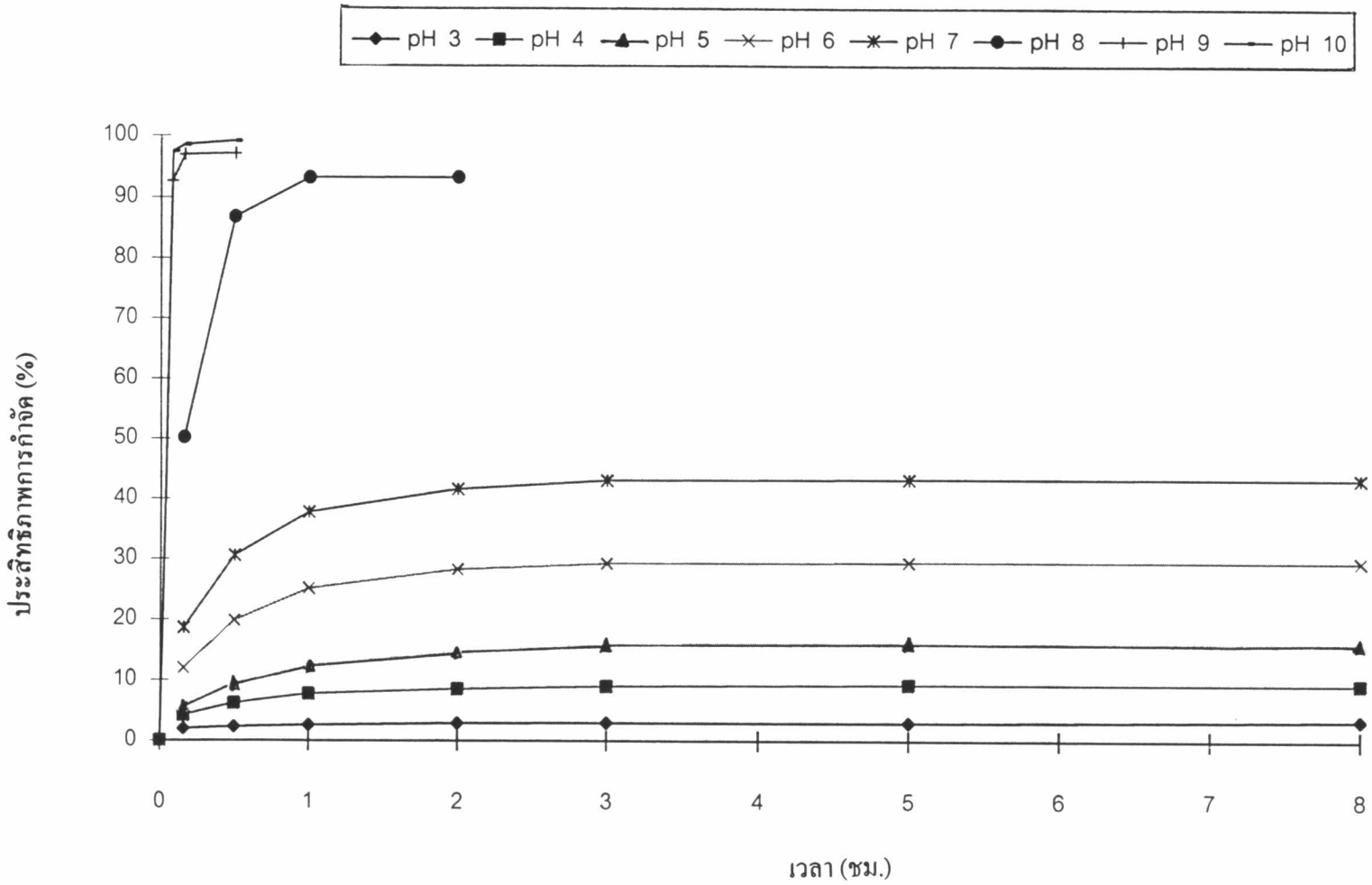
ตารางที่ 4.8 ปริมาณแคดเมียมที่เหลือในน้ำและประสิทธิภาพในการกำจัด(%)

pH	ปริมาณโลหะแคดเมียมที่เหลือ(ppm)						ประสิทธิภาพในการกำจัด(%)					
	0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	1 ชม.	2 ชม.	0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	1 ชม.	2 ชม.
3	10.18	-	9.98	9.95	9.92	9.89	0	-	1.96	2.26	2.55	2.85
4	10.21	-	9.78	9.58	9.42	9.34	0	-	4.21	6.17	7.74	8.52
5	10.22	-	9.62	9.25	8.95	8.72	0	-	5.87	9.49	12.43	14.68
6	10.08	-	8.87	8.08	7.55	7.23	0	-	12.00	19.84	25.10	28.27
7	10.09	-	8.21	7.01	6.28	5.89	0	-	18.63	30.53	37.76	41.63
8	10.08	-	5.02	1.33	0.68	0.67	0	-	50.20	86.81	93.25	93.35
9	10.07	0.74	0.31	0.29	-	-	0	92.65	96.92	97.12	-	-
10	10.08	0.26	0.15	0.09	-	-	0	97.42	98.51	99.12	-	-

หมายเหตุ ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลือกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 ppm



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 ppm

ตารางที่ 4.9 ปริมาณแคดเมียมที่เหลือในน้ำและประสิทธิภาพในการกำจัด(%)

pH	ปริมาณโลหะแคดเมียมที่เหลือ(ppm)						ประสิทธิภาพในการกำจัด(%)					
	0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	1 ชม.	2 ชม.	0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	1 ชม.	2 ชม.
3	1.05	-	1.02	1.00	0.98	0.99	0	-	2.86	4.76	6.67	5.71
4	1.02	-	0.96	0.92	0.90	0.89	0	-	5.88	9.80	11.76	12.75
5	1.07	-	0.91	0.81	0.75	0.72	0	-	14.95	24.30	29.91	32.71
6	1.05	-	0.89	0.79	0.72	0.65	0	-	15.24	24.76	31.43	38.10
7	1.07	-	0.81	0.61	0.47	0.34	0	-	24.30	42.99	56.07	68.22
8	1.08	-	0.51	0.09	0.07	0.07	0	-	52.78	91.67	93.52	93.52
9	1.05	0.05	0.03	0.03	-	-	0	95.24	97.14	97.14	-	-
10	1.08	0.03	0.02	0.02	-	-	0	97.22	98.15	98.15	-	-

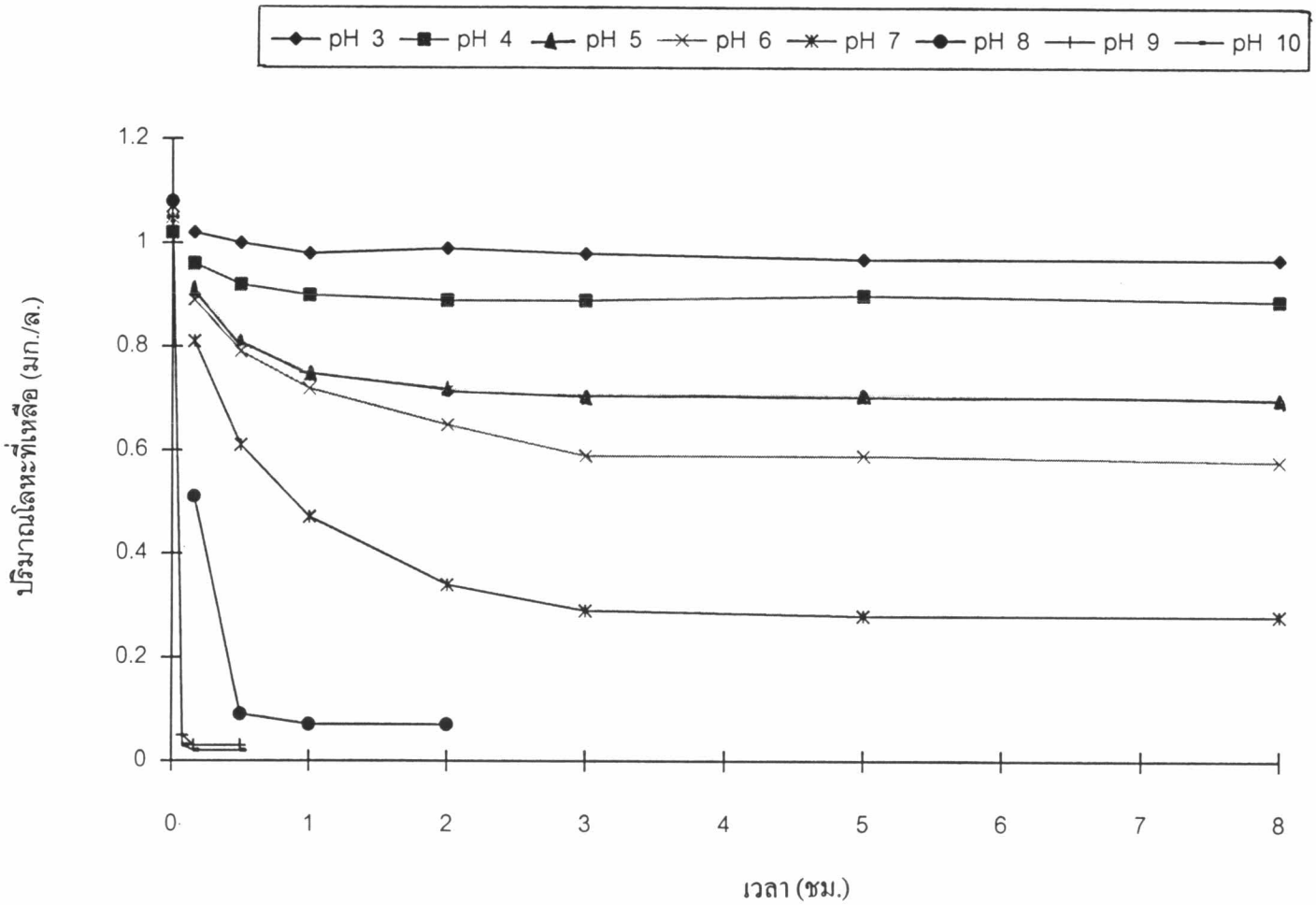
หมายเหตุ ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ประสิทธิภาพการบำบัดที่พีเอช 10 แต่เนื่องจากปริมาณของแคดเมียมที่เหลือเมื่อพีเอชเท่ากับ 9 ยังสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ดังนั้นค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดแคดเมียมที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ควรใช้พีเอช 10 สำหรับการบำบัด (สำหรับที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ผลการทดสอบทางสถิติเช่นเดียวกัน) กล่าวคือ พบว่าที่ค่าพีเอช 10 ที่เวลาเท่ากับ 10 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดแคดเมียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับประ สิทธิภาพการบำบัดที่พีเอช 3 ถึง 8 ส่วนที่พีเอช 9 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดแคดเมียมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับประสิทธิภาพ

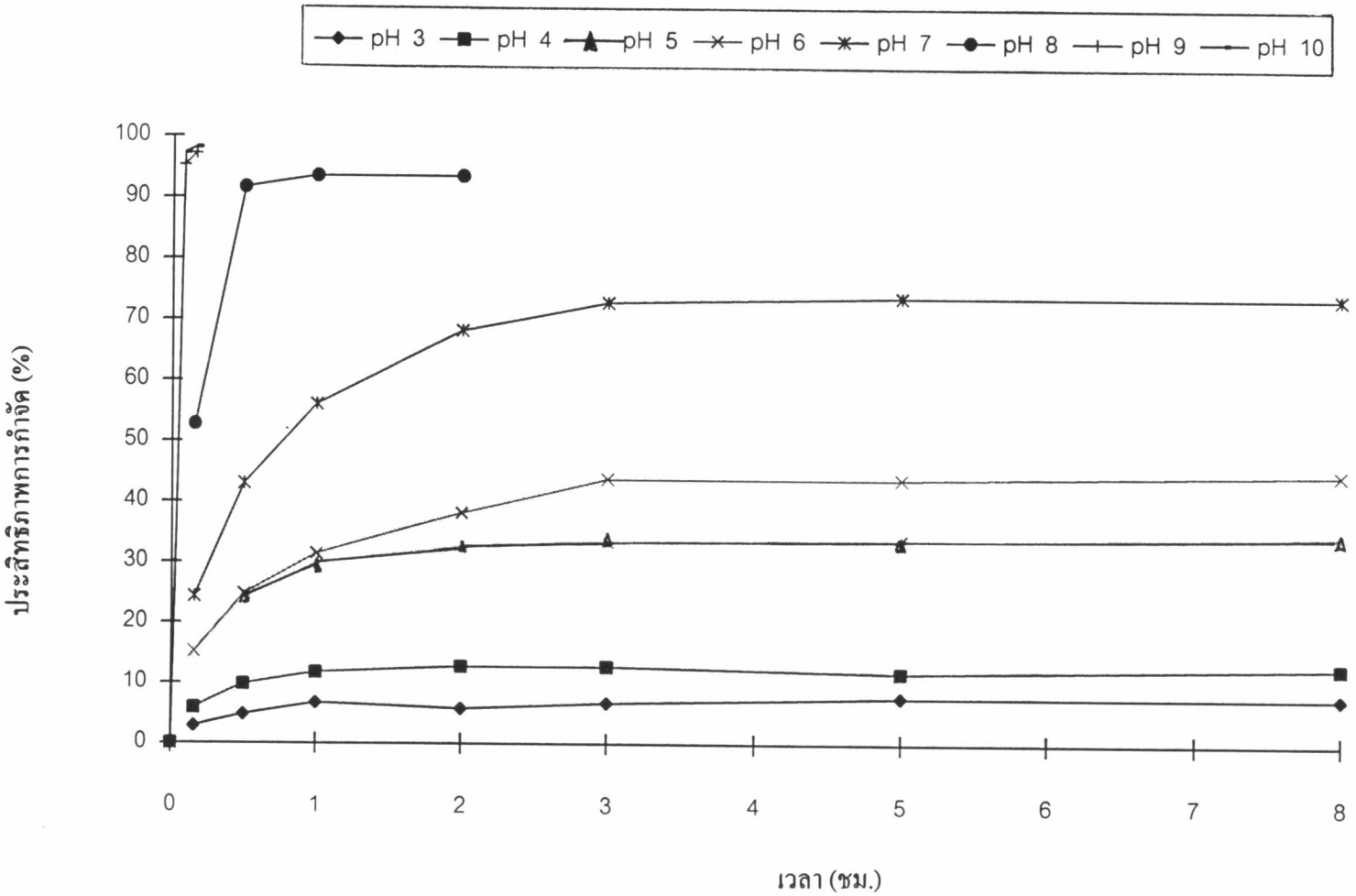
ตารางที่ 4.10 ปริมาณแคดเมียมที่เหลือในน้ำและประสิทธิภาพในการกำจัด(%)

pH	ปริมาณโลหะแคดเมียมที่เหลือ(ppm)						ประสิทธิภาพในการกำจัด(%)					
	0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	1 ชม.	2 ชม.	0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	1 ชม.	2 ชม.
6	0.13	-	0.09	0.05	0.04	0.04	0	-	30.77	61.54	69.23	69.23
7	0.12	-	0.07	0.04	0.03	0.02	0	-	41.67	66.67	75.00	83.33
8	0.12	-	0.04	0.03	0.02	0.02	0	-	66.67	75.00	83.33	83.33
9	0.13	0.04	0.03	0.02	0.02	-	0	69.23	76.92	84.62	84.62	-
10	0.11	0.03	0.02	0.01	-	-	0	72.73	81.82	90.91	-	-

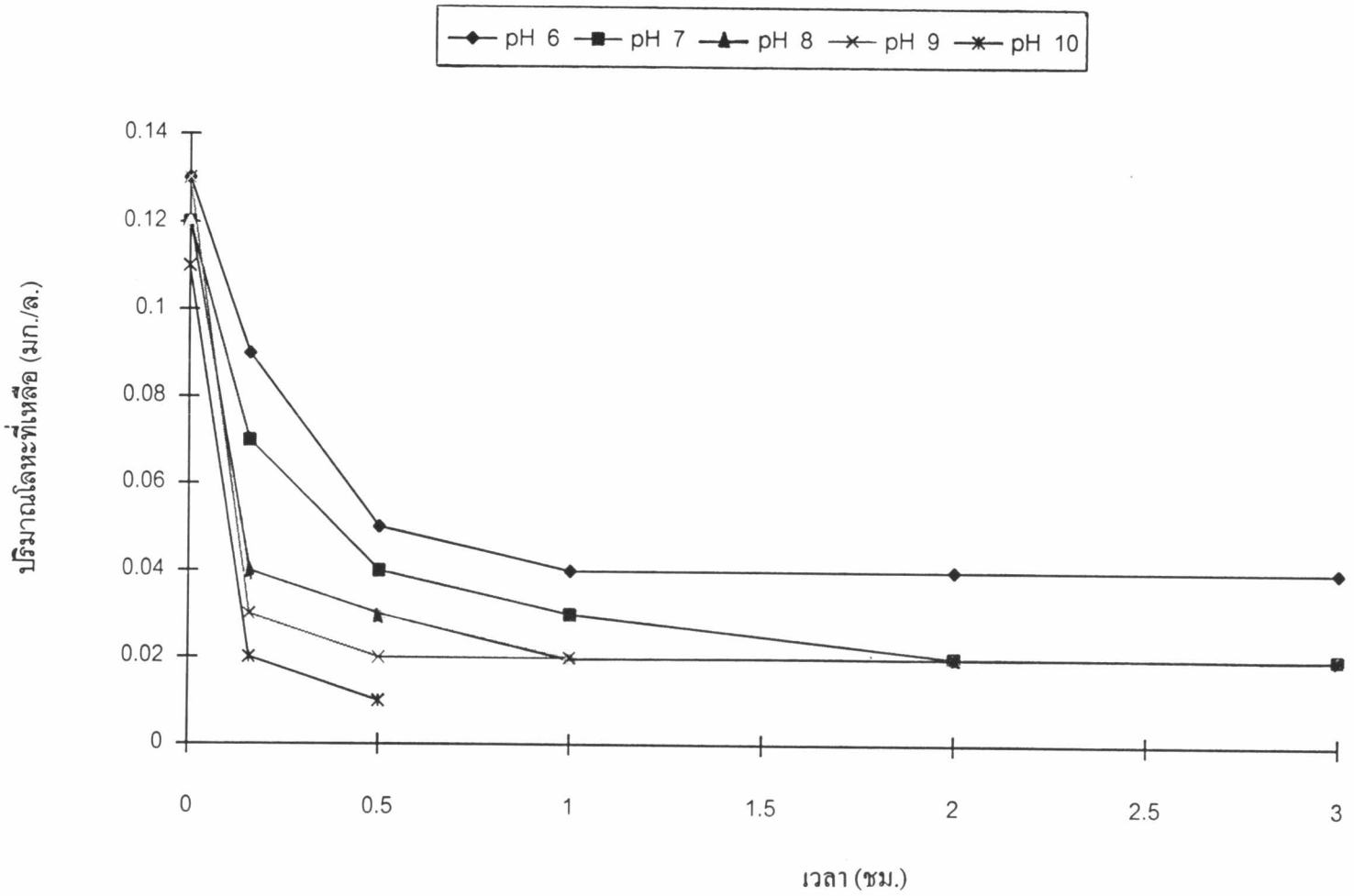
หมายเหตุ ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร



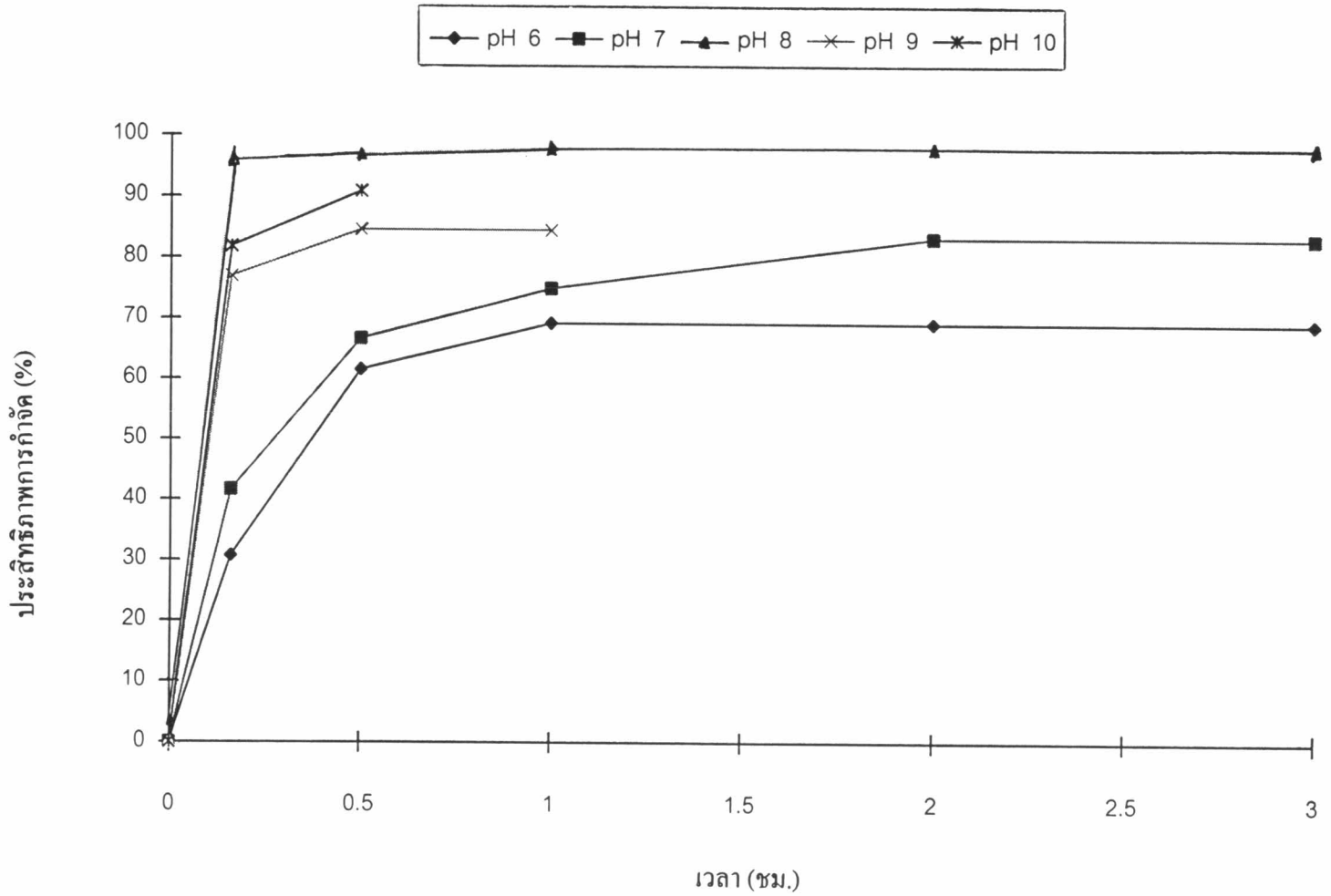
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลือกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 ppm



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 ppm



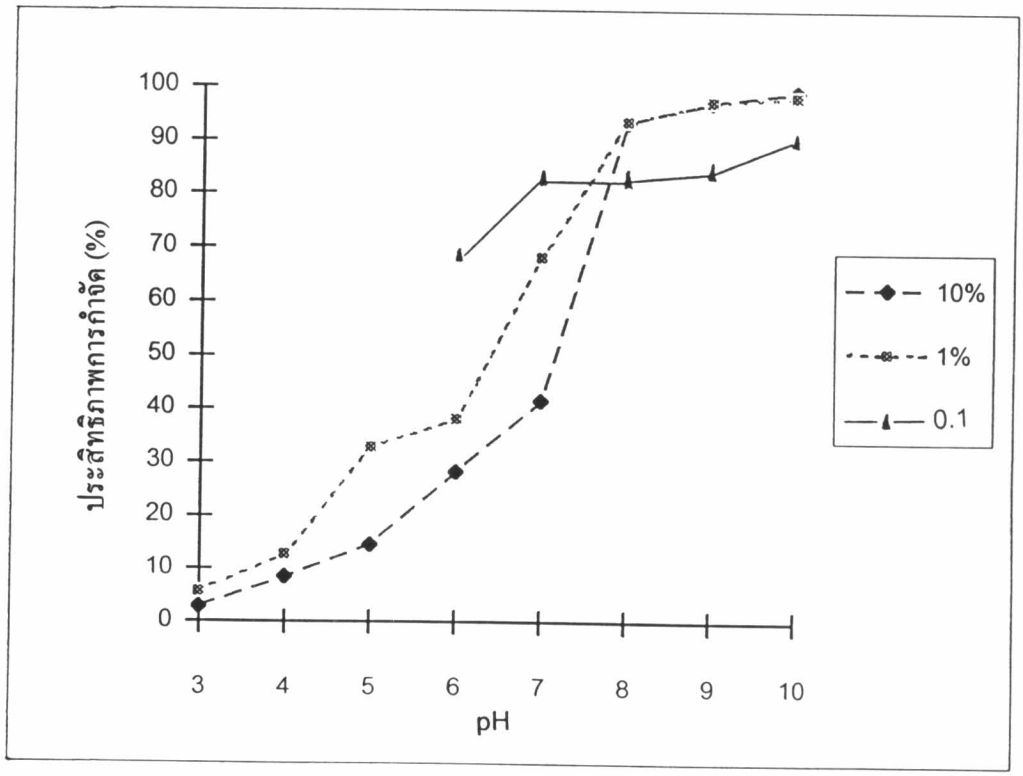
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลือกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1 ppm



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1 ppm

การบำบัดที่พีเอช 10 ส่วนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าที่ค่าพีเอช 10 ที่เวลาเท่ากับ 10 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดแคดเมียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับประสิทธิภาพการบำบัดที่พีเอช 6 ถึง 9 ดังนั้นเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดเมื่อพีเอชเท่ากับ 10 พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดจะมีค่าร้อยละ 90.91, 98.15 และ 99.12 ที่ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียมเท่ากับ 0.1, 1 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีปริมาณแคดเมียมที่เหลือเท่ากับ 0.01, 0.02 และ 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะยังไม่สามารถกำจัดแคดเมียมให้ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม นั่นคือหลังจากกระบวนการกำจัดโลหะแคดเมียมโดยใช้ขี้เถ้าลอยแล้ว ยังต้องใช้กระบวนการอื่นอีกเพื่อให้ได้ปริมาณแคดเมียมที่เหลือมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ดังนั้นหากจะใช้วิธีการนี้ในการกำจัดแคดเมียมจะต้องคำนึงถึงค่าความเข้มข้นเริ่มต้นก่อนที่จะทำการบำบัดด้วย และจากข้อมูลในตารางที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10, 1 และ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร กับค่าพีเอช ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.21

กลไกของการกำจัดโลหะแคดเมียมพบว่า ณ ค่าพีเอชสูงสามารถกำจัดแคดเมียมได้ดีนั้น อาจเนื่องมาจากการตกตะกอน โดยที่ขี้เถ้าลอยเป็นเพียงสารช่วยตกตะกอน เช่นเดียวกับกรณีของการกำจัด



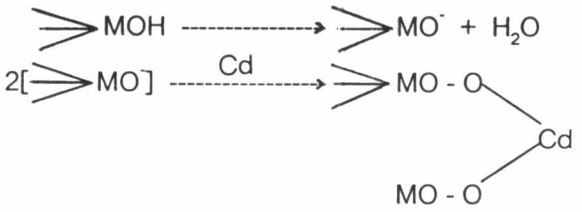
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมโดยใช้ขี้เถ้าลอยกับค่าพีเอช ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียมต่างๆ กัน

นิกเกิล สำหรับกระบวนการกำจัดแคดเมียมออกจากน้ำด้วยกระบวนการดูดซับด้วยโลหะออกไซด์ (Metal oxide) เนื่องจากการมีพื้นที่ผิวมาก และจากการศึกษาของ Yavada และคณะ (1987) พบว่า การดูดซับของโลหะออกไซด์ จะขึ้นอยู่กับการรับและให้โปรตอนของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล(Hydroxyl group) ซึ่งจะทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวของสารดูดซับ และประจุที่พื้นผิวจะดูดซับไอออนจากสารละลาย เพื่อที่จะรักษาสมดุลของประจุไว้

ในสารละลายที่เป็นกรด จะเกิดการสร้างของประจุบนพื้นผิวของสารดูดซับ ดังสมการต่อไปนี้

$$MO + H\text{-}OH \dashrightarrow M\text{-}OH^{+}_{2} + OH^{-}$$

กรณีในสารละลายที่เป็นด่าง ที่พื้นผิวของสารดูดซับ จะเกิดการสร้างประจุดังต่อไปนี้



ดังนั้นเมื่อสารละลายมีสภาวะเป็นด่างจากสมการ (2) เห็นได้ชัดเจนว่าในสารละลายด่างจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการดูดติดผิวของแคดเมียมบนพื้นผิวของโลหะออกไซด์ได้มากขึ้น ส่วนการเกิดประจุบนพื้นผิวในกรณีที่สารละลายมีสภาวะเป็นกรดเมื่อพิจารณาจากสมการ (1)จะเห็นว่าการสร้างประจุของโลหะออกไซด์ ทำให้ไม่เหมาะสำหรับการดูดซับแคดเมียมในน้ำ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมต่ำมาก

3.4.3 <u>ผลการกำจัดโลหะตะกั่วในน้ำ</u>

เมื่อใช้ขี้เถ้าลอยกำจัดโลหะตะกั่วในน้ำ โดยมีความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว 40, 10 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ใช้ขี้เถ้าลอยปริมาณร้อยละ 1 และปรับเปลี่ยนค่าพีเอช 8 ค่า ตั้งแต่ 3 ถึง 10 ซึ่งผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เหลือที่เวลาต่างๆ และประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่สภาวะต่างๆ ได้แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.11, 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ และจากกราฟรูปที่ 4.21 ถึง 4.26 สามารถสรุปผลได้ดังนี้คือ ค่าพีเอชของสารละลายมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วโดยใช้ขี้เถ้าลอย โดยจะพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นในทุกค่าความเข้มข้นเริ่มต้น โดยเมื่อนำมาทดสอบทางสถิติที่ระดับ 0.05 พบว่าที่ค่าพีเอช 10 ที่เวลาเท่ากับ 10 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับประสิทธิภาพการบำบัดที่พีเอช 3 ถึง 7 ส่วนที่พีเอช 8 และ 9 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติกับประสิทธิภาพการบำบัดที่พีเอช 10 แต่เนื่องจากปริมาณของตะกั่วที่เหลือเมื่อพีเอชเท่ากับ 8 และ 9 ยังสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ดังนั้นค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ควรใช้พีเอช 10 สำหรับการสำหรับการบำบัด

ตารางที่ 4.11 ปริมาณตะกั่วที่เหลือในน้ำและประสิทธิภาพในการกำจัด(%)

pH	ปริมาณโลหะตะกั่วที่เหลือ(ppm)						ประสิทธิภาพในการกำจัด(%)					
	0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	1 ชม.	2 ชม.	0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	1 ชม.	2 ชม.
3	39.89	-	35.58	32.85	32.83	32.84	0	-	10.80	17.65	17.70	17.67
4	40.12	-	34.42	32.88	32.85	32.55	0	-	14.21	18.05	18.12	18.87
5	40.18	-	30.16	24.29	20.16	18.21	0	-	24.94	39.96	49.75	54.61
6	40.19	-	20.19	10.26	6.55	4.87	0	-	49.76	74.47	83.70	87.88
7	40.11	-	6.15	2.97	2.56	2.20	0	-	84.67	92.59	93.62	94.51
8	40.18	4.03	0.93	0.41	0.40	-	0	89.97	97.69	98.98	99.00	-
9	40.16	0.31	0.29	0.22	0.22	-	0	99.23	99.28	99.45	99.45	-
10	40.10	0.18	0.17	0.17	-	-	0	99.55	99.58	99.58	-	-

หมายเหตุ ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.12 ปริมาณตะกั่วที่เหลือในน้ำและประสิทธิภาพในการกำจัด(%)

pH	ปริมาณโลหะตะกั่วที่เหลือ(ppm)						ประสิทธิภาพในการกำจัด(%)					
	0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	1 ชม.	2 ชม.	0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	1 ชม.	2 ชม.
3	10.14	-	8.45	8.26	8.24	8.21	0	-	16.67	18.54	18.74	19.03
4	10.19	-	8.38	8.16	7.98	7.86	0	-	17.76	19.92	21.69	22.87
5	9.81	-	5.21	4.11	2.85	2.51	0	-	46.89	58.10	70.95	74.41
6	9.76	-	2.25	0.85	0.48	0.46	0	-	76.95	91.28	95.08	95.29
7	9.79	-	1.38	0.42	0.28	0.25	0	-	85.90	95.71	97.14	97.45
8	10.12	0.31	0.24	0.23	0.21	0.21	0	96.94	97.63	97.73	97.92	97.92
9	10.16	0.28	0.21	0.20	0.20	-	0	97.24	97.93	98.03	98.03	-
10	10.19	0.18	0.12	0.12	-	-	0	98.23	98.82	98.82	-	-

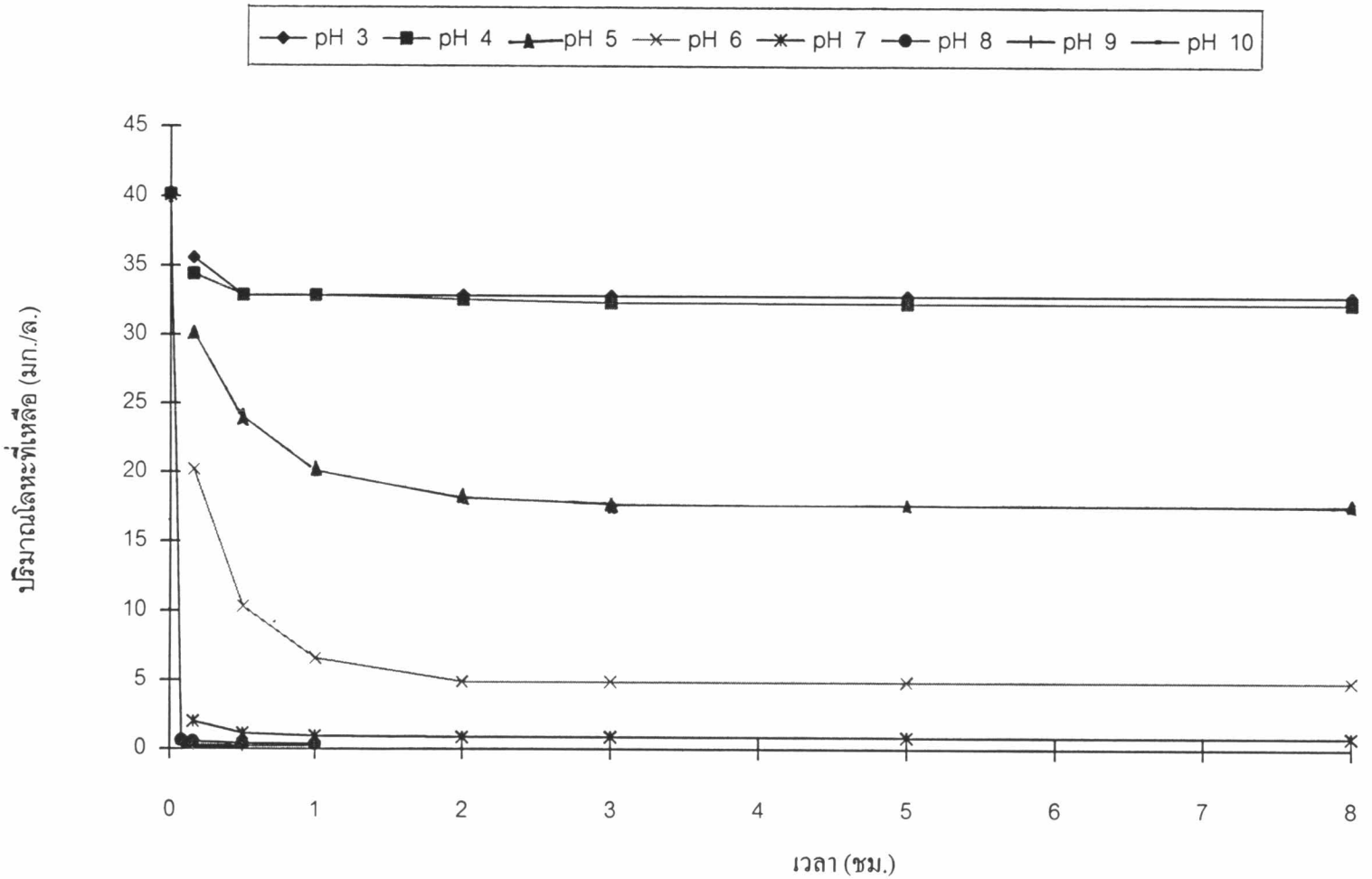
หมายเหตุ ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.13 ปริมาณตะกั่วที่เหลือในน้ำและประสิทธิภาพในการกำจัด(%)

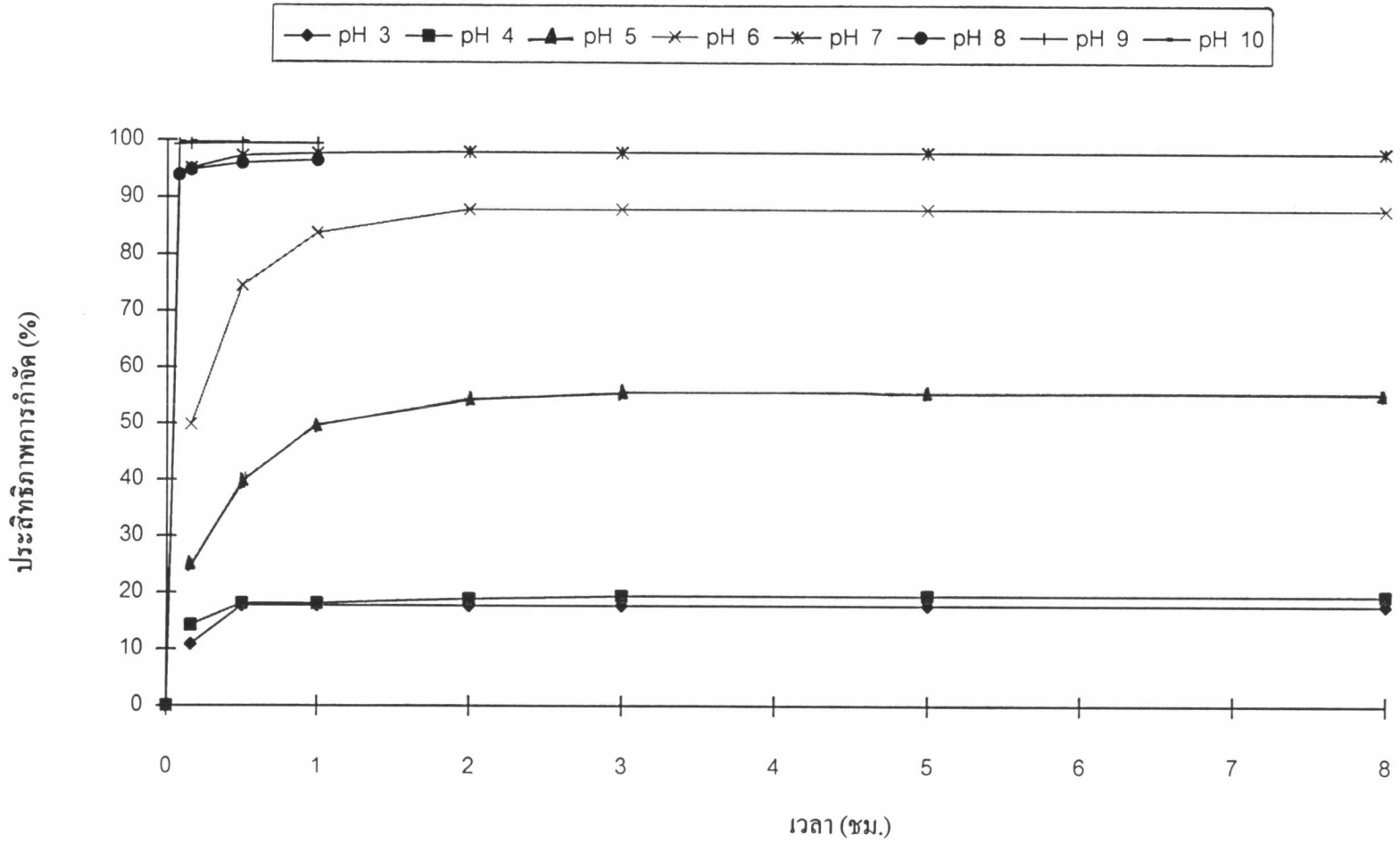
pH	ปริมาณโลหะตะกั่วที่เหลือ(ppm)						ประสิทธิภาพในการกำจัด(%)					
	0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	1 ชม.	2 ชม.	0 นาที	5 นาที	10 นาที	30 นาที	1 ชม.	2 ชม.
6	1.01	-	0.27	0.17	0.09	0.07	0	-	74.26	83.17	91.09	93.07
7	1.01	-	0.11	0.09	0.07	0.05	0	-	89.11	91.09	93.07	95.05
8	1.02	0.12	0.10	0.07	0.05	-	0	88.24	90.20	93.14	95.10	-
9	1.03	0.11	0.09	0.06	0.05	-	0	89.32	91.26	94.17	95.14	-
10	1.03	0.08	0.05	0.04	-	-	0	92.23	95.15	96.12	-	-

หมายเหตุ ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

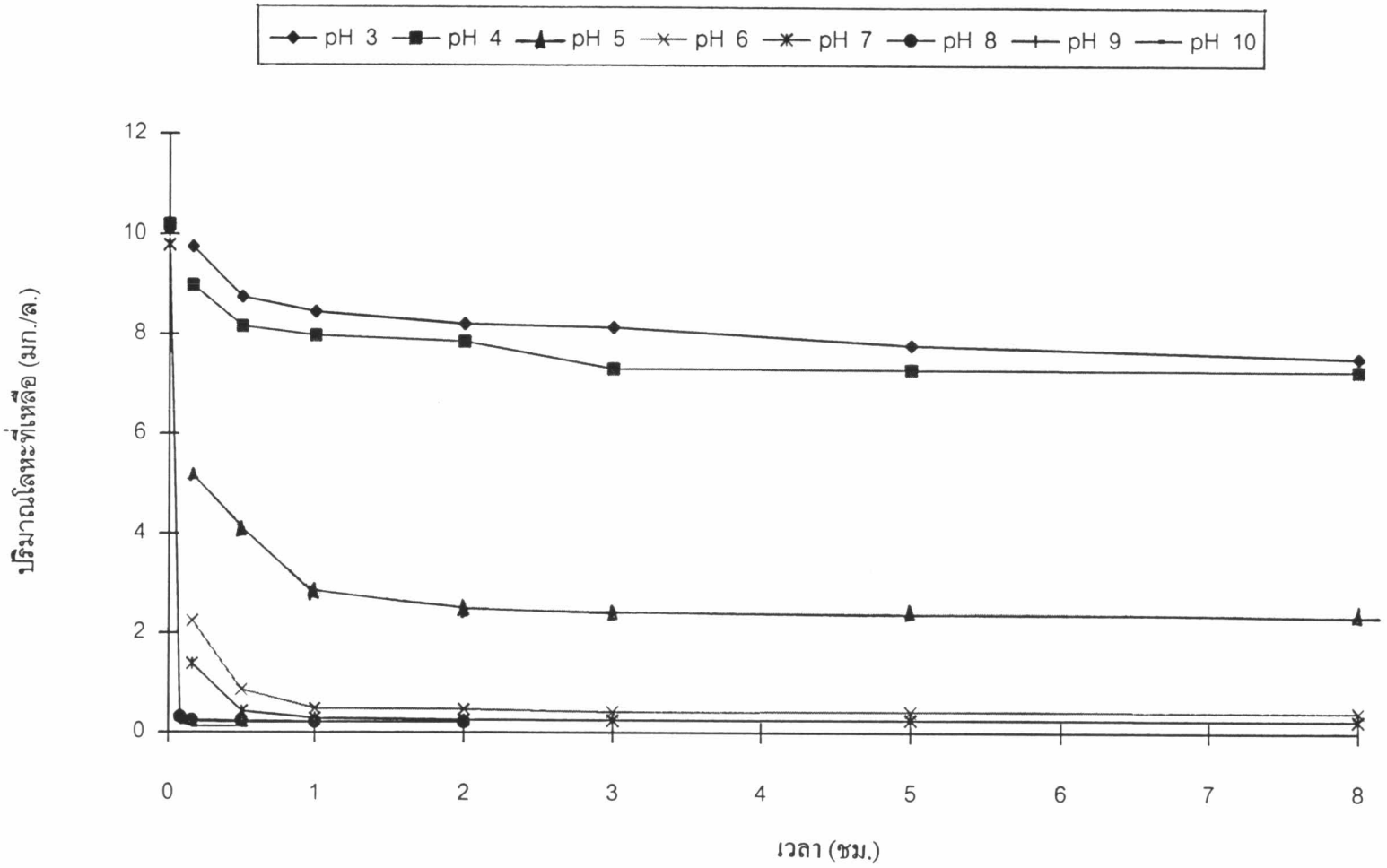
สำหรับที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ผลทดสอบทางสถิติดังนี้คือ พบว่าที่ค่าพีเอช 10 ที่เวลาเท่ากับ 10 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับประสิทธิภาพการบำบัดที่พีเอช 3 ถึง 7 ส่วนที่พีเอช 8 และ 9 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่ว ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับประสิทธิภาพการบำบัดที่พีเอช 10 แต่ปริมาณตะกั่วที่ยังเหลือในสารละลายมีค่าไม่ต่ำกว่ามาตรฐาน เช่นเดียวกัน ส่วนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าที่ค่าพีเอชเท่ากับ 6 ที่เวลาเท่ากับ 30 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 83.17 มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับประสิทธิภาพการบำบัดที่พีเอช 7 ถึง 10 โดยประสิทธิภาพในการบำบัดจะมีค่าร้อยละ 91.09, 93.14, 94.17 และ 96.12 ตามลำดับ แต่จะเห็นได้ว่า ณ ช่วงเวลานี้สามารถกำจัดตะกั่วให้มีความเข้มข้นที่เหลือต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว ซึ่งกลไกการกำจัดตะกั่วในน้ำสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับการกำจัดนิกเกิลและแคดเมียม โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้นเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร คาดว่ากลไกการกำจัดตะกั่วเกิดจากกระบวนการดูดติดผิวเนื่องจากที่พีเอชเท่ากับ 6 ตะกั่วที่อยู่ในรูปตกตะกอนได้มีปริมาณน้อยมาก หากพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดกับค่าพีเอชที่ทำการทดลองดังกราฟรูปที่ 4.29



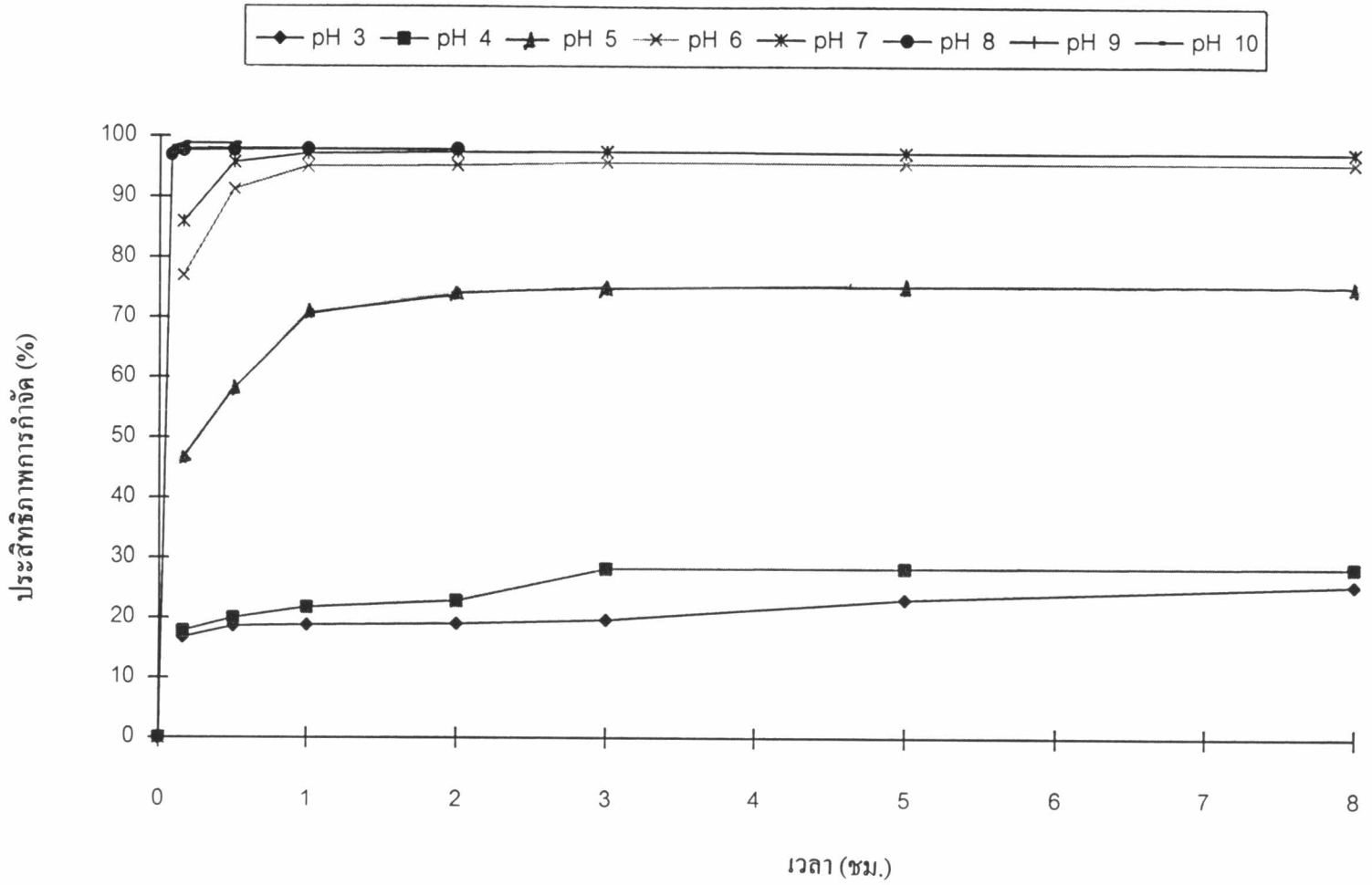
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลือกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 40 ppm



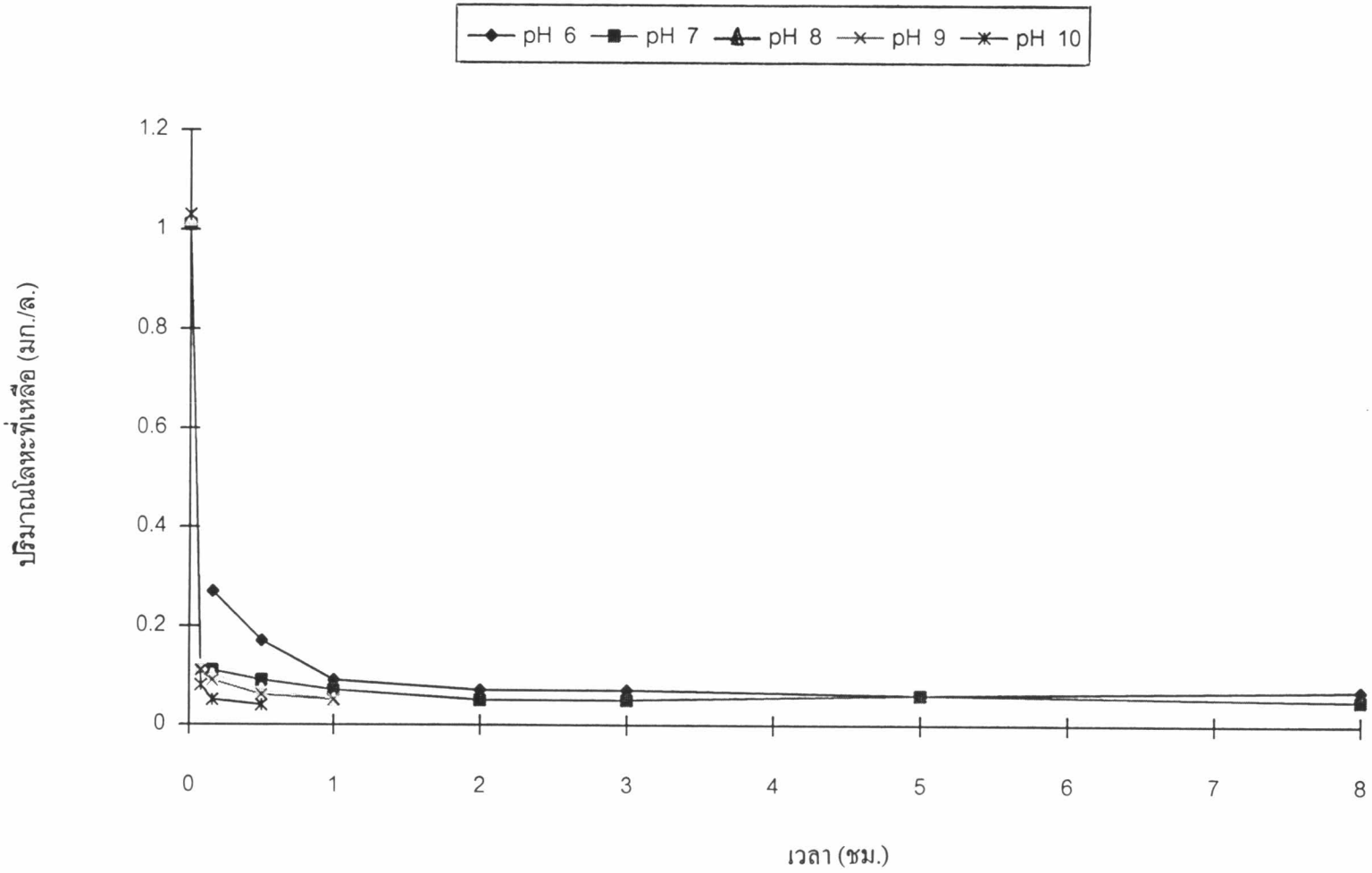
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 40 ppm



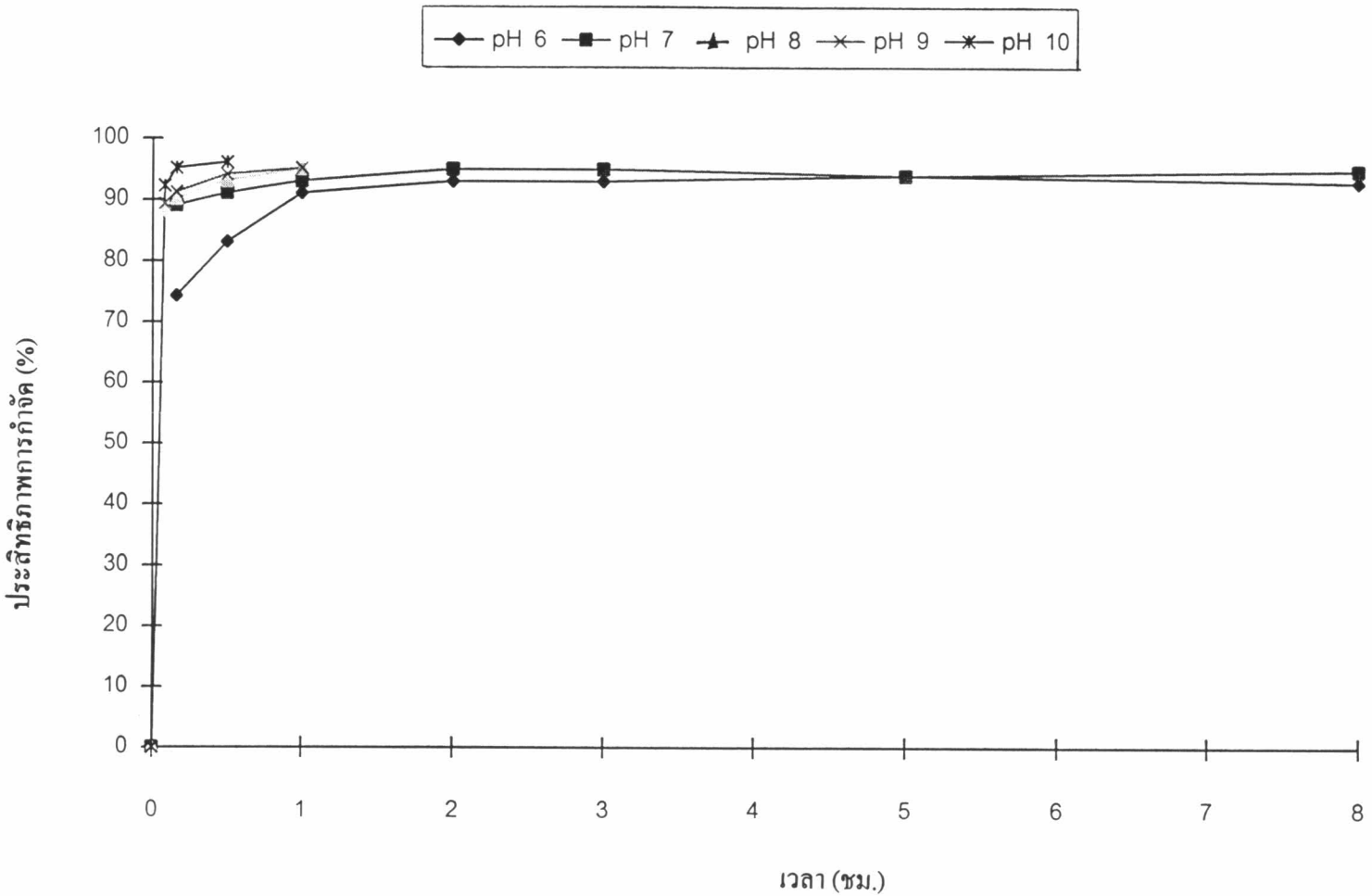
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลือกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 ppm



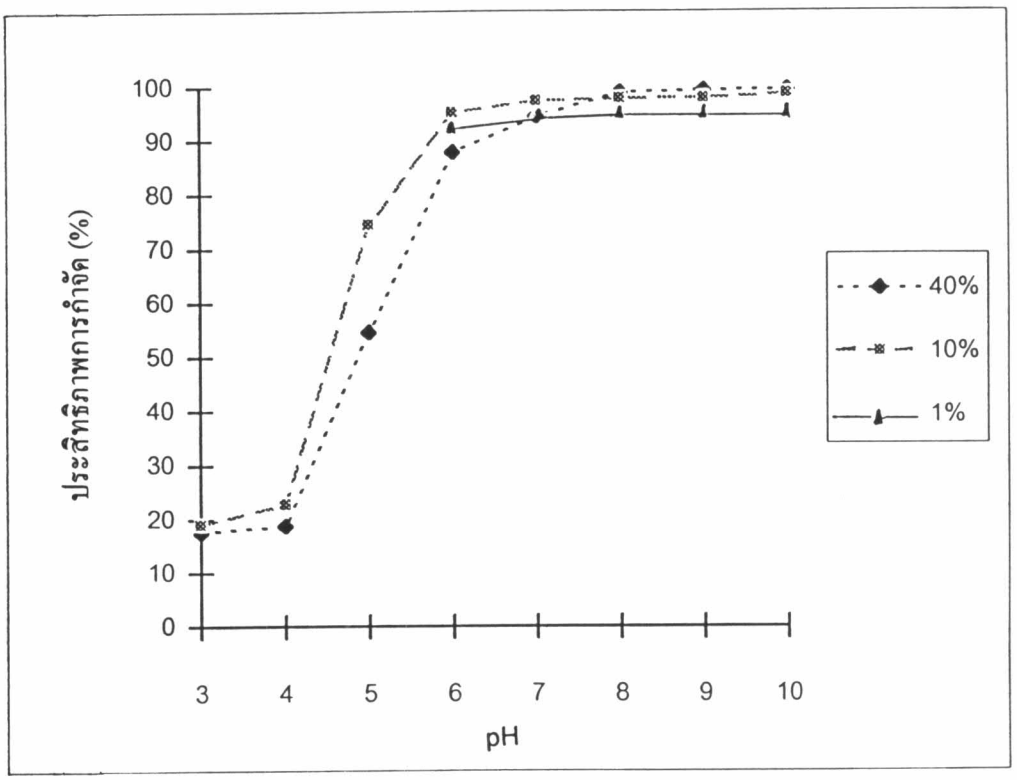
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 ppm



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลือกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 ppm



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 ppm

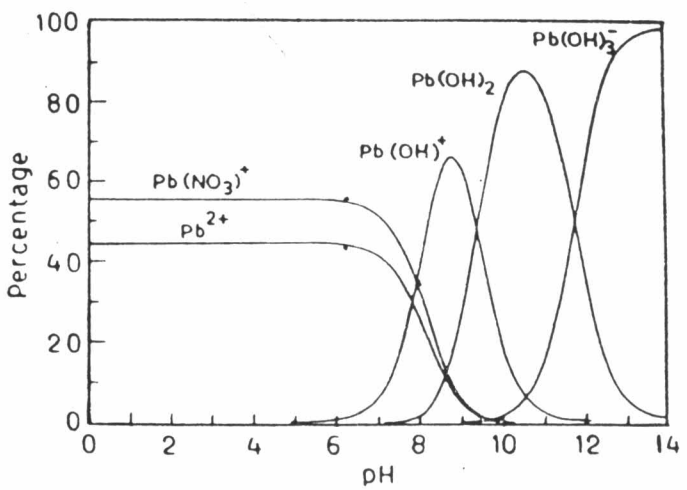


รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วโดยใช้ขี้เถ้าลอยกับค่าพีเอช ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วต่างๆ กัน

สาเหตุที่ ณ ค่าพีเอชสูงสามารถกำจัดตะกั่วได้ดีนั้น สามารถพิจารณาจากสมการการละลายน้ำ(Hydrolysis) ของโลหะตะกั่วดังนี้ คือ

$$Pb^{2+} + H_2O \text{ --------- } PbOH^+ + H^+$$

$$Pb^{2+} + 2H_2O \text{ --------- } Pb(OH)_2 + H^+$$



รูปที่ 4.29 แสดงปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของตะกั่วที่ค่าพีเอชต่าง ๆ

ซึ่งหากพิจารณาจากกราฟแสดงการแตกตัวของตะกั่วในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ จะพบว่าที่ค่าพีเอชเท่ากับ 6 ปริมาณตะกั่วไอออนอิสระ(Pb^{2+})จะลดปริมาณลง โดยเปลี่ยนรูปไปเป็นตะกั่วไฮดรอกไซด์ ($PbOH^+$) ขึ้นแทน และเมื่อค่าพีเอชมากกว่า 8.5 ($PbOH^+$) ก็จะลดลงและเกิดตะกอน $Pb(OH)_2$ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ความสามารถกำจัดตะกั่วในน้ำโดยใช้ขี้เถ้าลอยนั้นก็เช่นเดียวกับกรณีของการกำจัดนิกเกิลและแคดเมียมในน้ำ ซึ่งผลการทดลองจะสอดคล้องกับการวิจัยของ Singh และคณะ(1989) กล่าวว่าการดูดซับของตะกั่วในน้ำหรือน้ำเสีย จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการคือ ค่าพีเอช การแตกตัวของ adsorbate โดยประสิทธิภาพในการกำจัดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 13.85 เป็น 88.10 เมื่อเพิ่มค่าพีเอชจาก 3 เป็น 6 ซึ่งการดูดซับเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับ Al_2O_3 และ SiO_2ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่มีอยู่ในขี้เถ้าลอย และการยึดเกาะกันของตะกั่วบนพื้นผิวของ Hydrous alumina และ Hydrous silica เป็นดังสมการต่อไปนี้

$$\equiv AlOH + Pb^{2+} \rightleftharpoons \equiv AlOPb^{+} + H^{+}$$

$$2[\equiv AlOH] + Pb^{2+} \rightleftharpoons [AlO]_2Pb^{+} + H^{+}$$

$$= SiOH + Pb^{2+} \rightleftharpoons = SiOPb^{+} + H^{+}$$

$$2[= SiOH] + Pb^{2+} \rightleftharpoons [SiO]_2Pb^{+} + H^{+}$$

4.4 การชะละลาย (Leaching Test)

การทดสอบการชะละลายของการวิจัยนี้ จะใช้กากตะกอนขี้เถ้าลอยที่เกิดจากสภาวะที่ได้จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.3 แล้วเปรียบเทียบผลที่ได้กับเกณฑ์มาตรฐานสารพิษของกรมโรงงานอุตสาหกรรม(พ.ศ.2531) ซึ่งผลการชะละลายของโลหะหนักได้แสดงในตารางที่ 4.14

จากผลการทดลองหาปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด แล้วพบว่าเกิดการละลายกลับมาสู่สารละลายสูงมาก อาจเนื่องมาจากประสิทธิภาพที่สูงที่สุดในการกำจัดเกิดจากกระบวนการตกตะกอนเป็นส่วนใหญ่ ทำให้เมื่อค่าพีเอชต่ำลงตะกอนก็จะกลับมาอยู่ในรูปที่ละลายได้ ยกเว้นกรณีของตะกั่วที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีการละลายกลับค่อนข้างน้อยเนื่องมาจากกากตะกอนที่ได้เกิดจากการดูดซับเป็นส่วนใหญ่ และเมื่อเปรียบเทียบผลกับเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว พบว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 40 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อทดสอบการชะละลายของตะกั่วจะมีค่าเกินมาตรฐาน เช่นเดียวกับกรณีที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียม 10 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็มีค่าเกินมาตรฐานเช่นกัน ส่วนในกรณีของนิกเกิลไม่ได้มีกำหนดไว้ในมาตรฐานสารพิษ

ตารางที่ 4.14 ปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายออกจากขี้เถ้าลอย

ชนิดของกากตะกอน	ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลาย	
		มิลลิกรัมต่อลิตร	ร้อยละ
นิกเกิล	40	35.42	88.68
	10	8.11	82.00
	1	0.75	72.12
แคดเมียม	10	8.21	81.45
	1	0.71	65.74
	0.1	0.06	54.55
ตะกั่ว	40	32.58	81.25
	10	7.32	71.84
	1	0.53	52.48

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ากากตะกอนที่เกิดขึ้นนี้จัดอยู่ในข่ายของสารพิษ ซึ่งควรจะต้องมีการนำไปทำลายฤทธิ์โดยกระบวนการทำให้เป็นก้อน (Solidification)ต่อไป โดยกระบวนการทำให้เป็นก้อนและการทำลายฤทธิ์เป็นกระบวนการที่ทำให้สารต่างๆ ถูกยึดไว้และไม่สามารถแสดงคุณสมบัติทางเคมีออกมาได้ก่อนที่จะนำไปฝังกลบให้ถูกต้องตามหลักวิชาการต่อไป

4.5 การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักโดยใช้ขี้เถ้าลอยกับน้ำทิ้งจริง

ตัวอย่างน้ำทิ้งที่ใช้ทำการศึกษาจะเป็นน้ำทิ้งที่ออกจากโรงงานแบตเตอรี่แห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการบำบัด จะใช้จากสภาวะต่างๆ ที่ได้ในหัวข้อ 2 โดยใช้ค่าพีเอช(pH) = 10 ปริมาณขี้เถ้าลอย 1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตรของน้ำทิ้ง 500 ml. นำไปเขย่า 125 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วทำการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วของตัวอย่างก่อนและหลังการเขย่า ซึ่งได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.15

จากการศึกษาที่ได้พบว่า การดูดซับโลหะตะกั่วของน้ำทิ้งตัวอย่างโรงงานแบตเตอรี่ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ จะมีประสิทธิภาพในการถูกดูดซับด้วยขี้เถ้าลอยร้อยละ 95.80 และค่าพีเอช(pH) หลังผ่านการเขย่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 10.37 เมื่อพิจารณาการดูดซับโลหะตะกั่ว จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วของขี้เถ้าลอยกับน้ำทิ้งตัวอย่างจริง จะลดปริมาณโลหะลงได้มากพอสมควร แต่จะเห็นได้ว่ามีปริมาณตะกั่วหลังจากการบำบัดอยู่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำเสีย

ตารางที่ 4.15 ผลการดูดซับด้วยขี้เถ้าลอยของน้ำทิ้งจริงจากโรงงาน

พารามิเตอร์	ความเข้มข้นเริ่มต้น		% การกำจัด	Effluent standard
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง		
ปริมาณตะกั่ว	30.24	1.27	95.80	0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
pH	<2	10.37	-	5-9

สังเคราะห์ อาจเป็นผลเนื่องมาจากน้ำทิ้งของโรงงานมีส่วนประกอบของสารเคมีชนิดอื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตหลายชนิด รวมทั้งมีโลหะหนักอย่างอื่นปนอยู่ด้วยและถูกปลดปล่อยมาในน้ำทิ้ง ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำกว่าน้ำเสียสังเคราะห์เนื่องจากในน้ำเสียสังเคราะห์จะไม่มีการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารชนิดอื่น และส่วนประกอบของโลหะที่สังเคราะห์ขึ้นจะมีเพียงส่วนประกอบของโลหะชนิดเดียวเท่านั้น

พิจารณาค่าพีเอช(pH) จากผลการทดลองค่า pH ของน้ำทิ้งตัวอย่างหลังผ่านการเขย่าจะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งได้เลือกสภาวะเดียวกับที่ได้ทำการทดลองไว้แล้วในหัวข้อ 2 เมื่อเปรียบเทียบกค่าพีเอชที่ได้กับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมจะพบว่ามีค่าเกินมาตรฐาน ดังนั้นภายหลังการดูดซับด้วยขี้เถ้าลอยแล้วจะต้องมีการปรับค่าพีเอช เพื่อให้ค่าพีเอชของน้ำทิ้งก่อนปล่อยออกจากระบบบำบัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

4.6 การนำไปใช้งานจริง

ในทางปฏิบัติเนื่องจากขี้เถ้าลอยเป็นผลพลอยได้จากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการให้พลังงาน ซึ่งเป็นของไม่มีราคาและปริมาณมาก จากการทดลองจะพบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้งานจริง เนื่องจากมีข้อดีหลายประการคือ

1. มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักสูง โดยในการทดลองได้ทดลองใช้กับโลหะ 3 ชนิด ได้แก่ นิกเกิล แคดเมียม และตะกั่ว โดยปริมาณกากตะกอน(sludge) ที่เกิดขึ้นมีประมาณ 1 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำทั้งหมดเท่านั้น ซึ่งจะเห็นว่าเป็นปริมาณกากตะกอนที่น้อยมาก
2. ขั้นตอนการกวนผสมทำได้ง่าย เนื่องจากไม่มีลักษณะข้นเหนียวระหว่างการกวน
3. หลังการบำบัดแล้วสามารถทำการแยกตะกอนออกได้ง่าย
4. อาจนำมาบำบัดในขั้นตอน Pretreatment เพื่อเป็นการลดปริมาณโลหะหนักส่วนหนึ่งก่อนที่จะนำไปบำบัดในขั้นต่อไป จนน้ำเสียที่ได้สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า ขี้เถ้าลอยสามารถนำมาใช้กำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจริงได้แม้ว่าค่าที่ได้จะไม่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการที่จะนำขี้เถ้าลอยมาใช้กำจัดโลหะหนักชนิดอื่น เพื่อที่จะนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการคาดคะเนปริมาณขี้เถ้าลอยที่เหมาะสมในการใช้กำจัดโลหะหนักต่างๆ ทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำเสียจริง

แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่กล่าวคือน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีนี้ยังมีค่าพีเอช สูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ในกรณีที่ความเข้มข้นโลหะหนักสูง ดังนั้นจะต้องมีการปรับค่าพีเอชให้อยู่ในมาตรฐานเสียก่อน นอกจากนี้แล้วก็ยังควรจะต้องระวังโลหะหนักชนิดอื่นที่มีอยู่ในขี้เถ้าลอยว่าอาจจะมีการปนเปื้อนออกมาได้บ้าง

ส่วนกากตะกอนที่เหลือหลังจากการบำบัดนั้นควรที่จะนำไปทำให้คงรูปด้วยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เนื่องจากคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของขี้เถ้าลอยเองก็คือ สามารถเกิดปฏิกิริยาพอสโซลานิค (Pozzolanic Reaction) เกิดเป็นเจลของ Calcium-silicate hydrate จึงเหมาะที่จะนำไปผ่านกระบวนการ fixation เพื่อที่จะทำให้โลหะหนักไม่สามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้