บทที่ 4

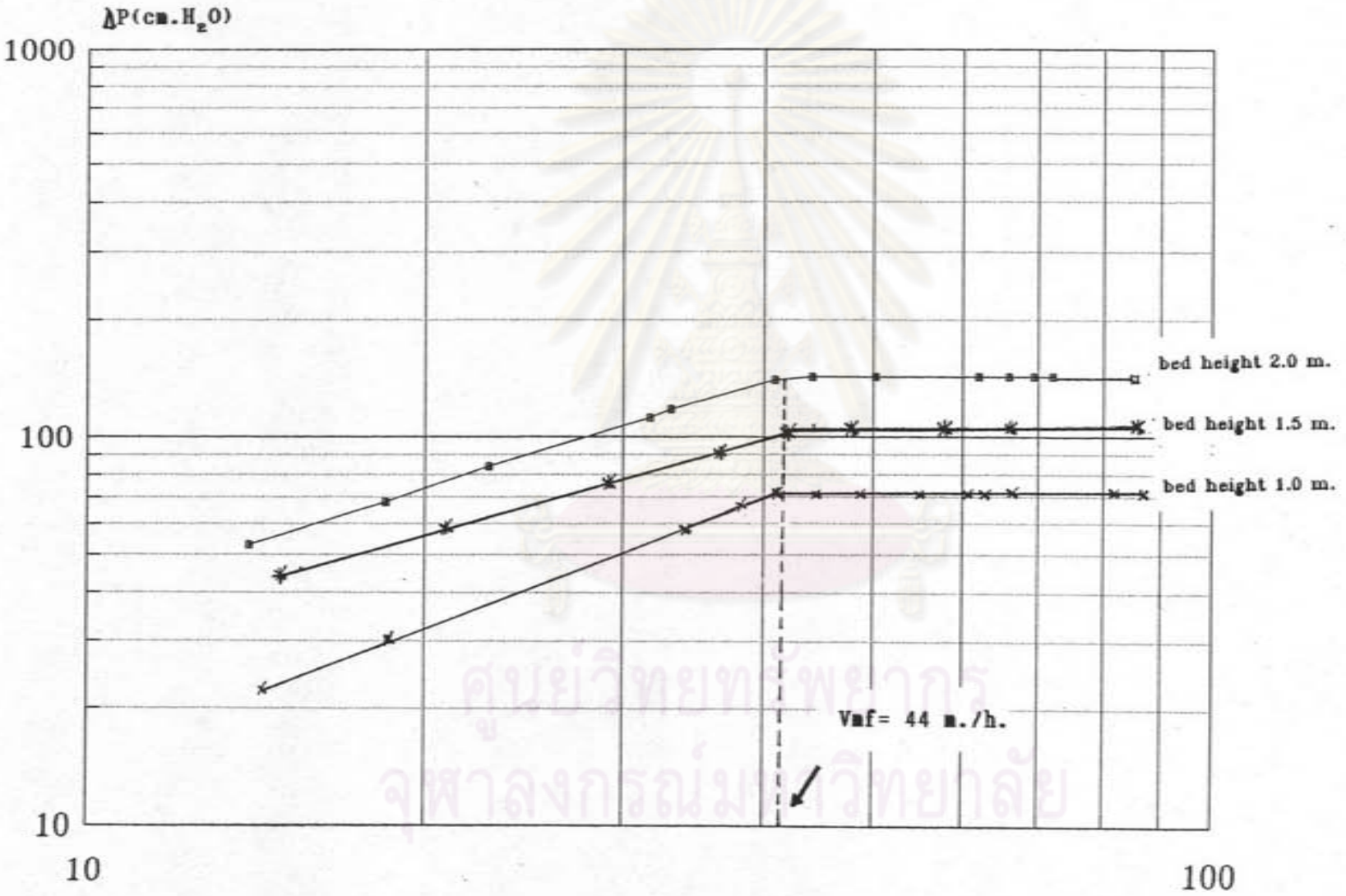
ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการหาค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดสภาวะเหมือนของไหลและขั้นตอนการกำจัดตะกั่วโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด

4.1 การหาค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดสภาวะเสมือนของไหล

การหาค่าความเร็วต่ำสุดของทรายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.85-1.20 มม. ที่ความสูง 1.0,1.5 และ 2.0 เมตร แสดงข้อมูลในตารางที่ ก.1 - ก.3 นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลด (λp) กับความเร็วของน้ำ(Vel)ได้ดังรูปที่ 4.1

จากกราฟที่ทุกความสูงของทรายที่ทำการทดลอง จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกเมื่อค่อยๆ เพิ่มความเร็วของน้ำทีละน้อย ในระยะแรกทรายยังคงอยู่นิ่ง ความดันลดก็จะพัฒนาไปพร้อมกับความเร็วของน้ำจนถึงระดับหนึ่งเมื่อทรายเริ่มขยับ และแยกตัวเป็นอิสระ ความดันลดของอนุภาคจะเริ่มคงที่ ไม่ว่าจะเพิ่มความเร็วของน้ำเท่าไรก็ตามความเร็วของน้ำที่ทำให้ทรายเริ่มขยับตัว ซึ่งในขณะเดียวกันความดันลดเริ่มคงที่ ความเร็วจำนวนนี้ คือความเร็วต่ำสุดในการเกิดสภาวะเสมือนของไหล จากการทดลองนี้ เมื่อลากเส้นจากจุดที่ความดันลดมีค่าคงที่มาตัดแกนความเร็วของน้ำ ที่จุดตัดนี้จะเป็นค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดสภาวะเสมือนของไหล (Vmf) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 44 ม./ชม. ที่ทุกความสูงของชั้นทราย เนื่องจากความเร็วต่ำสุดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของไหล และขนาดของอนุภาคเท่านั้น และในการทดลองขั้นที่ 2 ใช้ค่าความเร็วน้ำไหลขึ้นเท่ากับ 66 ม./ชม. ซึ่งเป็นความเร็ว 1.5 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดสภาวะเสมือนของไหล เนื่องจากเป็นสภาพที่ให้สภาวะเสมือนของไหลมีคุณสมบัติต่างๆ ดีที่สุด



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลด(ΔP)กับความเร็วของน้ำ(Vel)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การกำจัดตะกั่วโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด

4.2.1 การกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 200 มก./ล.

การทดลองส่วนนี้เป็นการศึกษาผลการกำจัดตะกั่วโดยใช้โซดาแอช ในการปรับพีเอชที่ 7.5,8.0,8.5,9.0,9.5 ความสูงของทราย 1.0,1.5 และ 2.0 เมตร และความเร็วน้ำไหลขึ้น 66 ม./ชม. ผลการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่าง ๆ ในน้ำที่ผ่านการบำบัดแสดงในตารางที่ ข.1-ข.15

4.2.1.1 สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว

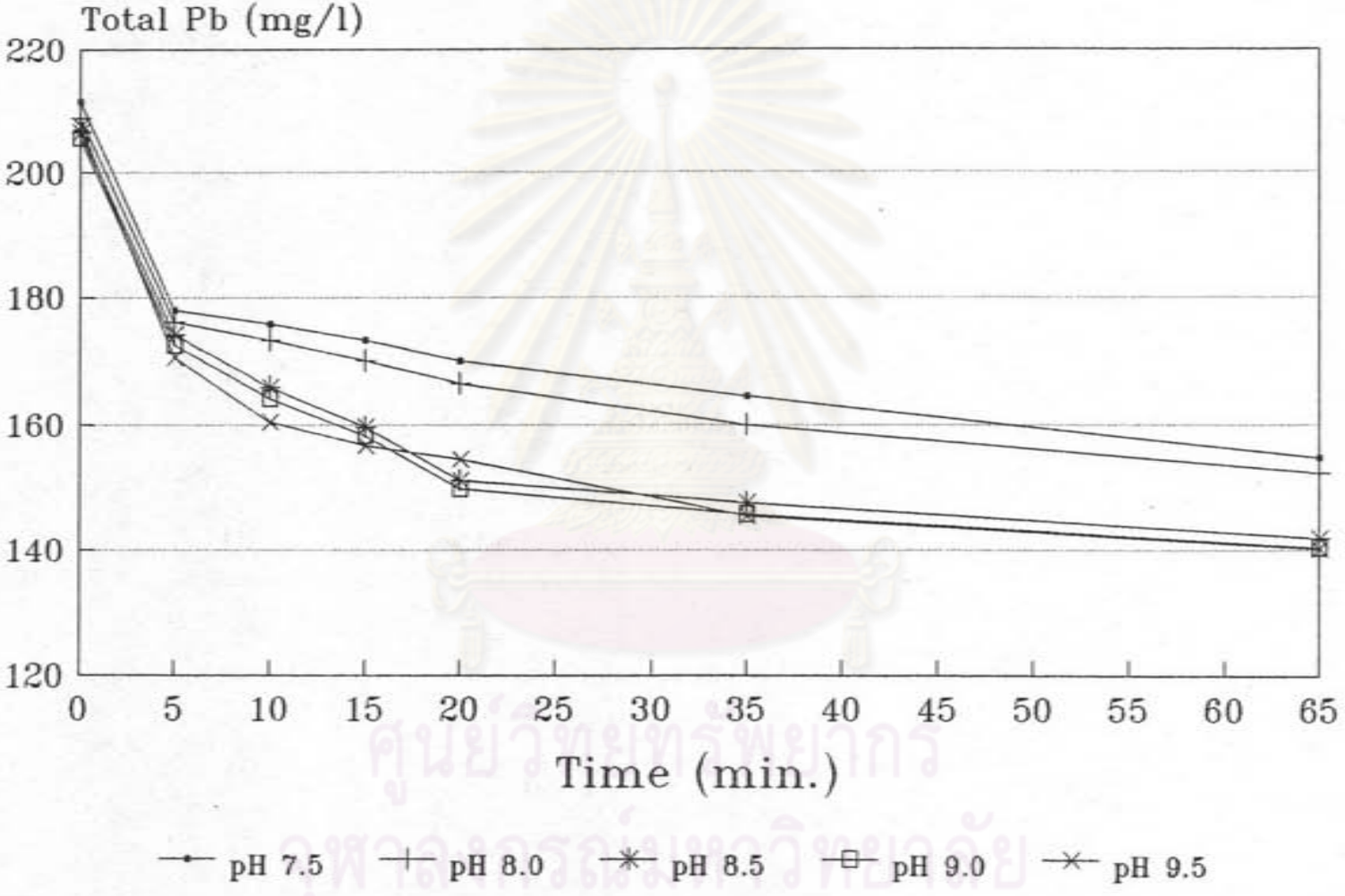
จากผลการทดลองกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 200 มก./ล. ที่สภาวะต่างๆ สรุปผลได้ดังตารางที่ 4.1 และจากรูปที่ 4.2-4.7 พบว่าที่ทุกสภาวะให้ผลการกำจัดตะกั่วคล้ายกันกล่าวคือ ปริมาณตะกั่วจะมีปริมาณลดลงตามระยะเวลาที่มากขึ้น และที่เวลา 5 นาทีแรกปริมาณตะกั่วมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด จะเห็นได้จากความชันของกราฟในช่วงเวลา 0-5 นาทีมีค่ามากที่สุด แสดงว่าในช่วงเวลานี้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยามากที่สุด ปริมาณตะกั่วมีค่าลดลงจากเริ่มต้นมาก และเมื่อเวลาที่มากขึ้น มีการกำจัดตะกั่วได้ดีขึ้น ก็เนื่องมาจาก ผลึกตะกั่วคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นก่อน จะเป็นตัวชักนำให้อัตราการเกิดผลึกดีขึ้น และ เมื่อเพิ่มค่าพีเอชจาก 7.5-9.5 พบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณตะกั่วลดลง และต่ำสุดที่พีเอช 9.5 ในทุกความสูงของทราย และที่พีเอชเดียวกัน พบว่าที่ความสูงของทราย 2.0 ม. ปริมาณตะกั่วมีค่าต่ำสุด จากการทดลองนี้ สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 200 มก./ล.ที่เวลา 65 นาทีคือ พีเอช 9.5 และความสูงของทราย 2.0 ม. โดยมีปริมาณตะกั่วทั้งหมด 113.50 มก./ล. และปริมาณตะกั่วละลาย 0.72 มก./ล. ซึ่งเป็นปริมาณที่เกินค่ามาตราฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ มีตะกั่วในน้ำทิ้งได้ไม่เกิน 0.2 มก./ล.จะเห็นได้ว่าปริมาณตะกั่วละลายมีการกำจัดได้ดี แต่ในรูปของปริมาณตะกั่วทั้งหมดการกำจัดยังไม่ดีนัก แสดงว่าที่พีเอช 9.5 เป็นพีเอชที่เหมาะสม ในการเปลี่ยนรูปของตะกั่วจากตะกั่วในรูปละลายมาเป็นแขวนลอยแต่สภาวะอื่นยังไม่เหมาะสม ในการที่จะให้เกิดการตกผลึกบนเม็ดทรายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ปริมาณตะกั่วทั้งหมด ยังคงมีปริมาณสูง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการเพิ่มความสูงของทราย ทำให้กำจัดตะกั่วได้

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดที่สภาวะต่างๆ

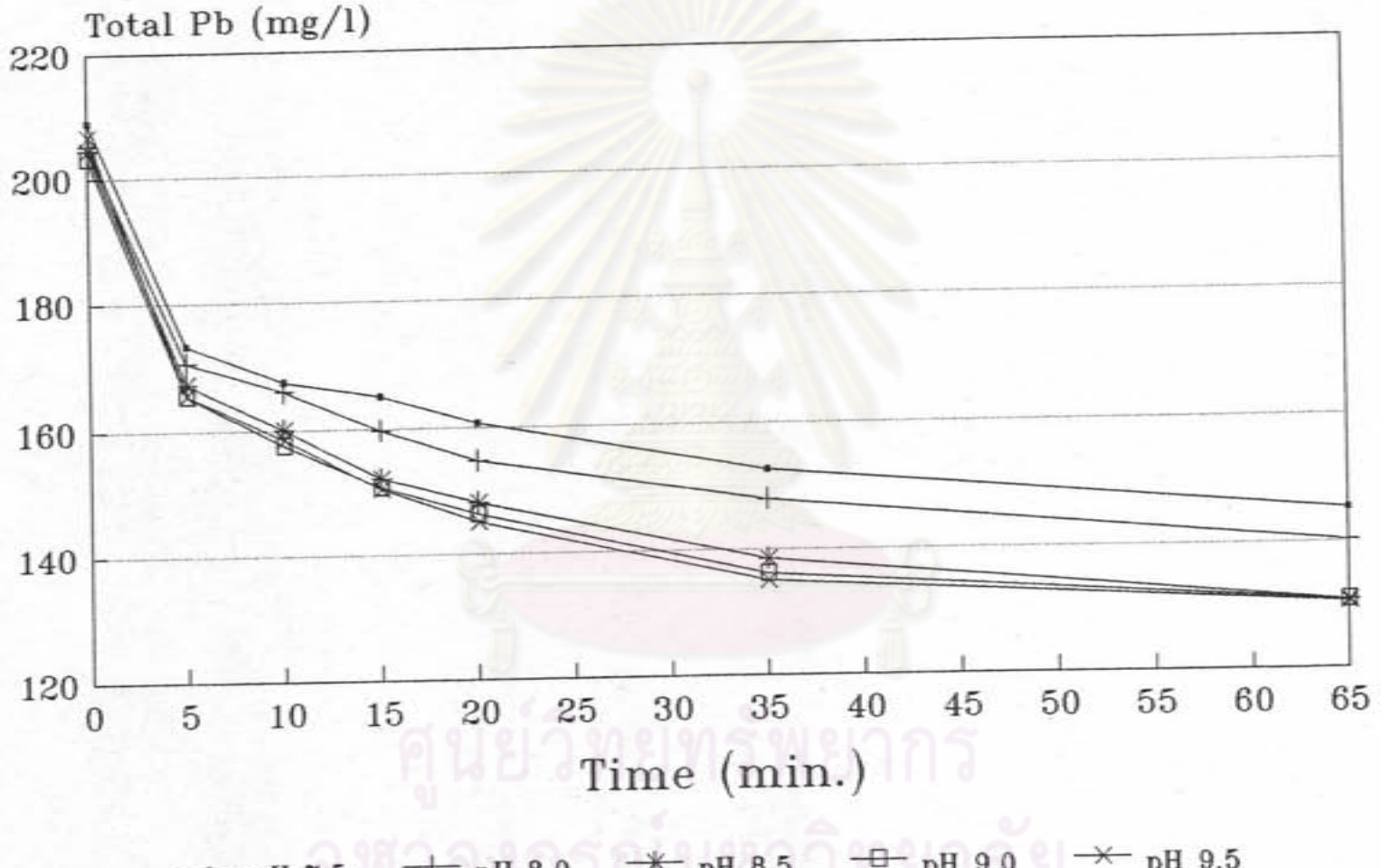
พีเอช	ความสูงของชั้นทราย (ม.)	ความเข้มข้นก่อนกำจัด (มก./ล.)	ความเข้มข้นหลังกำจัดที่เวลา 65 นาที ตะกั่วทั้งหมด* (มก./ล.)	ตะกั่วละลาย** (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัด ตะกั่วทั้งหมด (%)	ตะกั่วละลาย (%)
7.5	1.0	211.50	154.75	1.90	26.83	99.10
8.0	1.0	208.75	152.25	1.68	27.07	99.19
8.5	1.0	206.50	141.88	1.32	31.29	99.36
9.0	1.0	205.50	140.38	1.24	31.69	99.39
9.5	1.0	207.50	140.25	1.10	32.41	99.47
7.5	1.5	209.00	145.5	1.70	30.38	99.19
8.0	1.5	205.25	140.32	1.52	31.63	99.26
8.5	1.5	204.50	131.75	1.24	35.57	99.39
9.0	1.5	203.25	130.7	0.95	35.69	99.53
9.5	1.5	206.75	130.5	0.80	36.88	99.61
7.5	2.0	208.00	132.5	1.55	36.29	99.25
8.0	2.0	203.75	128.5	1.41	36.93	99.31
8.5	2.0	203.50	115.87	1.01	43.06	99.50
9.0	2.0	201.00	113.63	0.89	43.47	99.55
9.5	2.0	204.50	113.5	0.72	44.50	99.64

หมายเหตุ * หมายถึง ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในรูปละลายและในรูปแขวนลอย

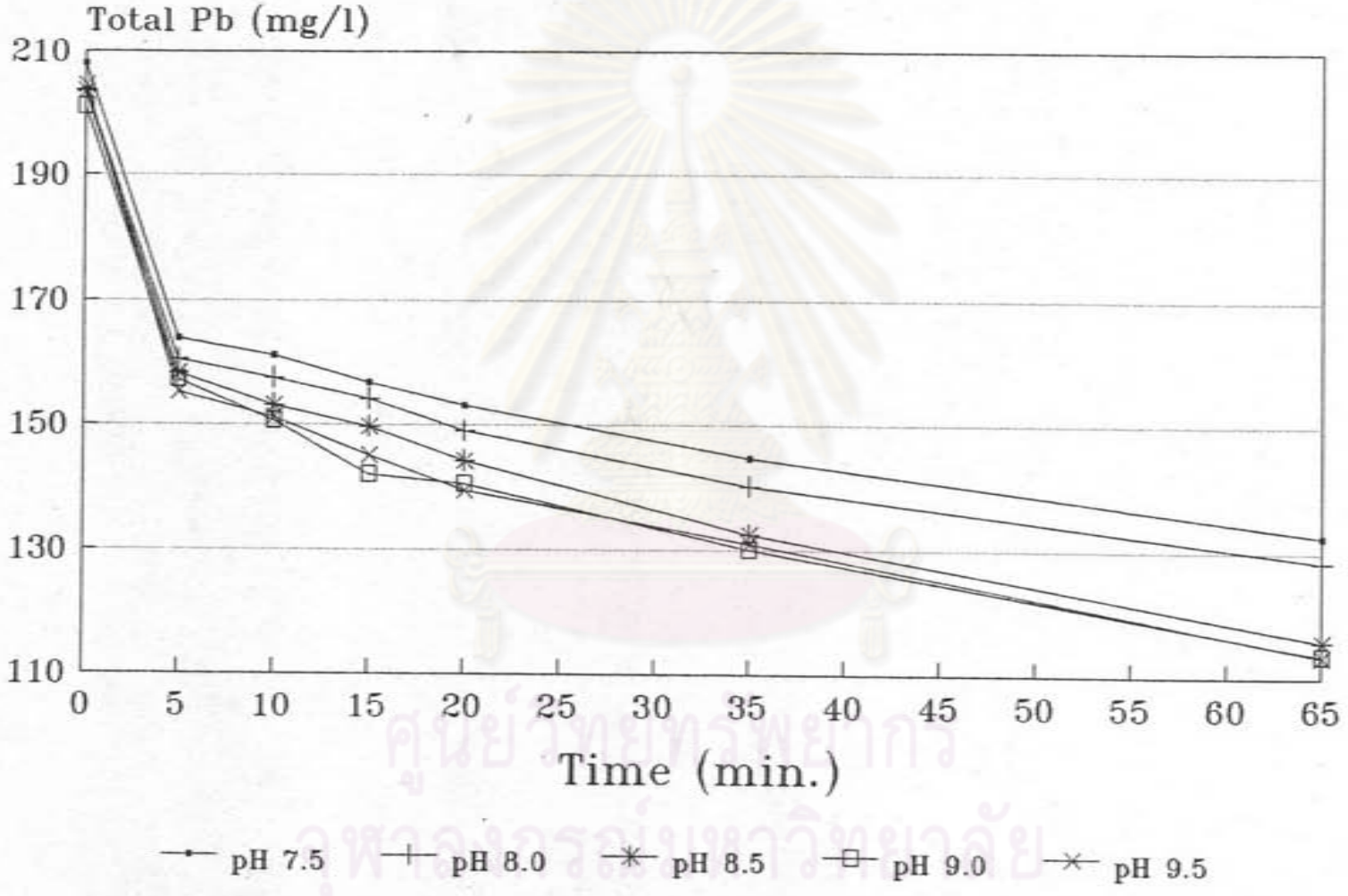
** หมายถึง ปริมาณตะกั่วที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมโครเมตร



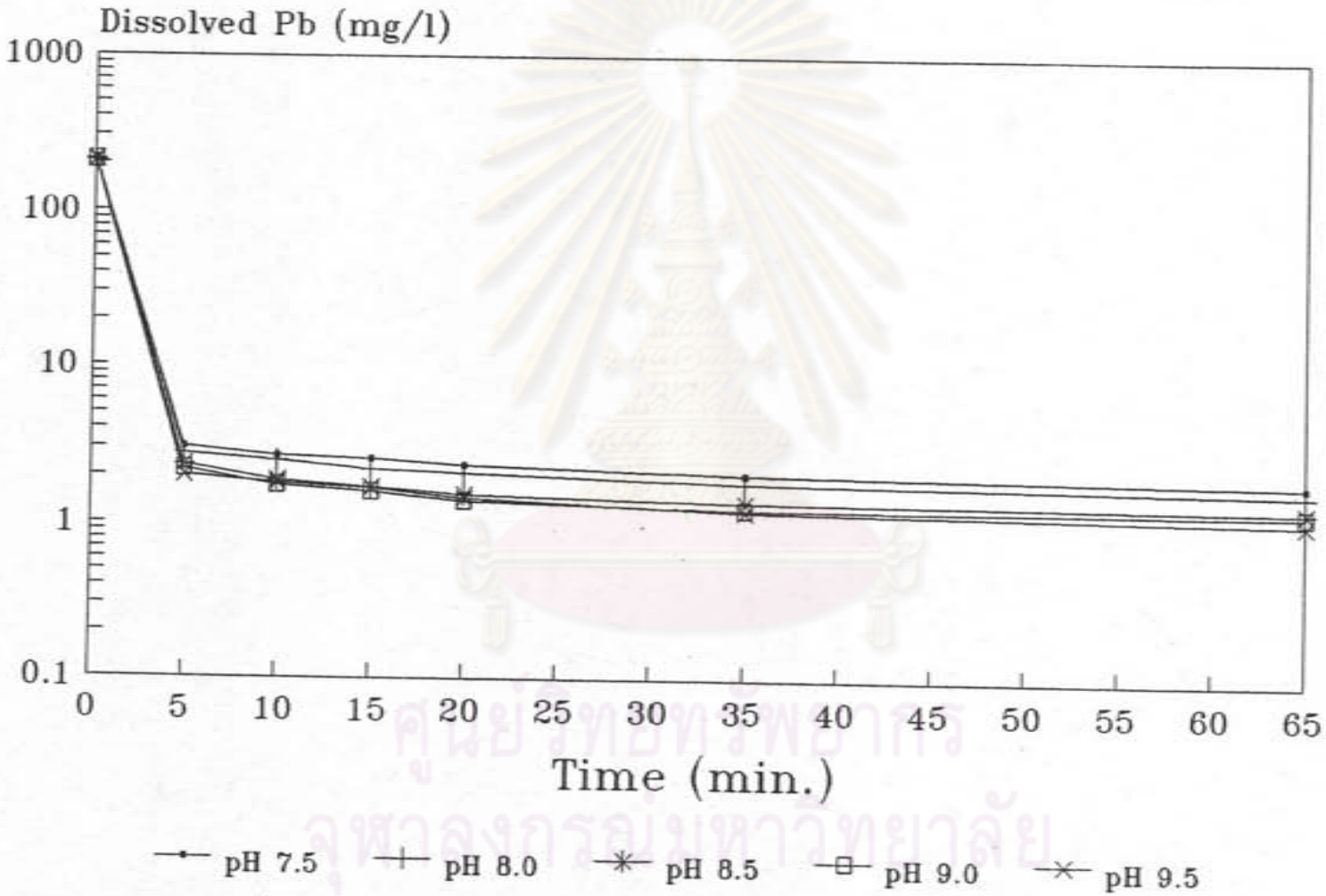
รูปที่ 4.2 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 200 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม.



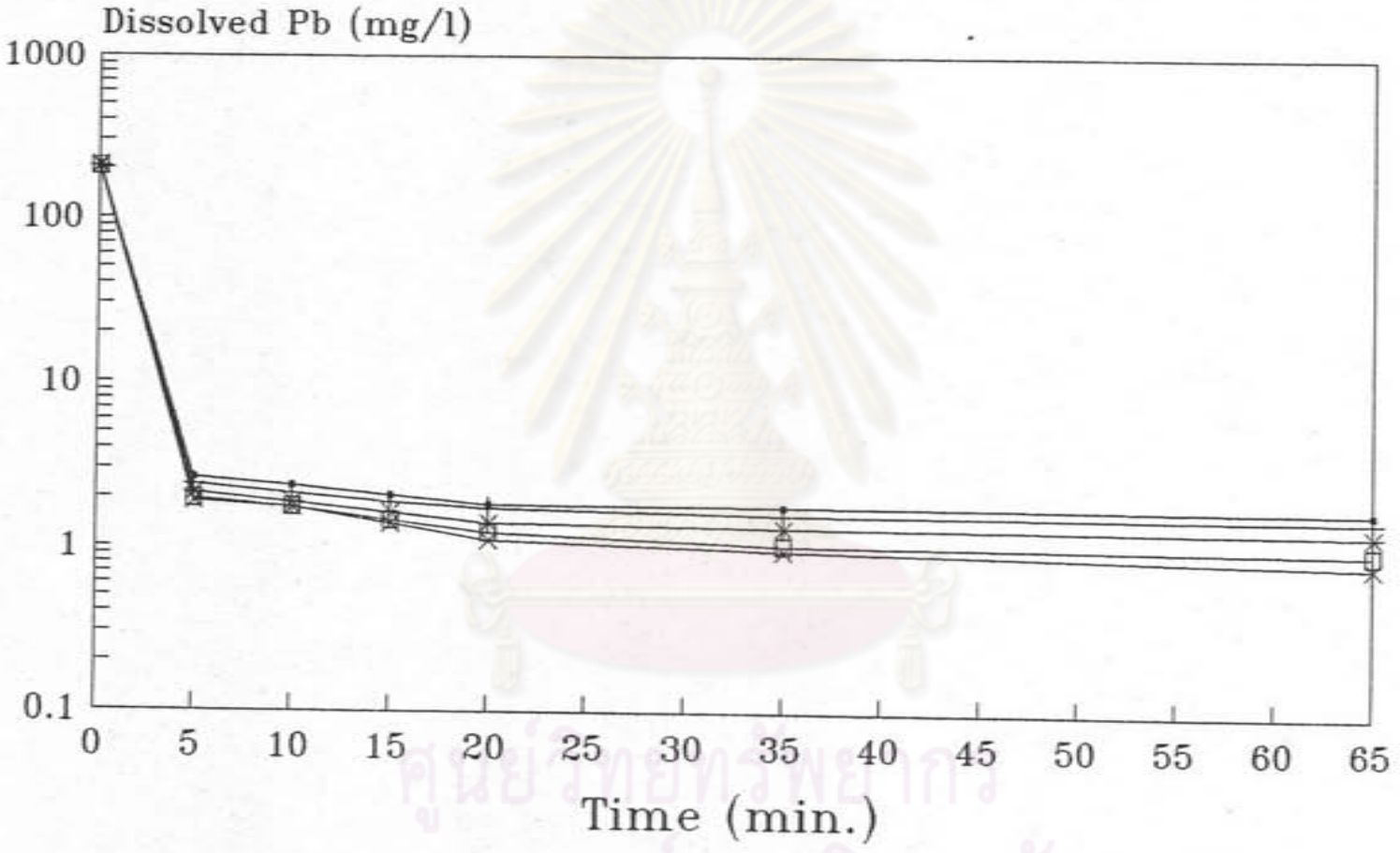
รูปที่ 4.3 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 200 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม.



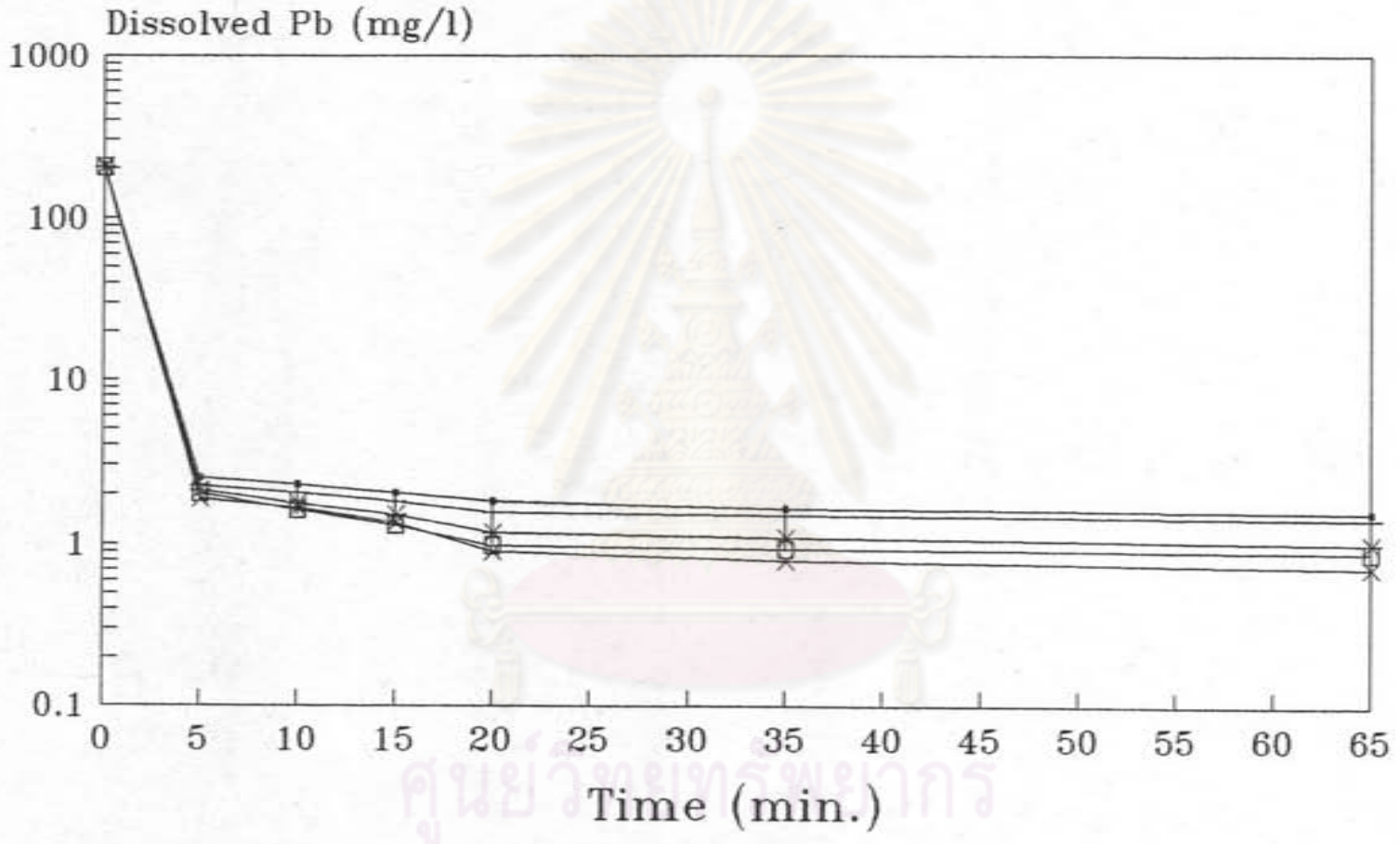
รูปที่ 4.4 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 200 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม.



รูปที่ 4.5 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 200 มก./ล. ในรูปตะกั่วละลาย ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม.



รูปที่ 4.6 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 200 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม.



รูปที่ 4.7 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 200 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม.

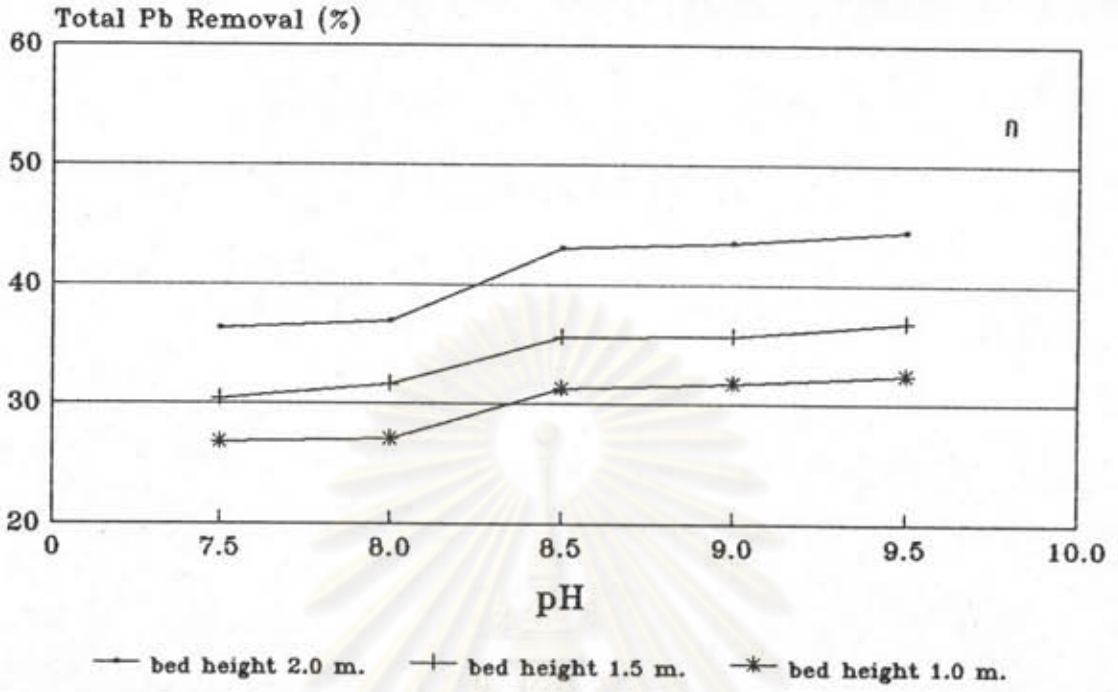
มากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความสูงของทราย เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการตกผลึก และเวลาในการทำปฏิกริยาระหว่างตะกั่ว และโซดาแอชที่ใช้ในการปรับพีเอช ทำให้ตะกั่วที่อยู่ในรูปของตะกั่วคาร์บอเนต สามารถตกผลึกบนเม็ดทรายได้ดีขึ้น น้ำที่ผ่านการบำบัดจึงมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดต่ำลงและเมื่อนำน้ำที่ผ่านการบำบัดจากกระบวนการนี้มากรองผ่านกระดาษ GF/C พบว่า ปริมาณตะกั่วลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากตะกั่วมีการเปลี่ยนรูปจากตะกั่วละลายมาอยู่ในรูปแขวนลอยในรูปผลึกของสารประกอบคาร์บอเนต แต่ตะกั่วคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นไม่สามารถตกผลึกบนเม็ดทรายได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อนำมาผ่านกระบวนการกรอง ตะกั่วคาร์บอเนตที่ไม่เกิดเป็นผลึกบนเม็ดทรายจะถูกกรองไว้บนกระดาษกรอง ทำให้น้ำที่ผ่านการกรองแล้วมีปริมาณตะกั่วลดน้อยลง

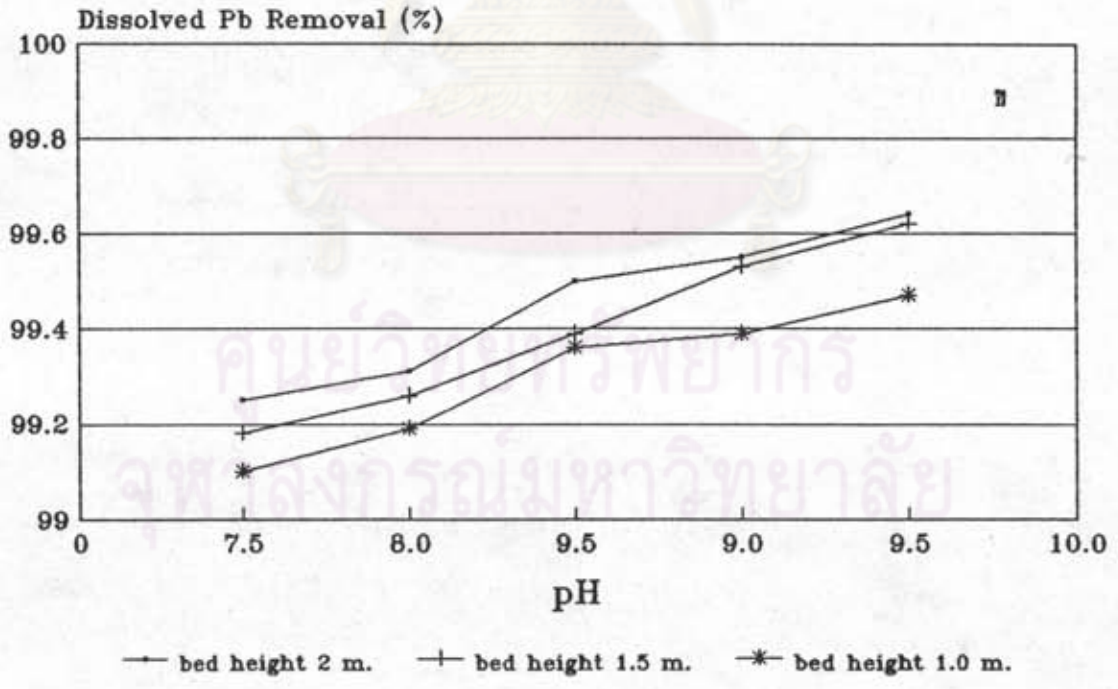
4.2.1.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว

จากรูปที่ 4.8 พบว่าที่ความสูงของทรายที่เท่ากันมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงสุดที่พีเอช 9.5 และที่พีเอช 9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม. ให้ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงสุด โดยสามารถลดปริมาณตะกั่วเริ่มต้นจาก 204.50 มก./ล. เหลือปริมาณตะกั่ว 113.50 มก./ล. และเมื่อนำมาผ่านการกรอง เหลือปริมาณตะกั่วเพียง 0.72 มก./ล. ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 44.50 และ 99.64 % ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วในรูปตะกั่วทั้งหมดมีค่าน้อย เนื่องจากสภาวะที่เหมาะสมในการที่จะเกิดผลึกยังไม่เหมาะสม เช่น ความสูงของทราย ขนาดของอนุภาค และความเร็วน้ำไหลขึ้น ทำให้การเปลี่ยนรูปของตะกั่วจากตะกั่วละลายมาอยู่ในรูปแขวนลอยที่พีเอชที่เหมาะสมแล้วนั้น ไม่สามารถเกิดเป็นผลึกบนเม็ดทรายได้อย่างสมบูรณ์

4.2.1.3 ผลของพีเอชและความสูงของทรายกับปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

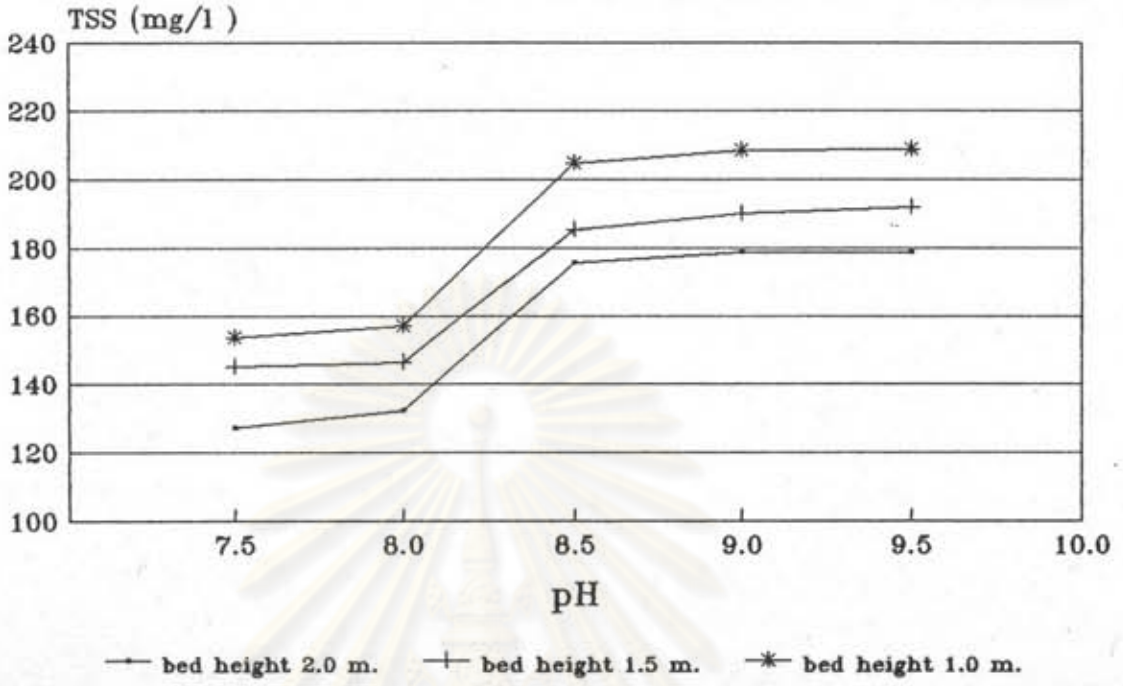
จากรูปที่ 4.9 พบว่าที่ความสูงของทรายค่าหนึ่งเมื่อเพิ่มพีเอชปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับปริมาณตะกั่วทั้งหมด และพีเอชเท่ากันที่ความสูงของทราย 2.0 ม. จะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยน้อยที่สุด เนื่องจากที่ความสูงทราย 2.0 ม.ให้พื้นที่ผิวในการตกผลึกและเวลาในการทำปฏิกริยาระหว่างตะกั่วกับโซดาแอช



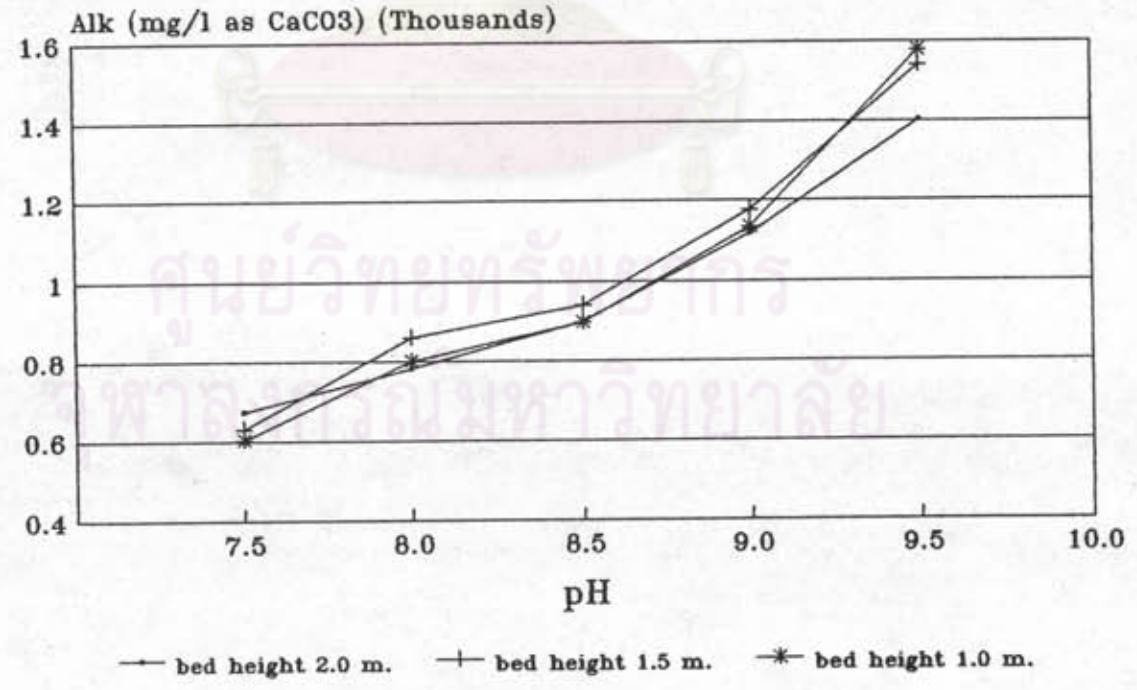


รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว 200 มก./ล.ที่เวลา 65 นาที พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม

ก.ตะกั่วทั้งหมด ข.ตะกั่วละลาย



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในการกำจัดตะกั่ว 200 มก./ล.ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม.



รูปที่ 4.10 ผลการเปลี่ยนแปลงความเป็นด่างในการกำจัดตะกั่ว 200 มก./ล. ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม.

มากที่สุด ตะกั่วคาร์บอเนตสามารถตกผลึกบนทรายได้มากกว่า จึงมีปริมาณของแข็งแขวนลอยน้อยกว่า และที่พีเอช 9.5 ความสูงของทราย 1.0,1.5,2.0 ม. ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าเท่ากับ 208.8,192.0,178.8 มก./ล. ซึ่งมีค่าสูงมากกว่ามาตราฐานน้ำทิ้ง ซึ่งกำหนดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งไม่เกิน 30 มก./ล. (ในกรณีที่อัตราส่วนผสมของน้ำทิ้งและน้ำในลำน้ำสาธารณะอยู่ระหว่าง 1/8 ถึง 1/150)ดังนั้นจึงควรจะมีกระบวนการกรองต่อจากกระบวนการนี้ เพื่อลดปริมาณของแข็งแขวนลอย และยังเป็นการลดปริมาณตะกั่วในน้ำที่ผ่านการบำบัดอีกด้วย

4.2.1.4 ผลของพีเอช กับปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด

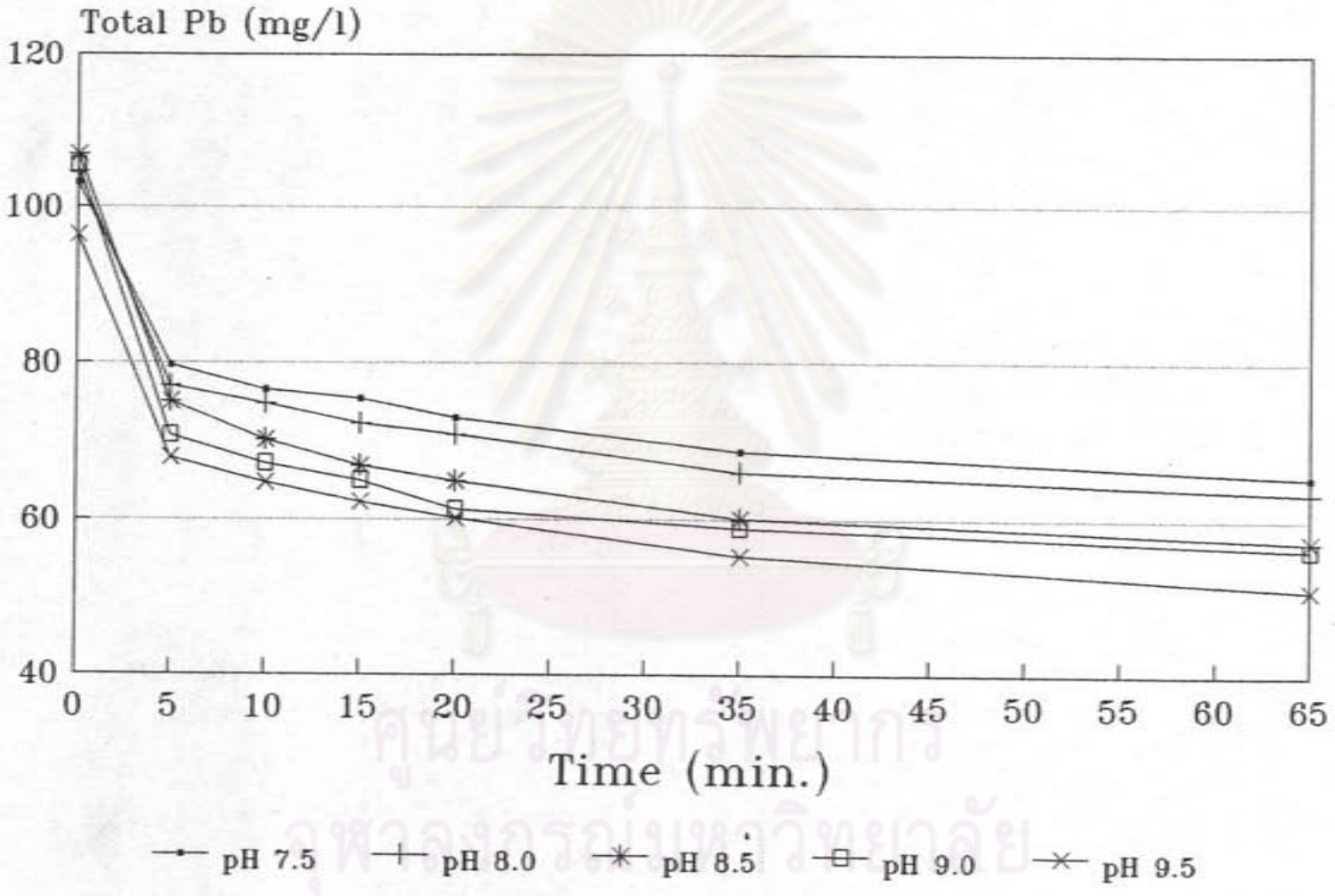
จากรูปที่ 4.10 พบว่า ความเป็นด่างมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มค่าพีเอช เนื่องจากค่าพีเอชที่มาก ต้องใช้โซดาแอชในการปรับพีเอชในปริมาณที่มากกว่า ซึ่งการเพิ่มปริมาณโซดาแอช เป็นการเพิ่มปริมาณของคาร์บอเนตให้แก่น้ำ ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าความเป็นด่างสูง ที่พีเอช 9.5 มีค่าความเป็นด่างสูงถึง 1400-1600 มก./ล. ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต

4.2.2 การกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 100 มก./ล.

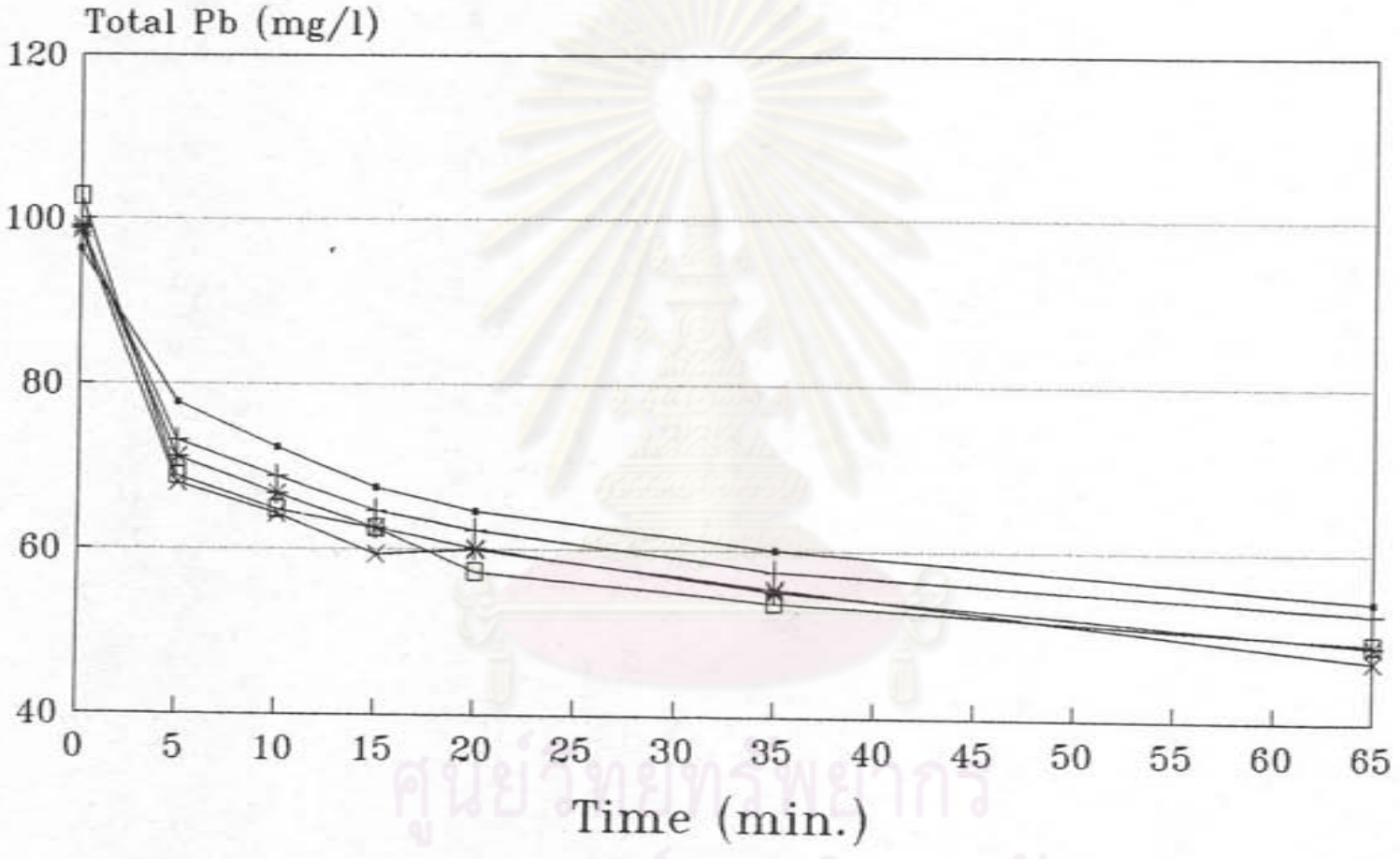
การทดลองส่วนนี้เป็นการศึกษาผลการกำจัดตะกั่วโดยใช้โซดาแอชในการปรับพีเอชที่ 7.5,8.0,8.5,9.0,9.5 ความสูงของทราย 1.0,1.5 และ 2.0 ม. ความเร็วน้ำไหลขึ้นเท่ากับ 66 ม./ชม. ผลการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่าง ๆ ในน้ำที่ผ่านการบำบัดแสดงในตารางที่ ข.16-ข.30

4.2.2.1 สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว

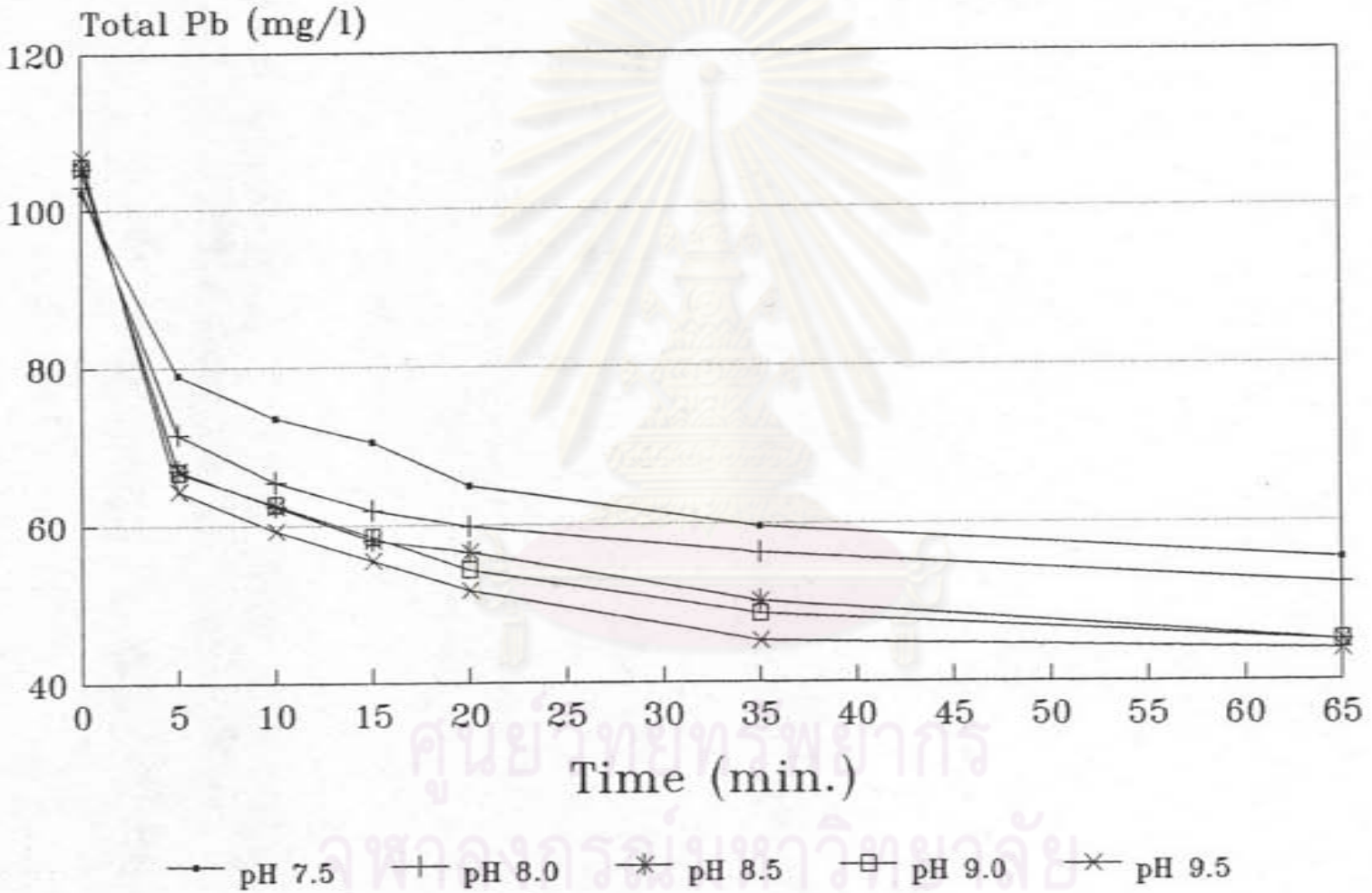
จากรูปที่ 4.11 - 4.16 พบว่าที่ทุกสภาวะที่ทำการศึกษาปริมาณตะกั่วมีค่าลดลงเมื่อเวลามากขึ้น เนื่องจากตะกั่วที่ถูกเปลี่ยนรูปจากสถานะละลายมาตกผลึกอยู่บนเม็ดทรายในตอนเริ่มต้น จะเป็นตัวชักนำ ให้การเกิดผลึกต่อมาเกิดได้รวดเร็วขึ้น ปริมาณตะกั่วในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจึงมีค่าลดน้อยลง และที่เวลา 5 นาทีแรก มีอัตรา



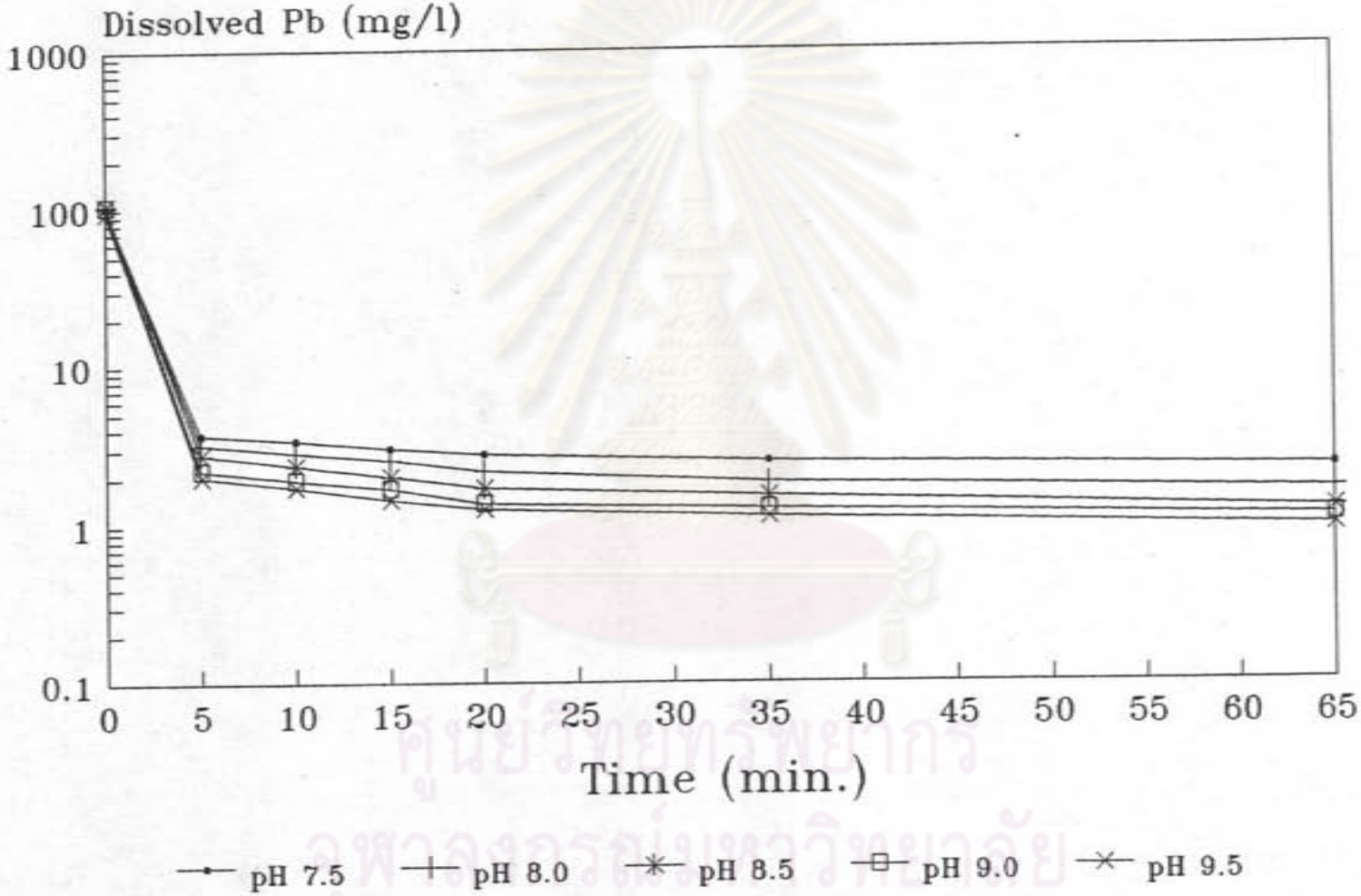
รูปที่ 4.11 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 100 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม.



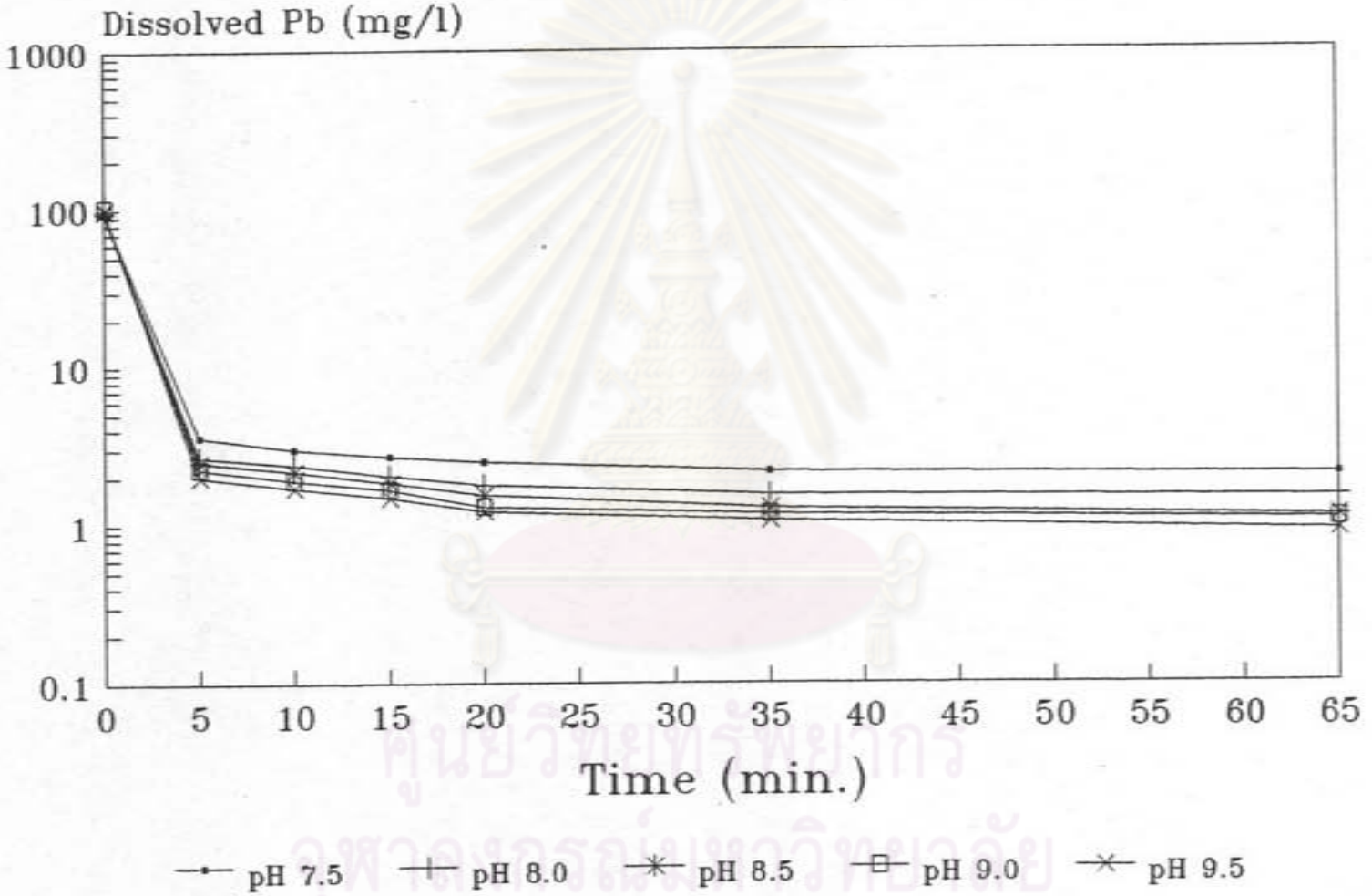
รูปที่ 4.12 ผลการกำจัดละลายความเข้มข้น 100 มก./ล. ในรูปละลายทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม.



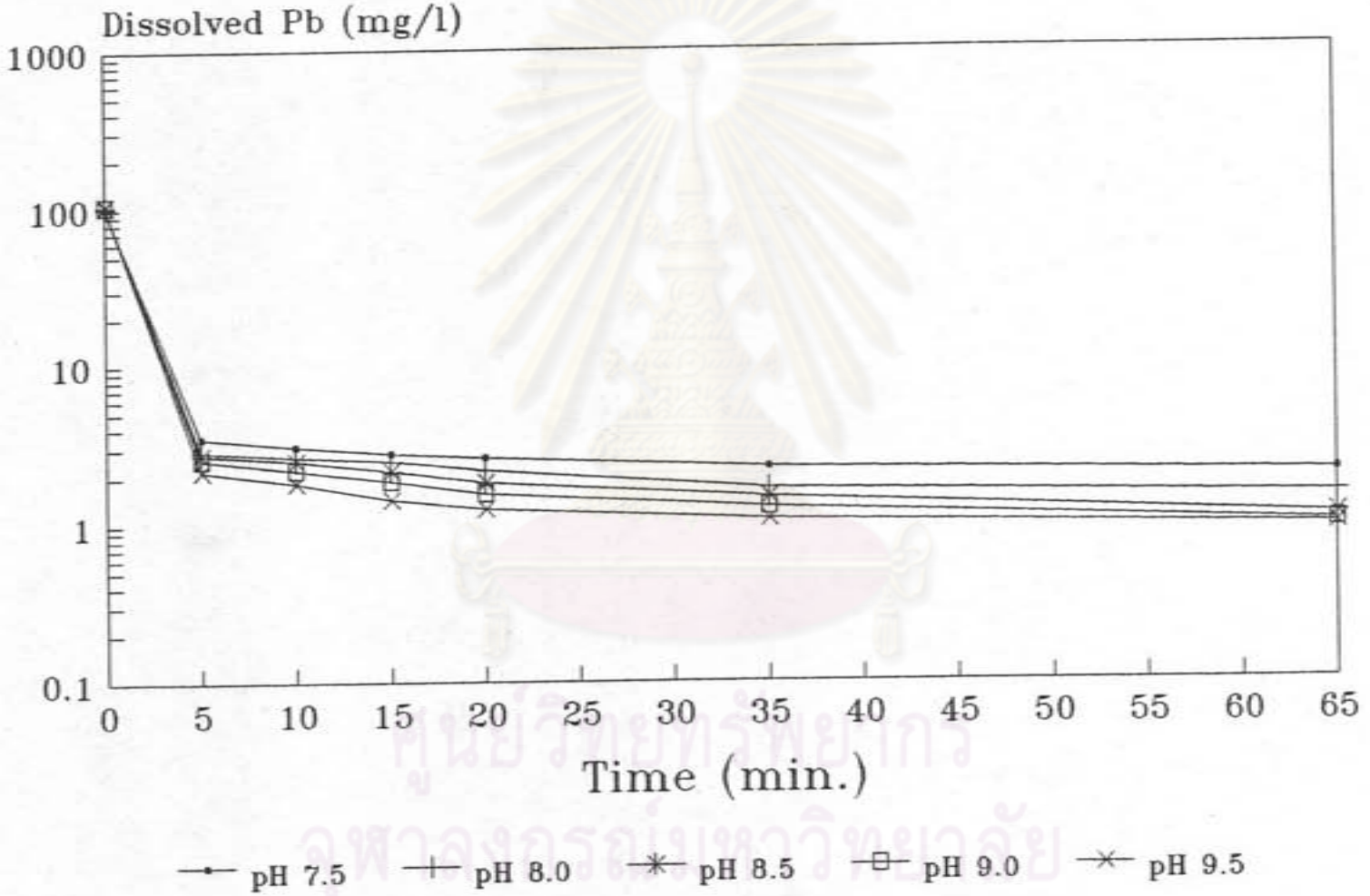
รูปที่ 4.13 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 100 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม.



รูปที่ 4.14 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 100 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม.



รูปที่ 4.15 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 100 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม.



รูปที่ 4.16 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 100 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม.

การกำจัดตะกั่วมากที่สุด จะเห็นได้จากกราฟที่มีความชันมากที่สุดในช่วงเวลานี้ และพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 100 มก./ล. คือพีเอช 9.5 และความสูงของทราย 2.0 ม. ปริมาณตะกั่วในน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าน้อยที่สุด คือปริมาณตะกั่วทั้งหมดที่เวลา 65 นาที มีค่าเท่ากับ 43.88 มก./ล. และปริมาณตะกั่วละลายเท่ากับ 0.95 มก./ล. จากผลการทดลองแสดงว่า ที่พีเอช 9.5 เหมาะสมในการเปลี่ยนรูปตะกั่วจากในสถานะละลายมาเป็นแขวนลอยได้มากที่สุด จะเห็นได้จาก ปริมาณตะกั่วละลายของน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าน้อยที่สุด และความสูงทราย 2.0 ม. เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดผลึกของตะกั่วคาร์บอเนตบนเม็ดทราย จะเห็นได้จากปริมาณตะกั่วทั้งหมดของน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าน้อยที่สุดเช่นเดียวกัน แต่การกำจัดตะกั่วในรูปของตะกั่วทั้งหมด ประสิทธิภาพในการกำจัดยังไม่ดีนัก อาจเนื่องจากความสูงของทรายที่ทำการศึกษาน้อยเกินไป จากผลการทดลองมีแนวโน้มว่าประสิทธิภาพในการกำจัดจะดีขึ้น เมื่อเพิ่มความสูงของทราย ซึ่งจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว ในการตกผลึกของตะกั่วคาร์บอเนต และเพิ่มเวลาในการทำปฏิกริยาของสารละลายตะกั่ว และโซดาแอชที่ใช้ในการปรับพีเอช จึงมีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดดีขึ้น ผลการทดลองที่สภาวะต่างๆ สรุปผลได้ดังตารางที่ 4.2

4.2.2.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว

จากรูปที่ 4.17 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วในรูปตะกั่วทั้งหมด และตะกั่วละลาย ที่พีเอชและความสูงของทรายต่างๆ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วสูงสุดที่พีเอช 9.5 และความสูงทราย 2.0 ม. ทั้งในรูปตะกั่วทั้งหมดและตะกั่วละลาย ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัด เท่ากับ 58.89 และ 99.11% โดยสามารถลดปริมาณตะกั่วเริ่มต้น จาก 106.75 มก./ล. เหลือ 43.88 มก./ล. ในรูปตะกั่วทั้งหมด และ 0.95 มก./ล. ในรูปตะกั่วละลาย

4.2.2.3 ผลของพีเอช และความสูงของทรายกับปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

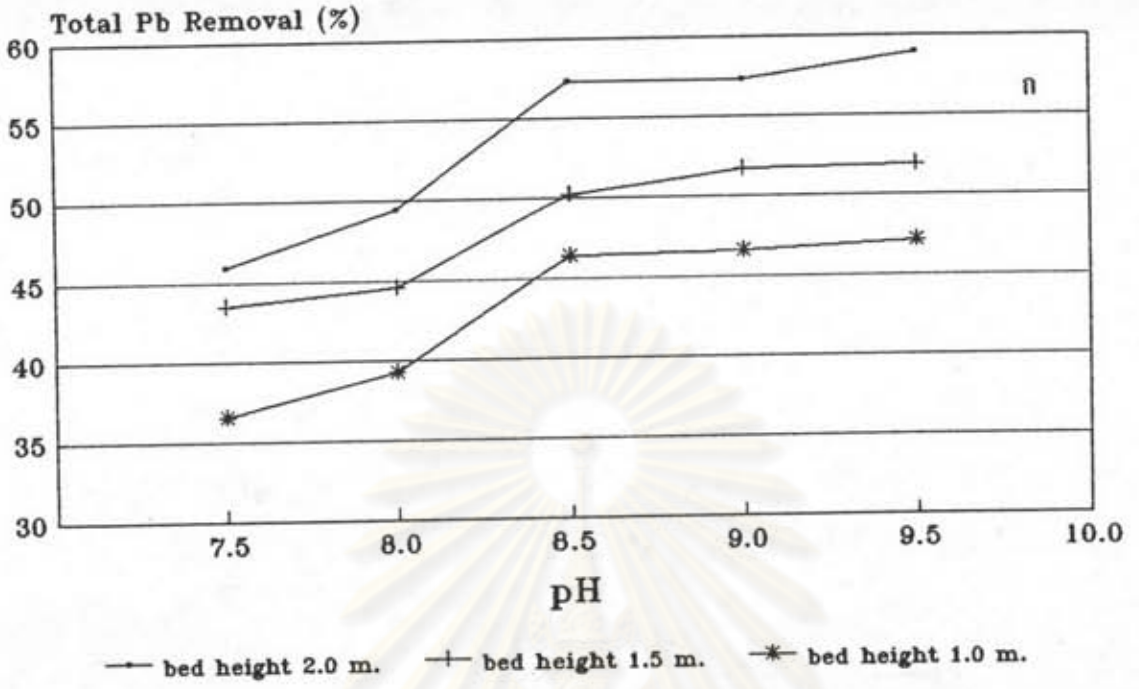
จากรูปที่ 4.18 พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยขึ้นอยู่กับพีเอช และความสูงของทราย ที่พีเอชเดียวกัน ความสูงของทรายที่ 2.0 ม. จะมีปริมาณของแข็ง

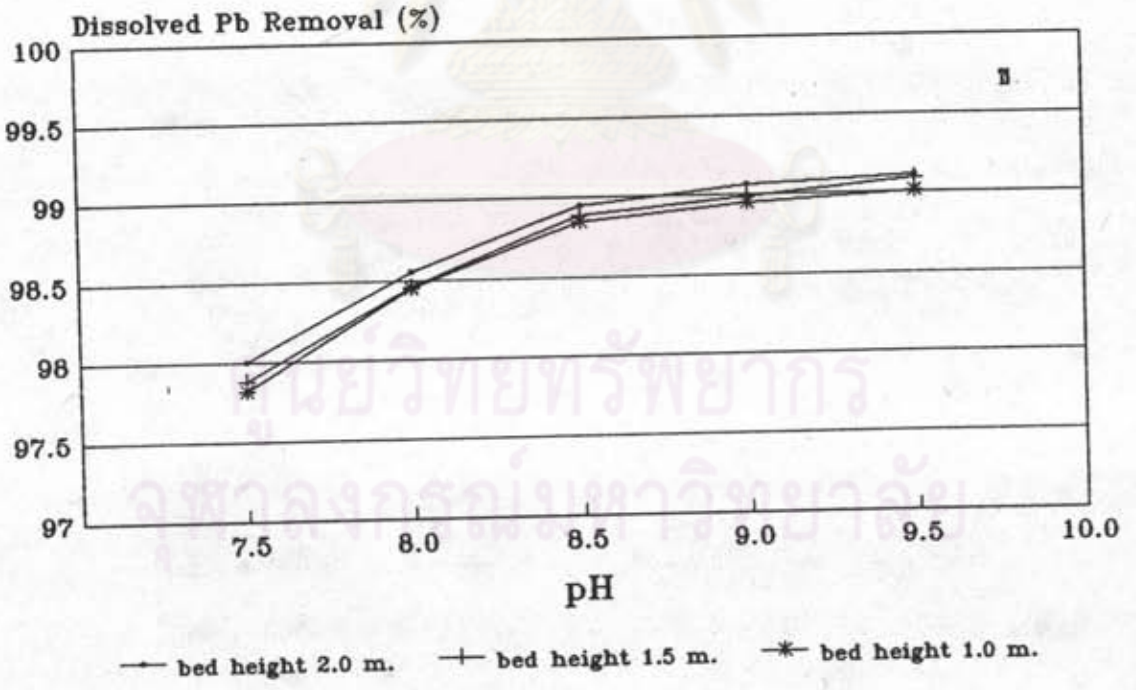
ตารางที่ 4.2 สรุปผลการกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดที่สภาวะต่างๆ

พีเอช	ความสูงของชั้นทราย (ม.)	ความเข้มข้นก่อนกำจัด (มก./ล.)	ความเข้มข้นหลังกำจัดที่เวลา 65 นาที ตะกั่วทั้งหมด * (มก./ล.)	ตะกั่วละลาย** (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัด ตะกั่วทั้งหมด (%)	ตะกั่วละลาย (%)
7.5	1.0	103.13	65.44	2.25	36.55	97.82
8.0	1.0	104.50	63.44	1.62	39.29	98.45
8.5	1.0	106.70	57.19	1.23	46.40	98.85
9.0	1.0	105.25	56.19	1.10	46.61	98.95
9.5	1.0	96.38	50.94	0.95	47.15	99.01
7.5	1.5	96.40	55.44	2.04	43.52	97.88
8.0	1.5	95.80	53.06	1.47	44.61	98.46
8.5	1.5	99.10	49.31	1.11	50.24	98.89
9.0	1.5	102.60	49.56	1.06	51.70	98.97
9.5	1.5	98.70	47.44	0.90	51.94	99.09
7.5	2.0	102.25	55.32	2.05	45.90	98.00
8.0	2.0	103.00	52.12	1.45	49.40	98.55
8.5	2.0	105.25	44.92	1.10	57.32	98.95
9.0	2.0	105.50	44.95	0.99	57.39	99.06
9.5	2.0	106.75	43.88	0.95	58.89	99.11

หมายเหตุ * หมายถึง ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในรูปละลายและในรูปแขวนลอย

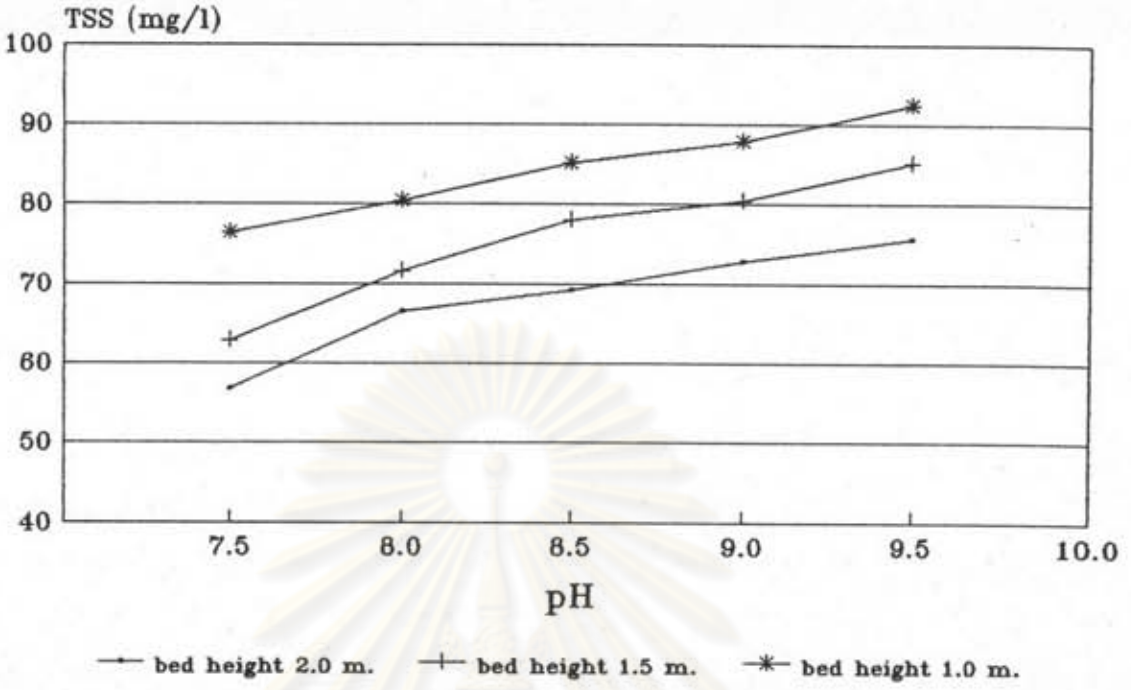
** หมายถึง ปริมาณตะกั่วที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมโครเมตร



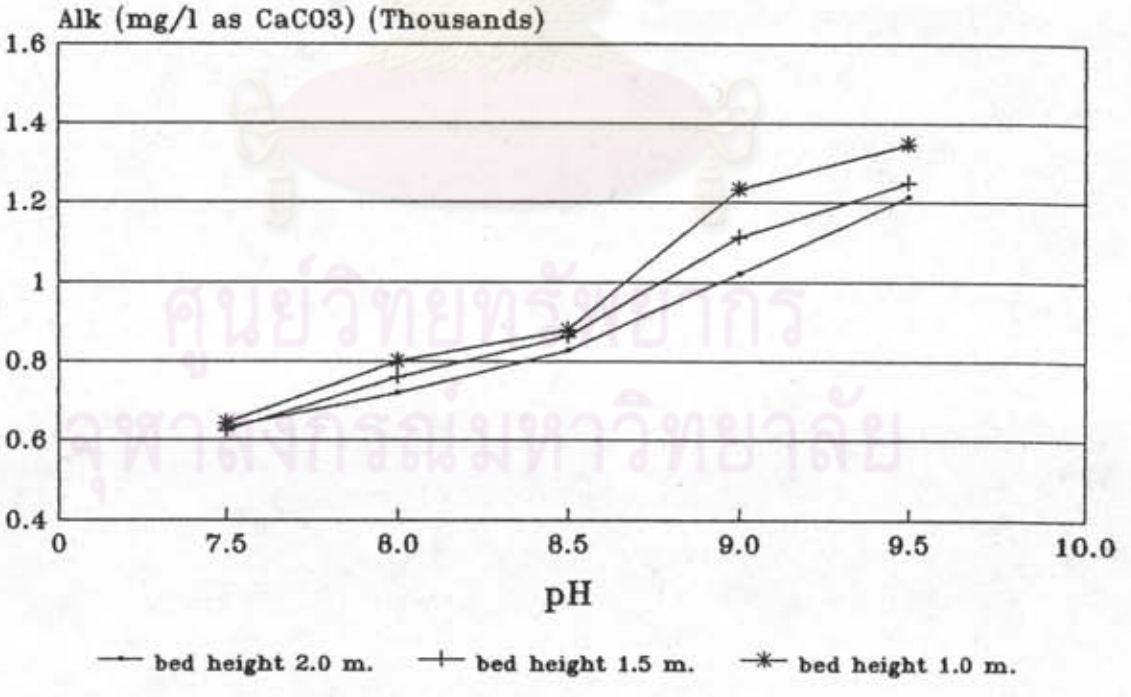


รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว 100 มก./ล.ที่เวลา 65 นาที พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม.

ก.ตะกั่วทั้งหมด ข.ตะกั่วละลาย



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในการกำจัดตะกั่ว 100 มก./ล. ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม.



รูปที่ 4.19 ผลการเปลี่ยนแปลงความเป็นด่างในการกำจัดตะกั่ว 100 มก./ล. ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม.

แขวนลอย น้อยกว่าที่ความสูงทราย 1.5,1.0 ม. เนื่องจากที่ความสูง 2.0 ม. มีปริมาณทรายมากกว่า ซึ่งเป็นผลทำให้มีพื้นที่ผิวในการเกิดผลึกของตะกั่วคาร์บอเนตมากกว่า จึงมีปริมาณของแข็งแขวนลอย ซึ่งก็คือตะกั่วคาร์บอเนตส่วนที่ไม่เกิดผลึกบนเม็ดทรายหลุดออกมาน้อยกว่า และจากความสูงของทรายที่เท่ากันแต่พีเอชต่างกัน ปริมาณของแข็งแขวนลอยจะเพิ่มมากขึ้นตามค่าพีเอช เนื่องจากพีเอชที่เหมาะสมในการเปลี่ยนรูปตะกั่วจากรูปละลายให้อยู่ในรูปแขวนลอย คือ 9.5 ดังนั้นที่พีเอช 9.5 จึงมีปริมาณของแข็งแขวนลอยมากกว่าที่พีเอชอื่น ที่พีเอช 9.5 และความสูงของทราย 2.0 ม. ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดและมีปริมาณของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 75.60 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ซึ่งกำหนดปริมาณของแข็งแขวนลอย ในน้ำทิ้งไม่เกิน 30 มก./ล.(ในกรณีที่อัตราส่วนผสมของน้ำทิ้งและน้ำในลำล้ำสาธารณะอยู่ระหว่าง 1/8 ถึง 1/150)

4.2.2.3 ผลของพีเอชกับค่าความเป็นด่างทั้งหมด

จากรูป 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและความเป็นด่างพบว่าค่าความเป็นด่างจะสูงขึ้น เมื่อพีเอชเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากค่าพีเอชที่มากขึ้นต้องการสารเคมีที่ใช้ปรับพีเอชในปริมาณที่มากกว่า ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอเนต ให้แก่น้ำที่ทำการบำบัด ทำให้ความเป็นด่างมีค่าสูงขึ้น จากผลการทดลองที่ทุกพีเอชให้ค่าความเป็นด่างสูงมาก และที่พีเอช 9.5 ให้ค่าความเป็นด่างสูงถึง 1200-1400 มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต

4.2.3 การกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 50 มก./ล.

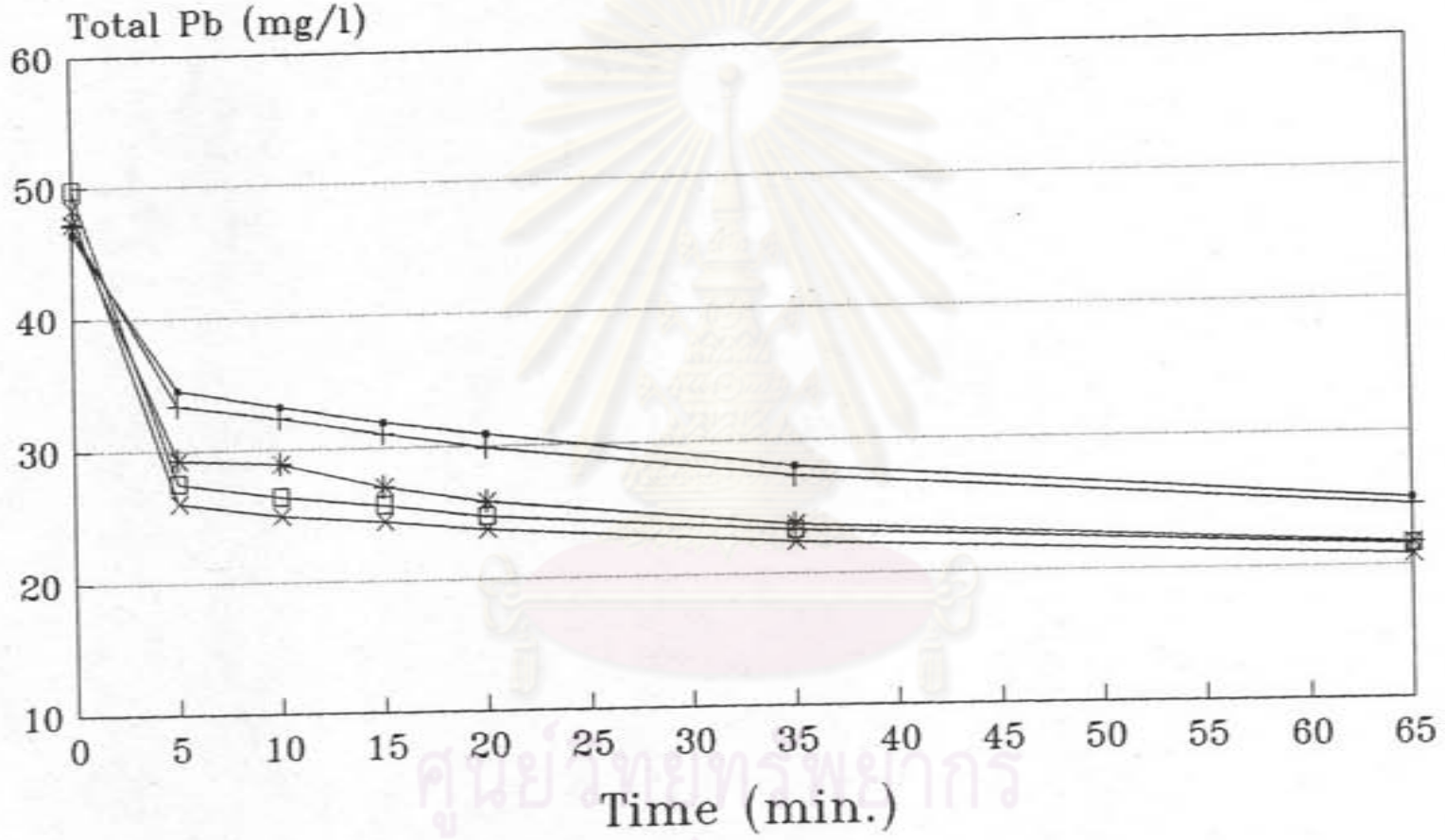
การทดลองส่วนนี้เป็นการศึกษาผลการกำจัดตะกั่วโดยใช้โซดาแอชในการปรับพีเอชที่ 7.5,8.0,8.5,9.0,9.5 ความสูงของทราย 1.0,1.5 และ 2.0 ม. และความเร็วน้ำไหลขึ้น 66 ม./ชม. ผลการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ ในน้ำที่ผ่านการบำบัดแสดงในตารางที่ ข.31 - ข.45

4.2.3.1 สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว

จากรูปที่ 4.20 - 4.25 ที่ความสูงของทรายค่าเดียวกัน แต่ค่าพีเอชต่างกัน การกำจัดตะกั่วมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าพีเอช ในการทดลองนี้ทำการศึกษาที่พีเอช 7.5 - 9.5 พบว่าที่พีเอช 9.5 ให้ปริมาณตะกั่วหลังการบำบัดในปริมาณน้อยที่สุด จากผลการศึกษาของพีเอชทำให้ทราบว่าในการเปลี่ยนรูปของตะกั่วจากเริ่มต้นที่อยู่ในสถานะละลาย มาเป็นสถานะแขวนลอย เพื่อที่จะทำการกำจัดออกจากน้ำเสียจะต้องมีพีเอชที่เหมาะสมตะกั่วจึงจะสามารถเปลี่ยนรูปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะทำให้การกำจัดได้ผลดีขึ้น จากการทดลองนี้พีเอชที่เหมาะสมคือ 9.5 ปริมาณตะกั่วละลายที่เหลืออยู่ในน้ำที่ผ่านการบำบัด มีค่าน้อยที่สุด คือ 0.70,0.68,0.60 มก./ล. ที่ความสูงทราย 1.0,1.5 และ 2.0 ม. และการศึกษาเกี่ยวกับความสูงของทราย ก็เพื่อที่จะทำการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมที่จะกำจัดตะกั่วได้ดีขึ้น เนื่องจากความสูงของทรายก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญของกระบวนการนี้ กล่าวคือ การตกผลึกจะเกิดได้อย่างสมบูรณ์ต้องมีความสูงของอนุภาคที่เหมาะสม ซึ่งมีผลต่อพื้นที่ผิวในการตกผลึก และเวลาในการทำปฏิกริยาของสารที่นำมาผสมกัน จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความสูงของทราย ปริมาณตะกั่วในน้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ในการศึกษาครั้งนี้ผลการกำจัดตะกั่วในรูปตะกั่วทั้งหมด ยังไม่ดีเท่าที่ควร ปริมาณตะกั่วทั้งหมดที่ผ่านการบำบัดยังคงมีค่าสูง คือ ที่พีเอช 9.5 ความสูงทราย 2.0 ม. มีปริมาณตะกั่วทั้งหมดเท่ากับ 16.90 มก./ล. แสดงว่าความสูงของทรายที่ทำการศึกษายังมีค่าน้อยเกินไป แต่ในการวิจัยครั้งนี้ไม่สามารถศึกษาความสูงของทรายที่มากกว่านี้ได้ เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องสถานที่ และจากกราฟที่แสดงการกำจัดตะกั่วทั้งในรูปตะกั่วทั้งหมดและในรูปตะกั่วละลาย จะเห็นได้ว่าปริมาณตะกั่วมีค่าลดลงเมื่อเวลามากขึ้นที่ทุกสภาวะที่ทำการศึกษา และในเวลา 5 นาทีแรกของการทดลอง พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของตะกั่วเมื่อเทียบกับเวลาเวลามีค่ามากที่สุด ผลการกำจัดตะกั่วที่สภาวะต่างๆ สรุปผลได้ดังตารางที่ 4.3

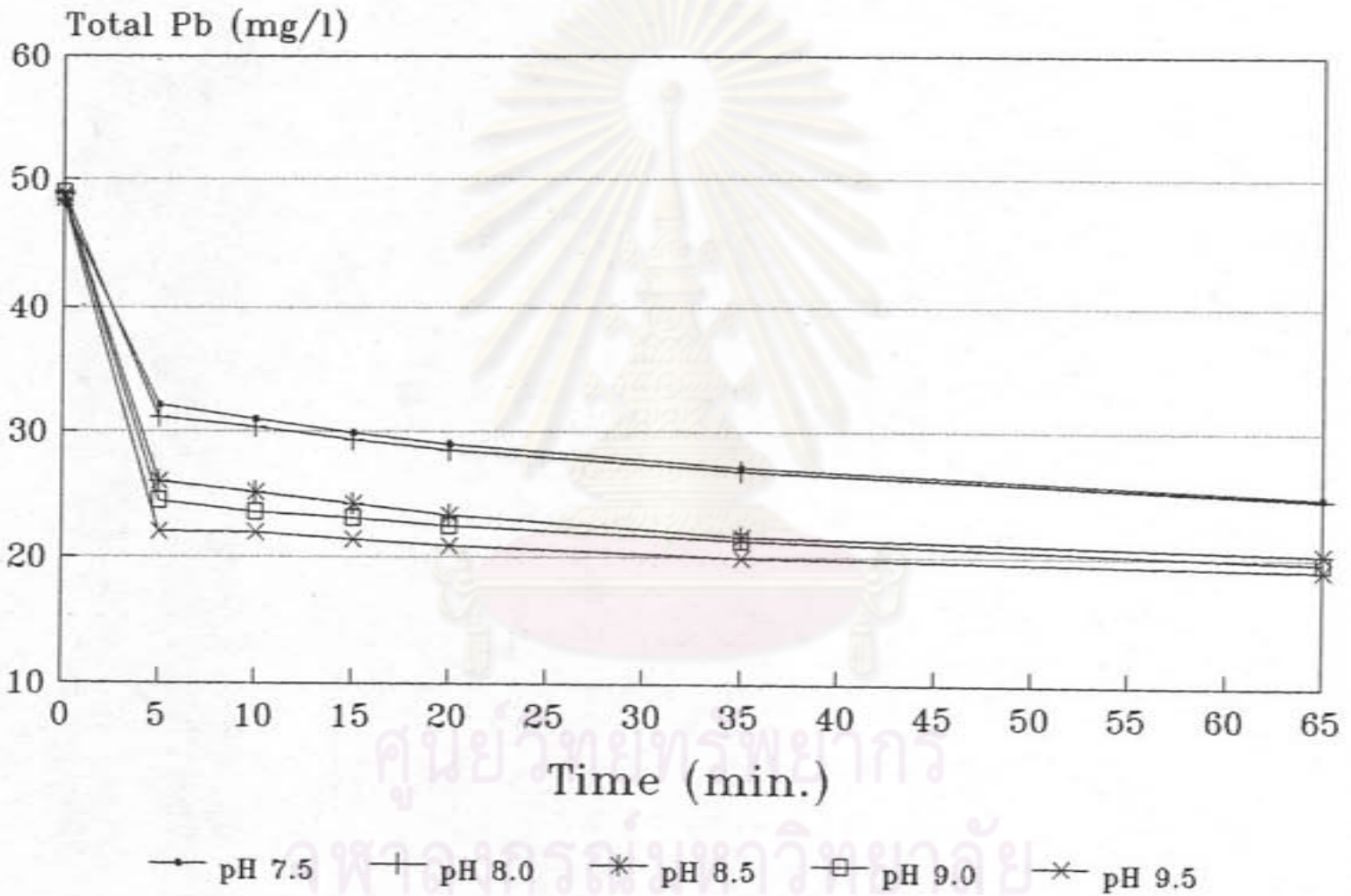
4.2.3.2 ประสิทธิภาพในการกำจัด

จากรูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 50 มก./ล.ที่พีเอช 7.5 - 9.5 และความสูงของทราย 1.0,1.5,2.0 ม. ในรูปตะกั่วทั้งหมดและตะกั่วละลาย จะเห็นได้ว่าที่ความสูง 2.0 ม. และพีเอช 9.5 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด คือ 67.96% ในรูปตะกั่วทั้งหมด และ 98.88% ในรูปตะกั่วละลาย โดยสามารถลดปริมาณตะกั่วจากปริมาณเริ่มต้น 52.75 มก./ล. เหลือปริมาณ

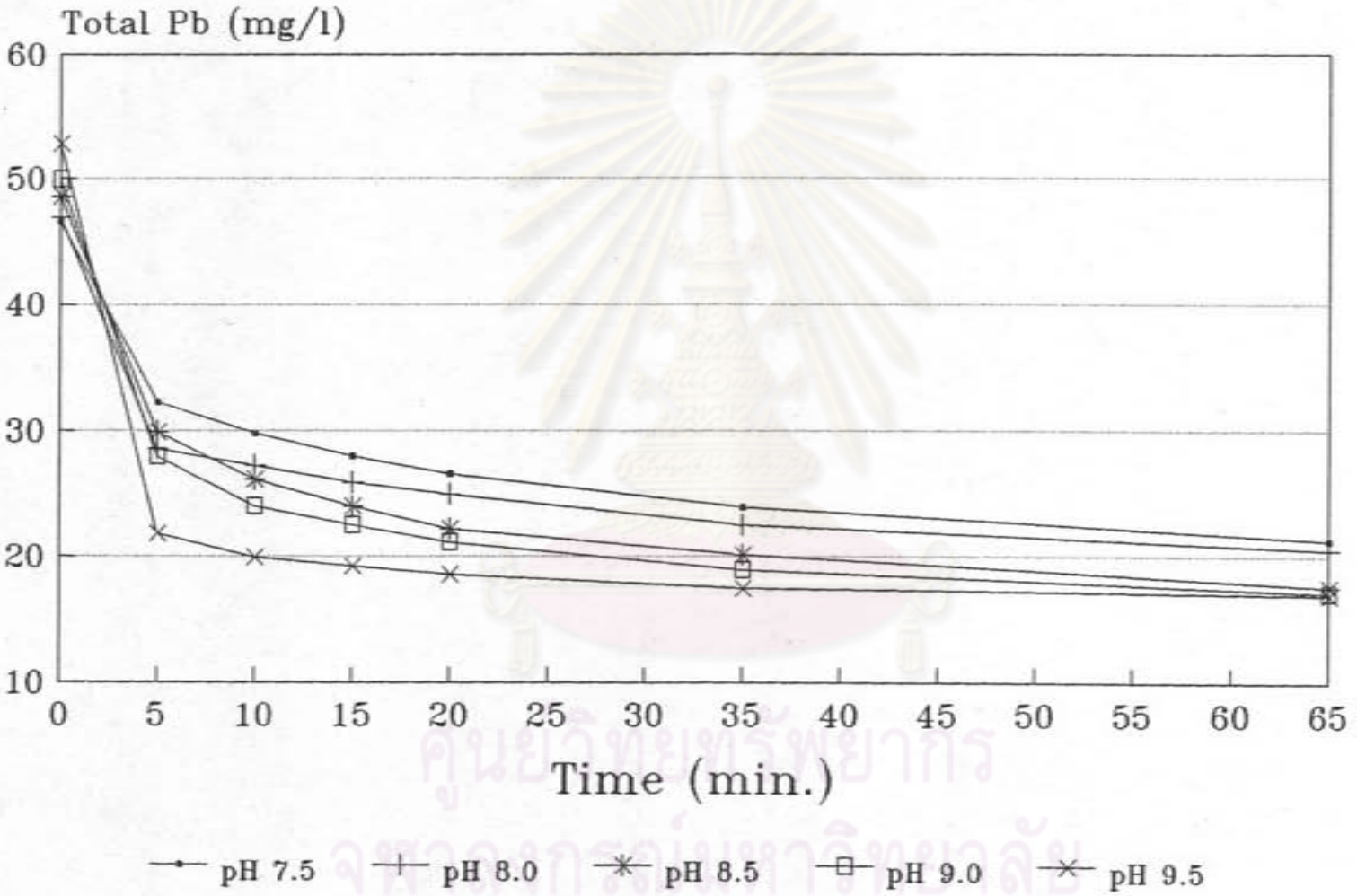


รูปที่ 4.20 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 50 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม.

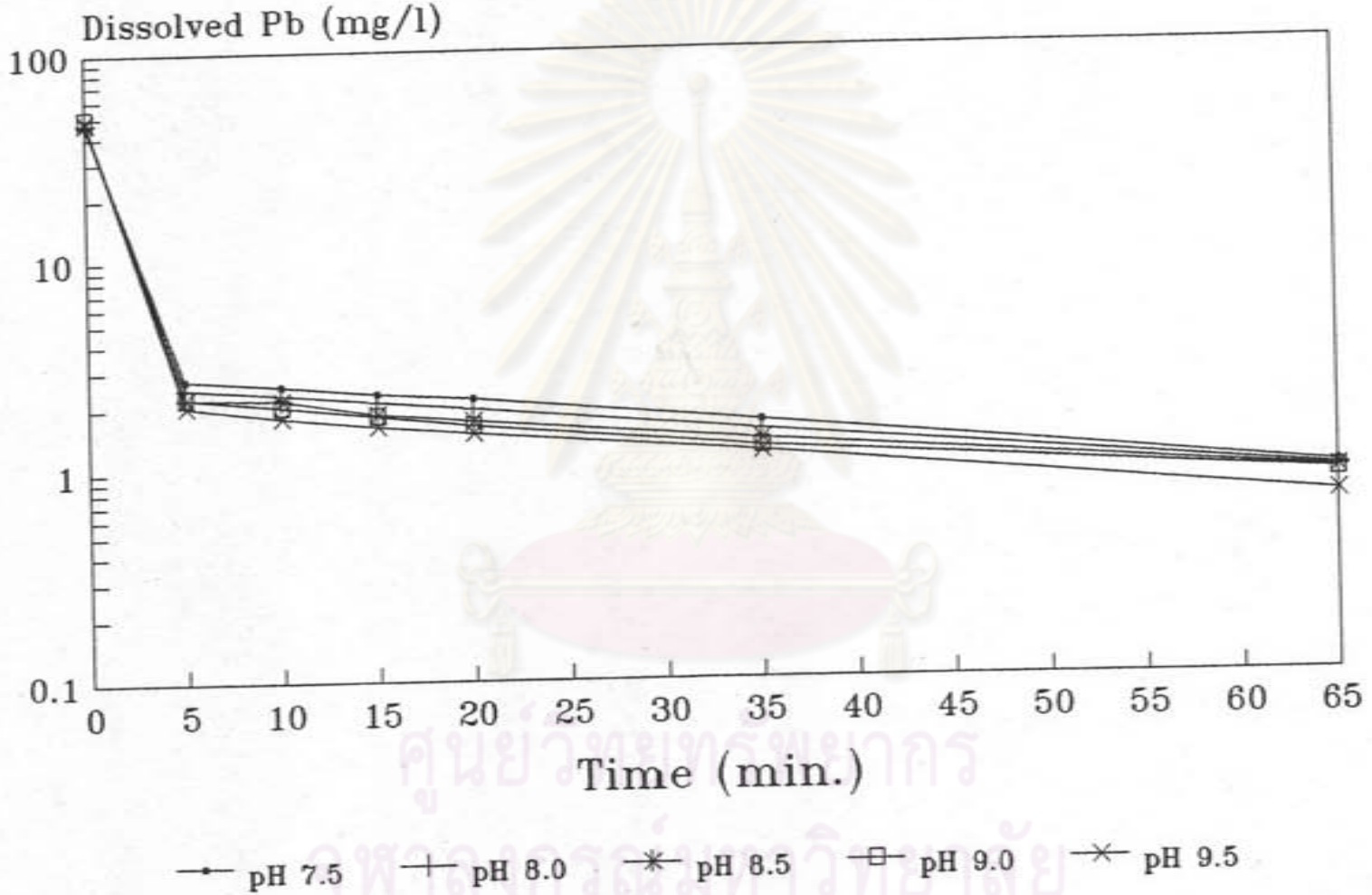
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.21 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 50 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม.

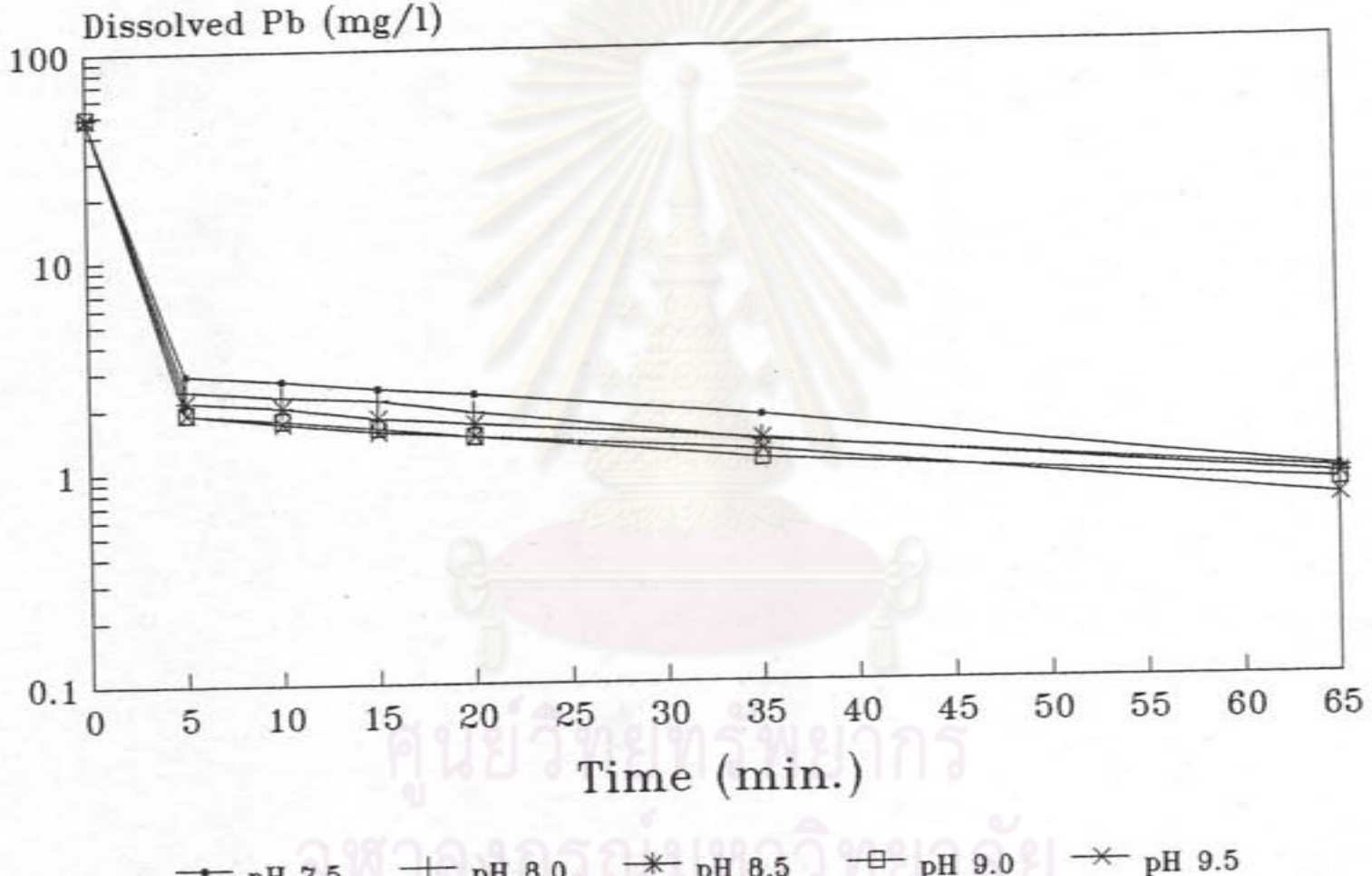


รูปที่ 4.22 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 50 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม.



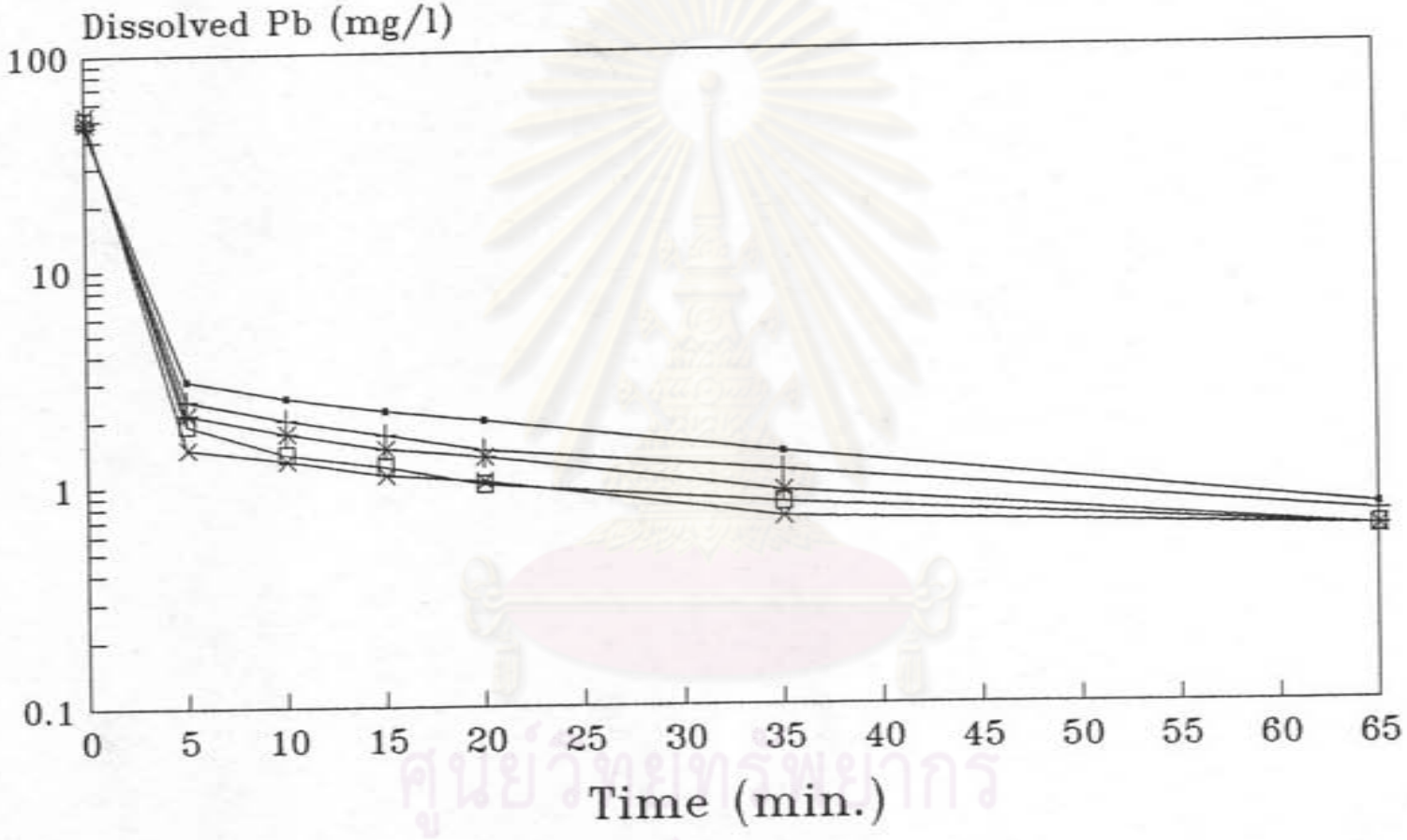
รูปที่ 4.23 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 50 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.24 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 50 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.25 ผลการกำจัดละลายความเข้มข้น 50 มก./ล.ในรูปละลายที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม.

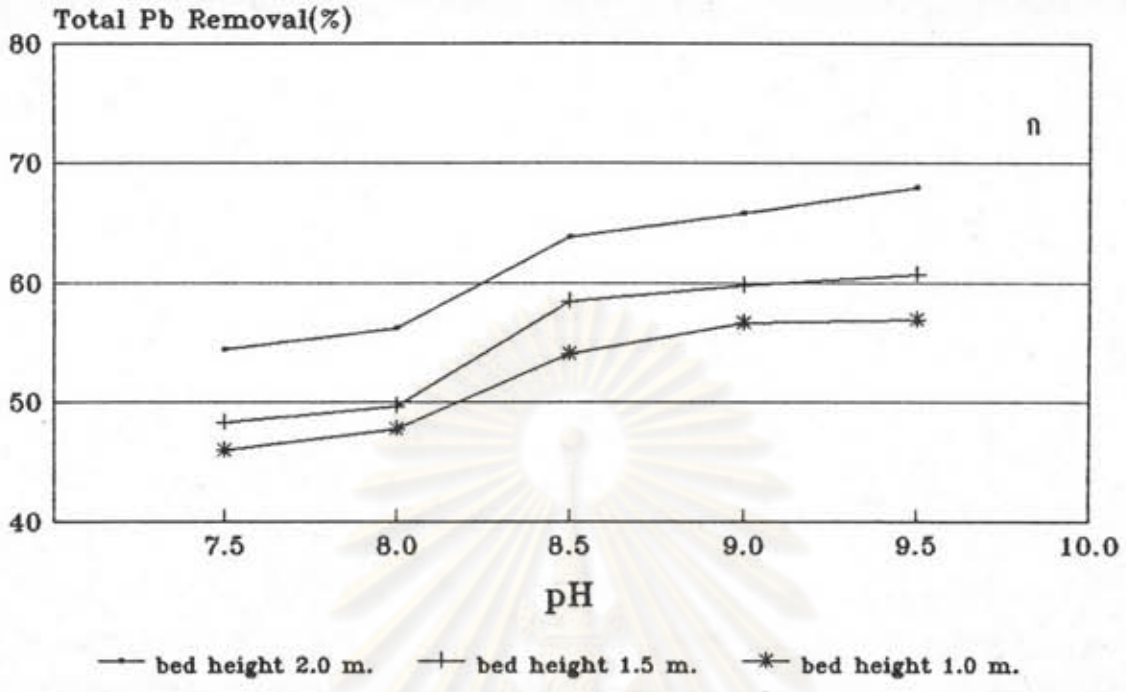
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

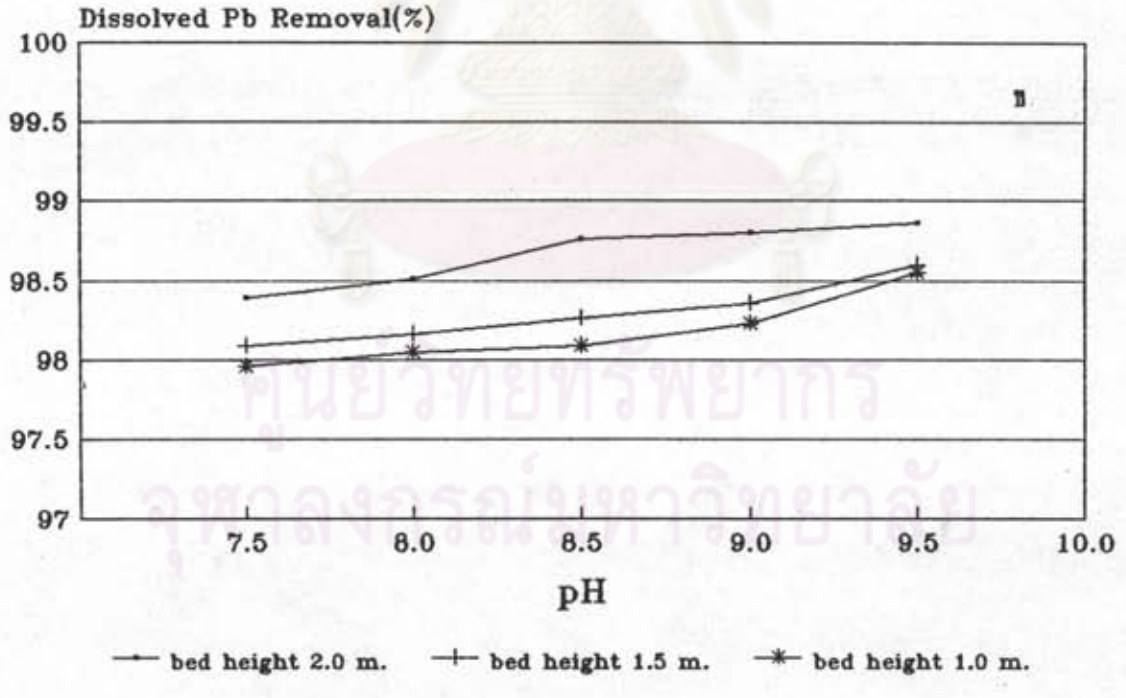
ตารางที่ 4.3 สรุปผลการกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดที่สภาวะต่างๆ

พีเอช	ความสูงของชั้นทราย (ม.)	ความเข้มข้นก่อนกำจัด (มก./ล.)	ความเข้มข้นหลังกำจัดที่เวลา 65 นาที ตะกั่วทั้งหมด* (มก./ล.)	ตะกั่วละลาย** (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัด ตะกั่วทั้งหมด (%)	ตะกั่วละลาย (%)
7.5	1.0	46.50	25.12	0.95	45.98	97.96
8.0	1.0	47.20	24.63	0.92	47.82	98.05
8.5	1.0	47.30	21.75	0.90	54.02	98.09
9.0	1.0	49.80	21.59	0.88	56.65	98.23
9.5	1.0	48.40	20.85	0.70	56.92	98.55
7.5	1.5	48.10	24.85	0.92	48.34	98.09
8.0	1.5	49.00	24.66	0.90	49.67	98.16
8.5	1.5	48.80	20.33	0.85	58.43	98.26
9.0	1.5	48.90	19.65	0.80	59.82	98.60
9.5	1.5	48.50	19.08	0.68	60.66	98.60
7.5	2.0	46.58	21.25	0.75	54.38	98.39
8.0	2.0	46.91	20.53	0.70	56.24	98.51
8.5	2.0	48.58	17.56	0.60	63.85	98.76
9.0	2.0	49.92	17.06	0.60	65.82	98.80
9.5	2.0	52.75	16.90	0.60	67.96	98.86

หมายเหตุ * หมายถึง ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในรูปละลายและในรูปแขวนลอย

** หมายถึง ปริมาณตะกั่วที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมโครเมตร





รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว 50 มก./ล.ที่เวลา 65 นาที พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม.

ก.ตะกั่วทั้งหมด ข.ตะกั่วละลาย

ตะกั่วทั้งหมด 16.90 มก./ล. และปริมาณตะกั่วละลาย 0.60 มก./ล.

4.2.3.3 ผลของพีเอชและความสูงของทรายกับปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

จากรูปที่ 4.27 พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยมีความสัมพันธ์กับพีเอชและความสูงของทราย กล่าวคือ เมื่อเพิ่มพีเอชปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มพีเอชเป็นการเปลี่ยนรูปตะกั่วจากสถานะละลายมาอยู่ในสถานะแขวนลอย ที่พีเอช 9.5 มีการเปลี่ยนรูปตะกั่วได้ดีที่สุด จึงมีปริมาณของแข็งแขวนลอยในปริมาณที่มากกว่าที่พีเอชอื่น และที่พีเอชเดียวกัน แต่ความสูงของทรายต่างกัน พบว่าที่ความสูงทราย 2.0 ม. มีปริมาณของแข็งแขวนลอยน้อยที่สุด เนื่องจากตะกั่วที่เปลี่ยนรูปสามารถตกผลึกบนเม็ดทรายได้ในปริมาณที่มากกว่า จากการทดลองนี้พบว่าที่พีเอช 9.5 ความสูงทราย 2.0 ม.มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 39.20 มก./ล.

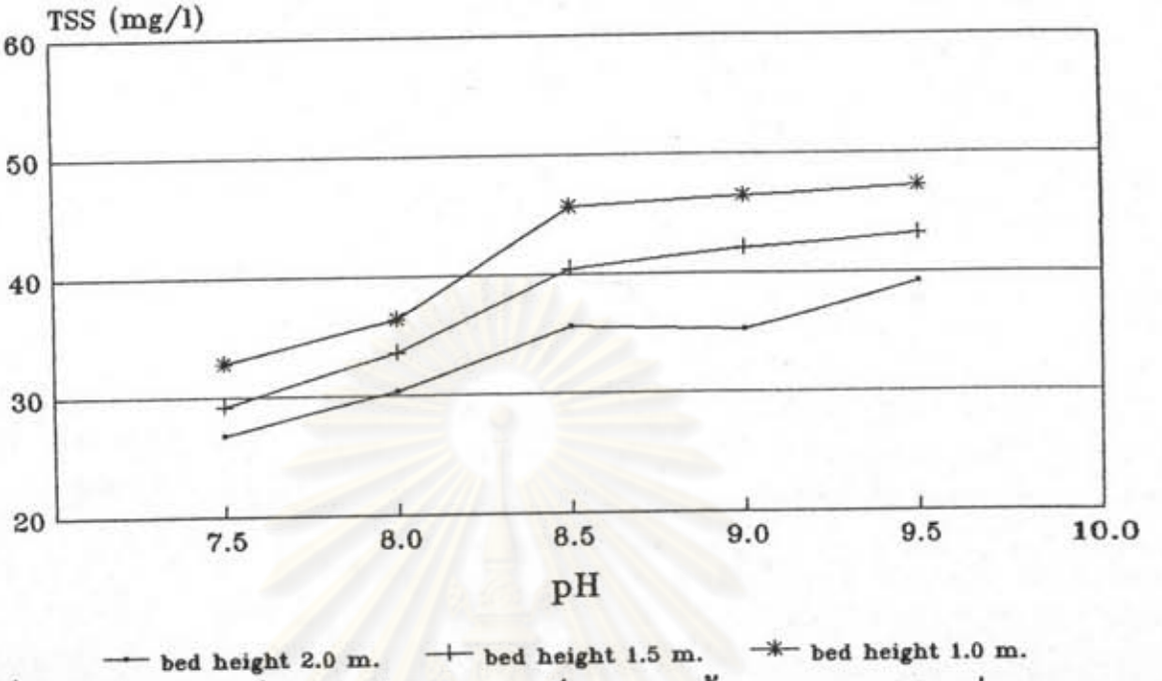
4.2.3.4 ผลของพีเอชกับความเป็นด่างทั้งหมด

จากรูปที่ 4.28 พบว่าพีเอชมีความสัมพันธ์กับความเป็นด่าง กล่าวคือ เพื่อเพิ่มพีเอช มีผลทำให้ความเป็นด่างมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มค่าพีเอชทำให้ต้องเพิ่มปริมาณสารเคมีในการปรับพีเอช ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอเนต จึงมีผลต่อการเพิ่มความเป็นด่าง จากผลการทดลอง ที่พีเอช 9.5 มีความเป็นด่างเท่ากับ 1200-1400 มก./ล.ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต

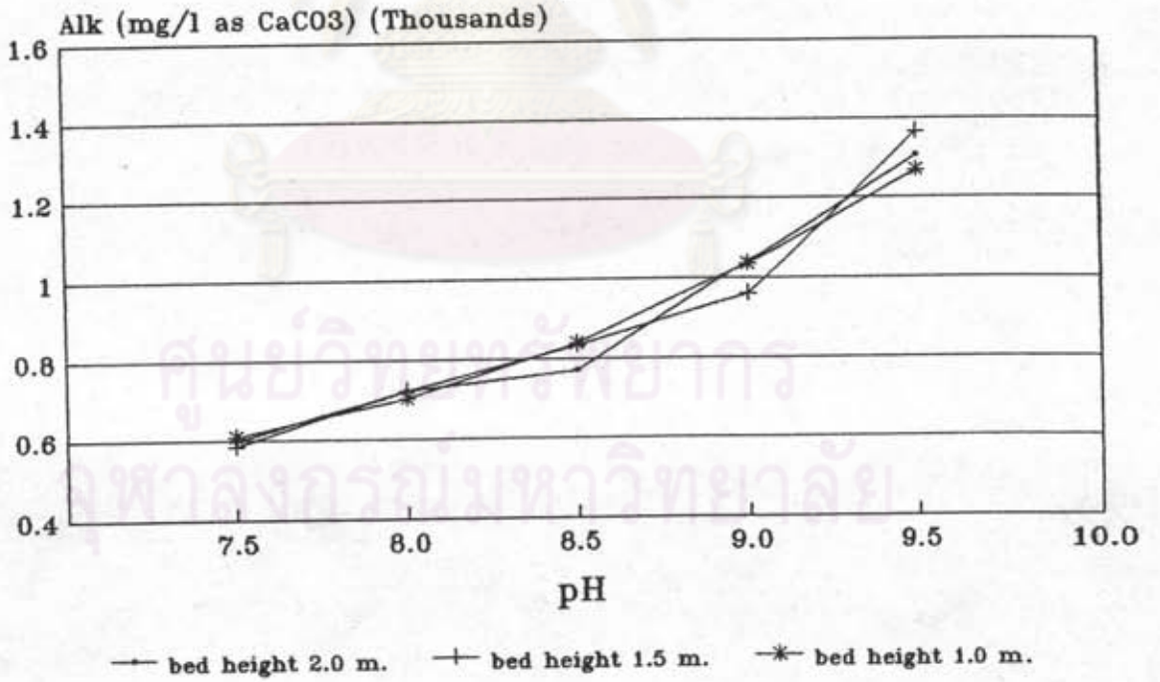
4.2.4 การกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มก./ล.

การทดลองส่วนนี้เป็นการศึกษาผลการกำจัดตะกั่วโดยใช้โซดาแอชในการปรับพีเอชที่ 7.5,8.0,8.5,9.0,9.5 ความสูงของทราย 1.0,1.5 และ 2.0 ม. และความเร็วน้ำไหลขึ้น 66 ม./ชม. ผลการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ ในน้ำที่ผ่านการบำบัด แสดงในตารางที่ ข.46 - ข.60

4.2.4.1 สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในการกำจัดตะกั่ว 50 มก./ล.ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม.



รูปที่ 4.28 ผลการเปลี่ยนแปลงความเป็นด่างในการกำจัดตะกั่ว 50 มก./ล. ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม.

จากการกำจัดตะกั่วโดยทดลองกำจัดที่สภาวะต่างๆ สรุปผลได้ดังตารางที่ 4.4 และจากรูปที่ 4.29 - 4.34 พบว่าปริมาณตะกั่วมีค่าลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น เนื่องจากตะกั่วที่ถูกกำจัดออกจากน้ำเสีย โดยถูกเปลี่ยนสถานะจากละลายเป็นแขวนลอยและตกผลึกบนเม็ดทราย ผลึกที่เกิดในตอนแรกจะเป็นตัวชักนำให้อัตราการเกิดผลึกในเวลาต่อมาดีขึ้น และที่เวลา 5 นาทีแรกตะกั่วมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับเวลามากที่สุด จะเห็นได้จากความชันของกราฟมีค่ามากที่สุด และพบว่าที่พีเอช 9.5 ของทุกความสูงของทรายมีการกำจัดตะกั่วได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกันโดยเฉพาะที่พีเอช 9.5 ความสูงของทราย 1.5 และ2.0 ม. น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดเหลือเพียง 0.99 และ 1.03 มก./ล. และมีปริมาณตะกั่วละลายเท่ากัน คือ 0.50 มก./ล. แสดงว่าที่ตะกั่วความเข้มข้นต่ำ ความสูงของทรายมีผลต่อการเพิ่มการกำจัดตะกั่วค่อนข้างน้อยแต่พีเอชยังเป็นปัจจัยสำคัญ เนื่องจากเป็นตัวกำหนดการเปลี่ยนรูปจากสถานะละลายมาอยู่ในสถานะแขวนลอย ซึ่งทำให้สามารถกำจัดตะกั่วออกจากน้ำได้ แต่ถึงอย่างไรก็ตาม การมีกระบวนการกรองต่อจากกระบวนการนี้ก็ยังคงมีผลให้คุณภาพน้ำที่ได้ดีขึ้นจะเห็นได้จากปริมาณตะกั่วที่ผ่านการกรองซึ่งก็คือปริมาณตะกั่วละลายมีค่าต่ำลง

4.2.4.2 ประสิทธิภาพในการกำจัด

จากรูป 4.35 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วทั้งในรูปตะกั่วทั้งหมด และในรูปตะกั่วละลาย พบว่าที่พีเอช 9.5 และความสูงทราย 2.0 ม. ยังคงให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด คือ จากปริมาณตะกั่วเริ่มต้น 10.35 มก./ล. เมื่อผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดเท่ากับ 1.03 มก./ล. และปริมาณตะกั่วละลาย 0.50 มก./ล. ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 90.05% ในรูปตะกั่วทั้งหมด และ 95.17% ในรูปตะกั่วละลาย

4.2.4.3 ผลของพีเอชและความสูงของทรายกับปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

จากรูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและความสูงของทรายกับปริมาณของแข็งแขวนลอย ของตะกั่วความเข้มข้น 10 มก./ล. ยังคงเป็นไปใน

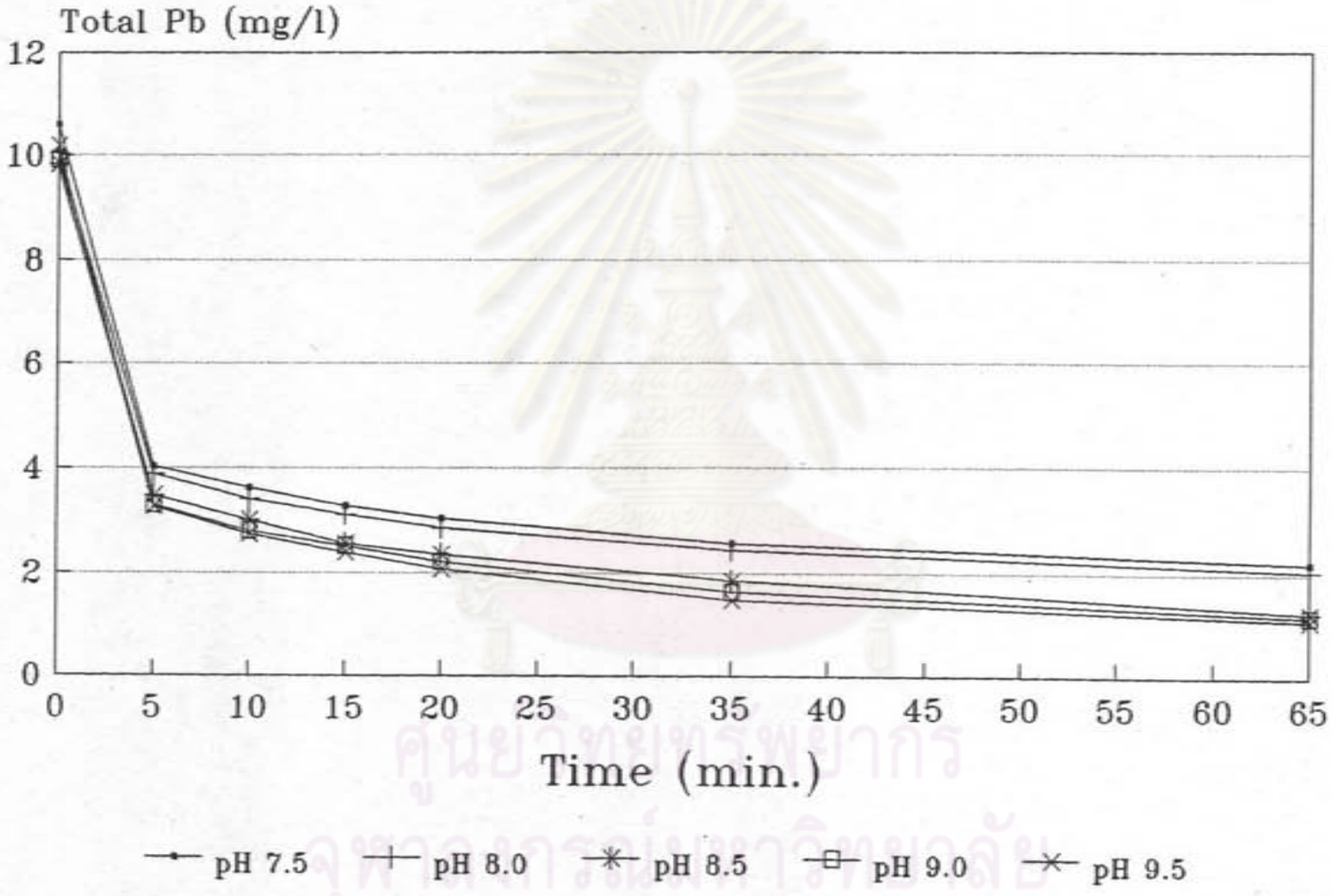
ตารางที่ 4.4 สรุปผลการกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดที่สภาวะต่างๆ

พีเอช	ความสูงของชั้นทราย (ม.)	ความเข้มข้นก่อนกำจัด (มก./ล.)	ความเข้มข้นหลังกำจัดที่เวลา 65 นาที ตะกั่วทั้งหมด* (มก./ล.)	ตะกั่วละลาย** (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัด ตะกั่วทั้งหมด (%)	ตะกั่วละลาย (%)
7.5	1.0	10.59	2.21	1.34	79.13	87.35
8.0	1.0	10.04	2.06	1.26	79.48	87.45
8.5	1.0	9.83	1.25	0.70	87.28	92.88
9.0	1.0	9.91	1.18	0.65	88.09	93.44
9.5	1.0	10.18	1.10	0.65	89.19	93.61
7.5	1.5	10.25	2.11	1.24	79.41	87.90
8.0	1.5	9.87	1.85	1.11	81.25	88.75
8.5	1.5	9.81	1.23	0.65	87.46	93.37
9.0	1.5	9.73	1.14	0.57	88.28	94.14
9.5	1.5	9.64	0.99	0.50	89.73	94.81
7.5	2.0	9.57	1.80	1.10	81.19	88.51
8.0	2.0	9.55	1.73	0.98	81.88	89.73
8.5	2.0	9.65	1.10	0.62	88.60	93.57
9.0	2.0	10.29	1.09	0.55	89.41	94.66
9.5	2.0	10.35	1.03	0.50	90.05	95.17

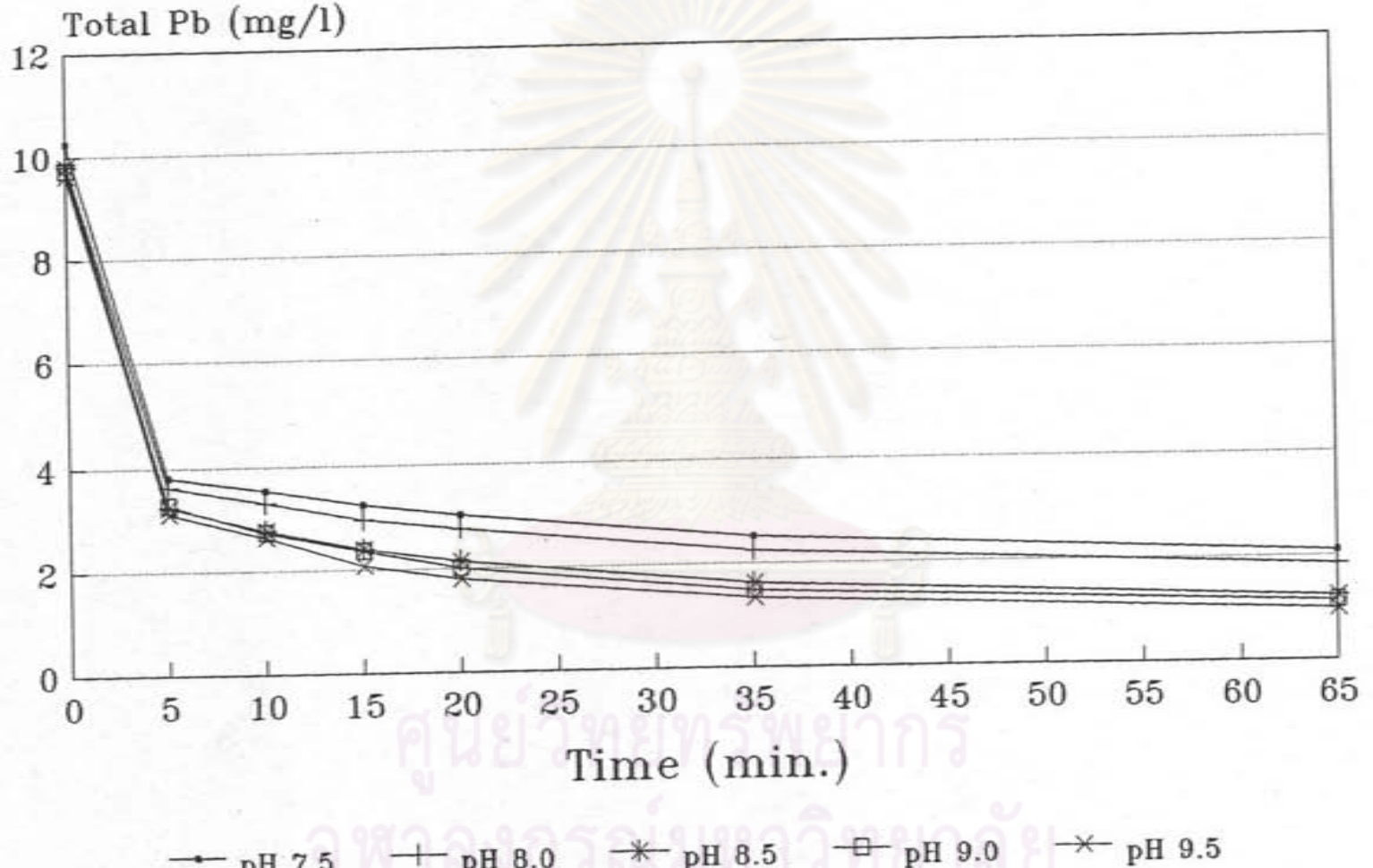
หมายเหตุ * หมายถึง ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในรูปละลายและในรูปแขวนลอย

** หมายถึง ปริมาณตะกั่วที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมโครเมตร

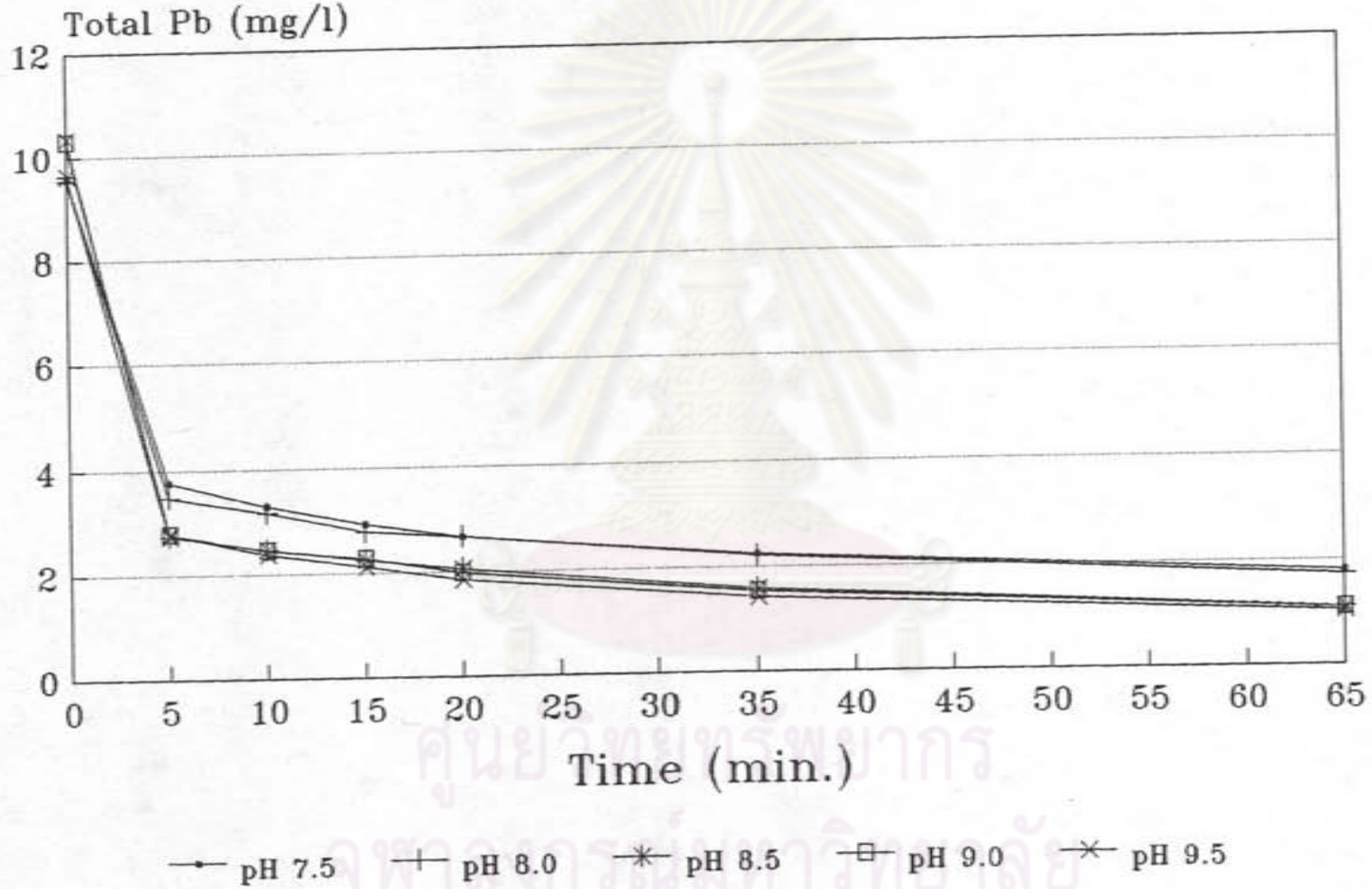
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



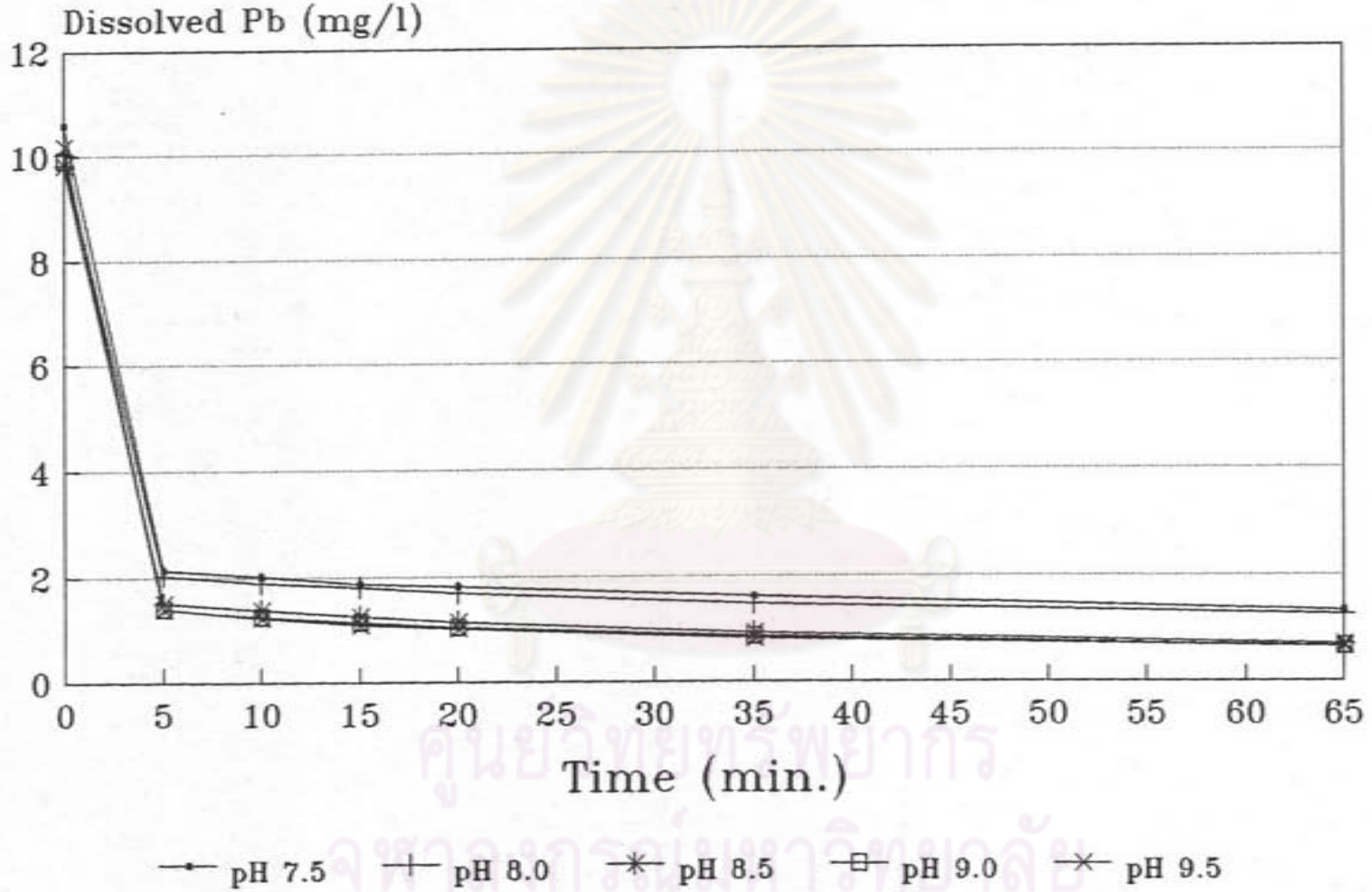
รูปที่ 4.29 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม.



รูปที่ 4.30 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม.

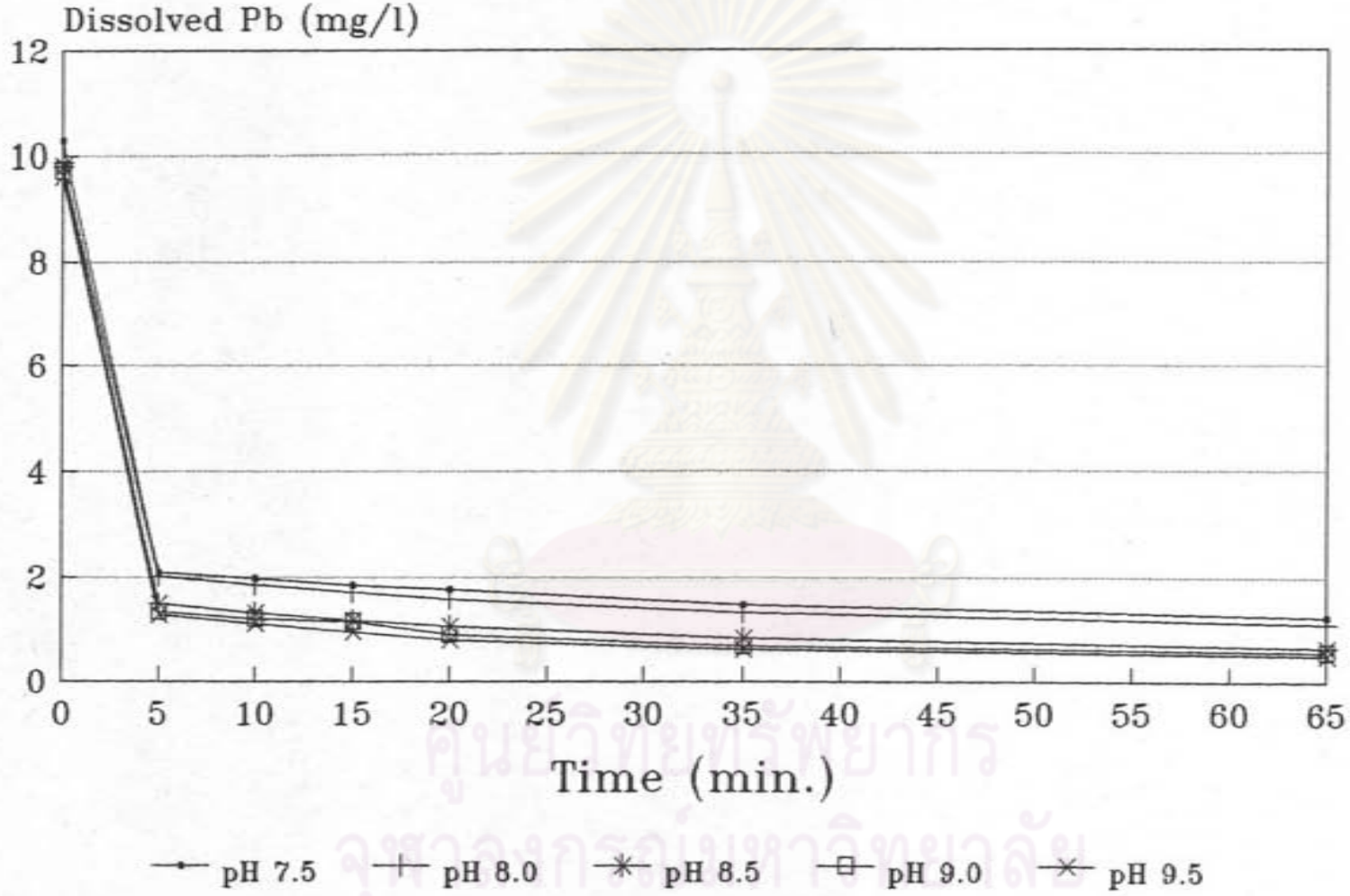


รูปที่ 4.31 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม.



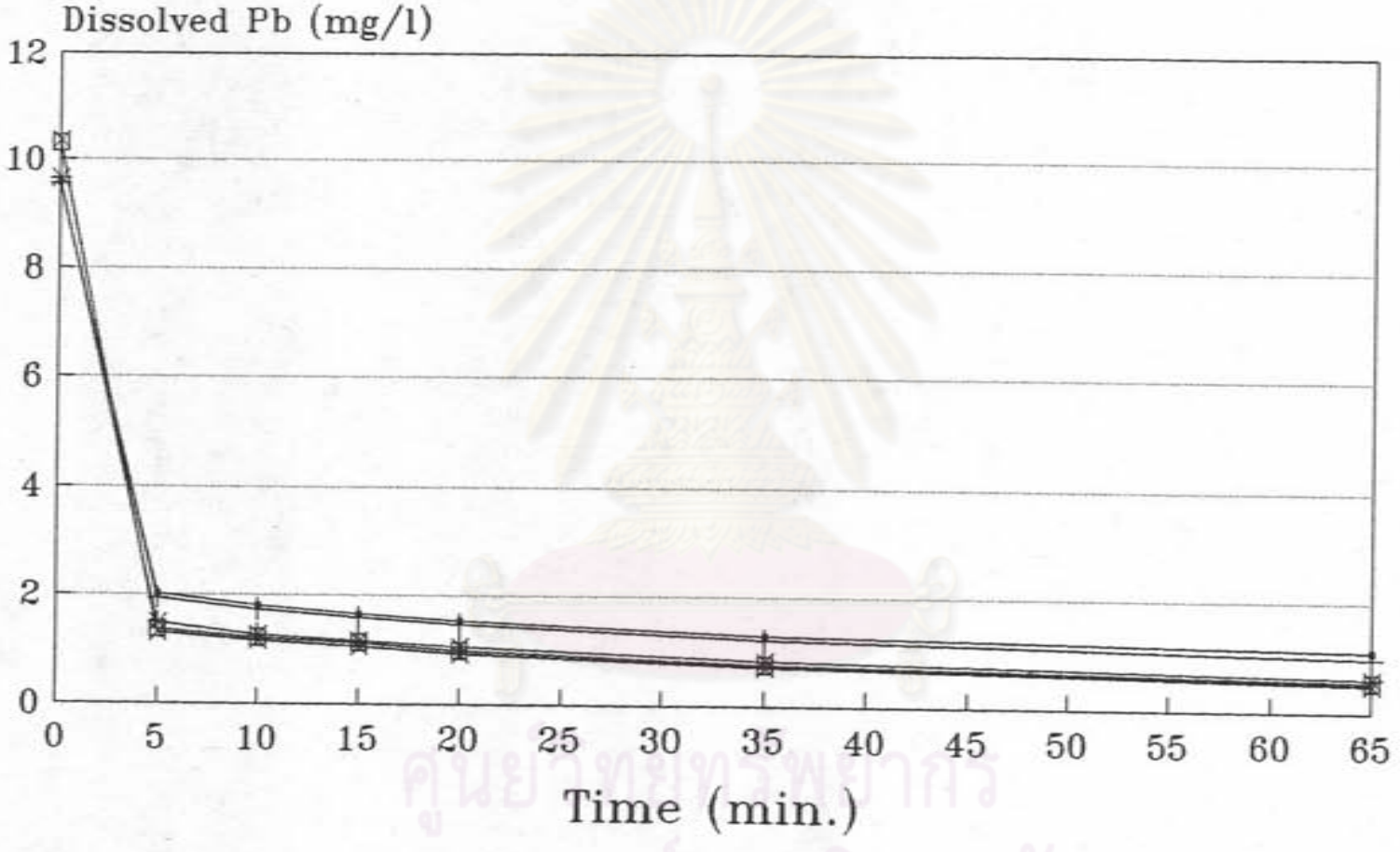
รูปที่ 4.32 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย

ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม.

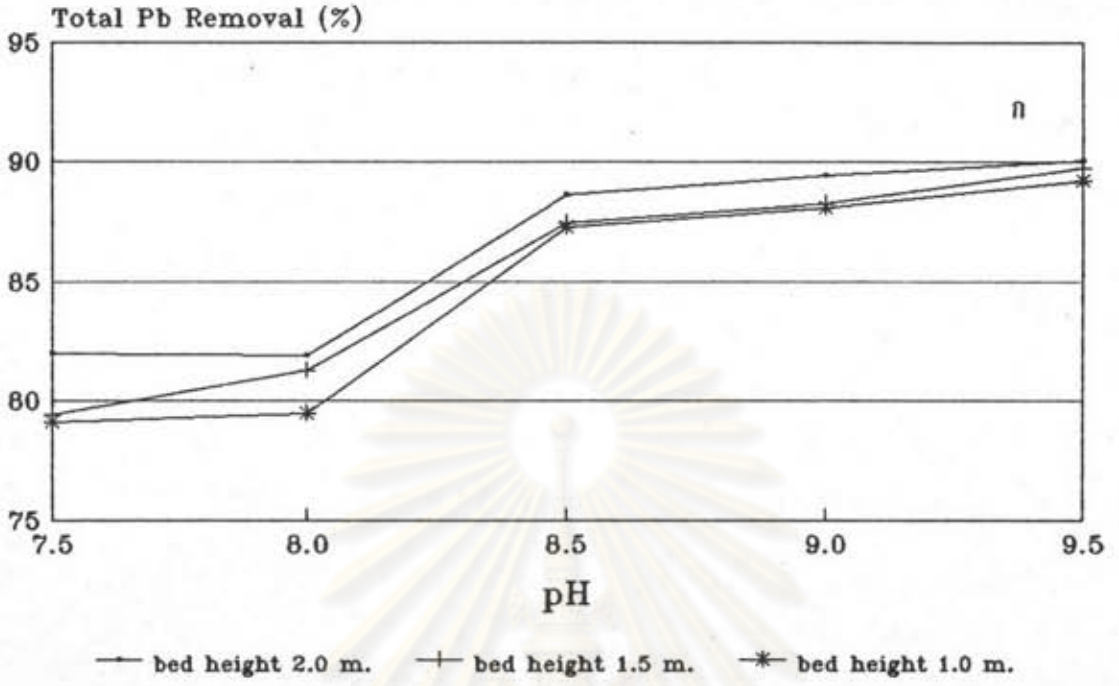


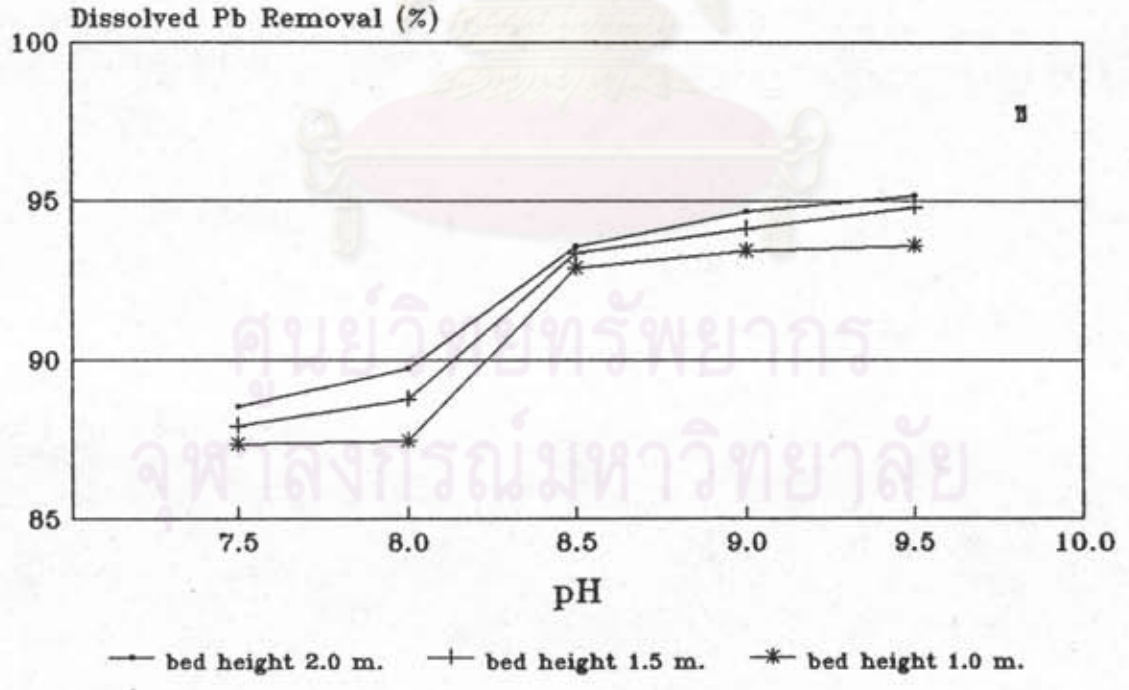
รูปที่ 4.33 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.34 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม.

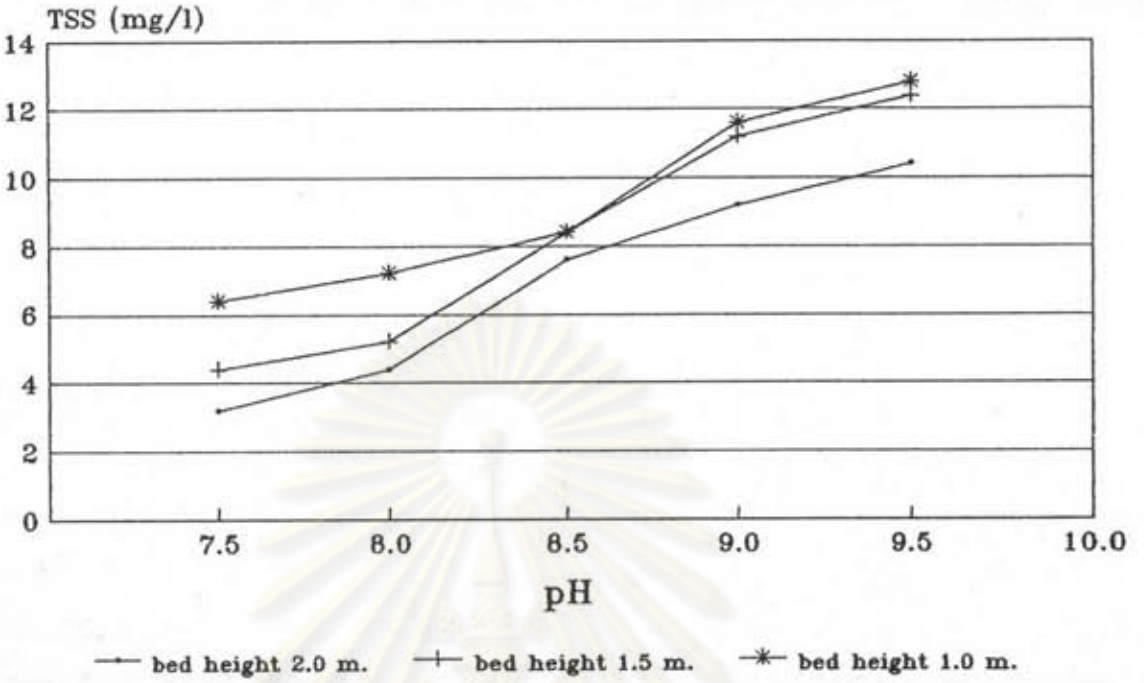




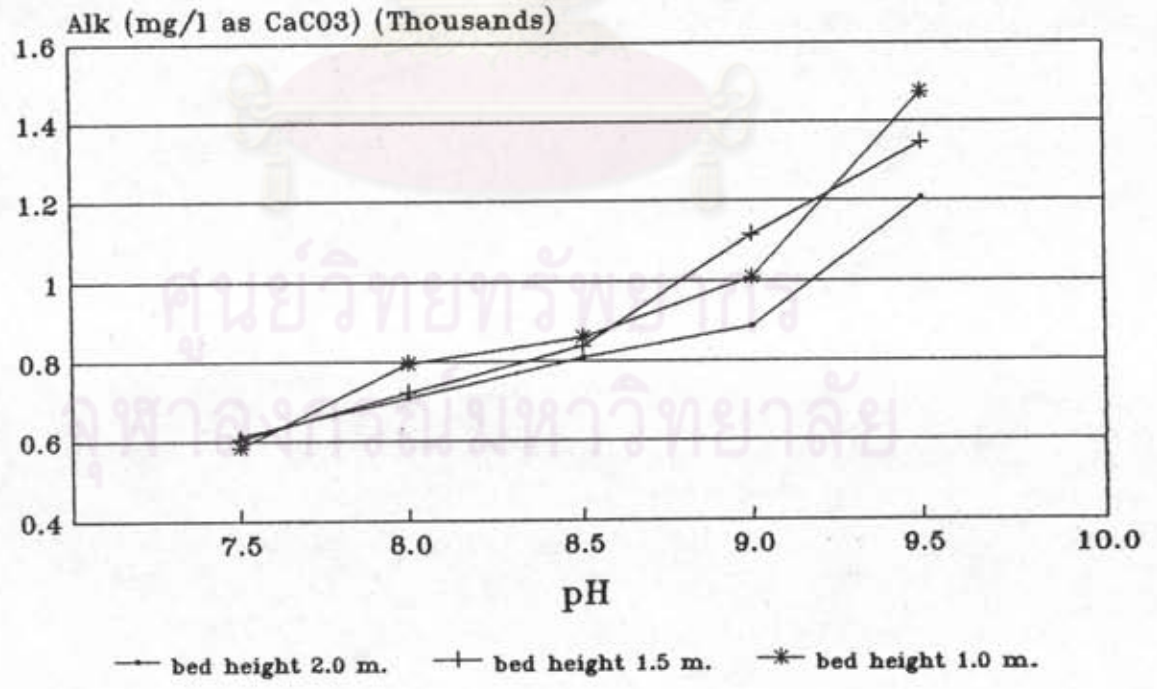
รูปที่ 4.35 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว 10 มก./ล.ที่เวลา 65 นาที พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม

ก.ตะกั่วทั้งหมด ข.ตะกั่วละลาย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในการกำจัดตะกั่ว 10 มก./ล.ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม.



รูปที่ 4.37 ผลการเปลี่ยนแปลงความเป็นด่างในการกำจัดตะกั่ว 10 มก./ล. ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม.

ลักษณะเดียวกับที่ความเข้มข้นอื่น กล่าวคือปริมาณของแข็งแขวนลอย มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามค่าพีเอช และที่พีเอชเดียวกันปริมาณของแข็งแขวนลอยมีปริมาณน้อยสุด ที่ความสูงของทราย 2.0 ม. จากผลการทดลองที่พีเอช 9.5 ความสูงทราย 2.0 ม. มีปริมาณของแข็งแขวนลอย เท่ากับ 10.4 มก./ล. ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งซึ่งกำหนดให้มีปริมาณของแข็งแขวนลอย ในน้ำทิ้งไม่เกิน 30 มก./ล.

4.2.4.4 พีเอชกับค่าความเป็นด่างทั้งหมด

จากรูปที่ 4.37 พบว่าเมื่อพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นค่าความเป็นด่างก็จะมากขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องจากค่าพีเอชที่มากต้องใช้ปริมาณสารเคมีในการปรับพีเอชมากกว่า จึงมีปริมาณคาร์บอเนตในน้ำมากกว่าทำให้ค่าความเป็นด่างเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองที่พีเอช 9.5 มีค่าความเป็นด่างเท่ากับ 1200 - 1500 มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต

4.2.5 การกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 5 มก./ล.

การทดลองส่วนนี้เป็นการศึกษาผลการกำจัดตะกั่วโดยใช้โซดาแอชในการปรับพีเอชที่ 7.5,8.0,8.5,9.0,9.5 ความสูงของทราย 1.0.1.5 และ 2.0 ม. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 66 ม./ชม. ผลการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่าง ๆ ในน้ำที่ผ่านการบำบัด แสดงในตารางที่ ข.60 - ข.75

4.2.5.1 สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว

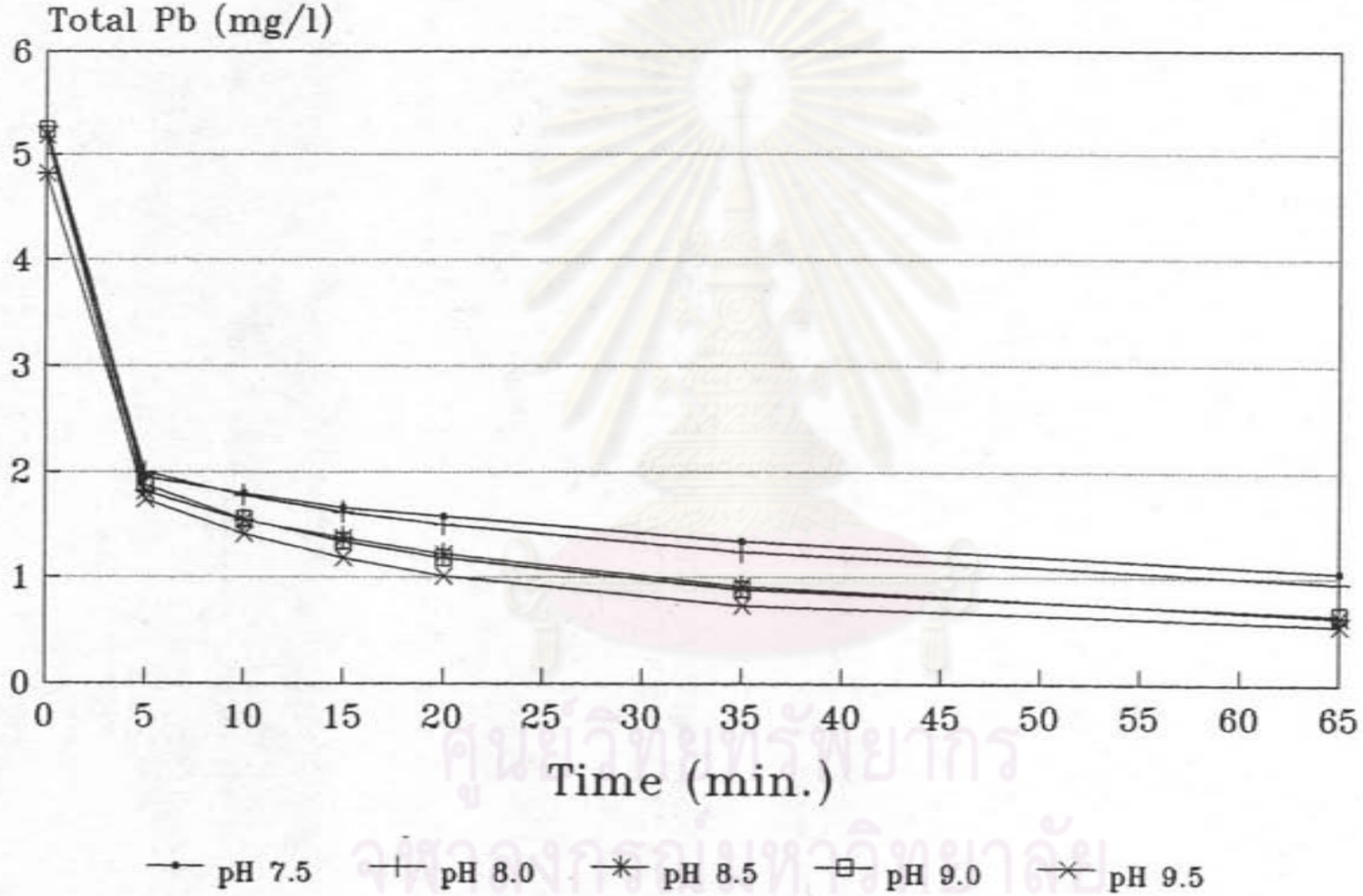
จากผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 5 มก./ล. ที่สภาวะต่างๆ สรุปผลได้ดังตารางที่ 4.5 และจากรูปที่ 4.38 - 4.43 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณตะกั่วมีค่าลดลงเมื่อเวลามากขึ้น เนื่องจากตะกั่วที่เป็นเกิดผลึกขึ้นก่อนบนผิวทรายจะเป็นตัวชักนำให้อัตราการเกิดผลึกในเวลาต่อมาดีขึ้น ปริมาณ ตะกั่วจึงถูกกำจัดได้มากขึ้น โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของตะกั่วเมื่อเทียบกับเวลามากที่สุดที่เวลา 5 นาที จะเห็นได้จากความชันของกราฟมีค่ามากที่สุดที่ช่วงเวลานี้ และพบว่า ที่พีเอช 9.5ของทุกความสูงของทราย ยังคงให้ผลการกำจัดสูงกว่าที่พีเอชอื่น เช่นเดียวกับผลการกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้นอื่น เป็นการ

ตารางที่ 4.5 สรุปผลการกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดที่สภาวะต่างๆ

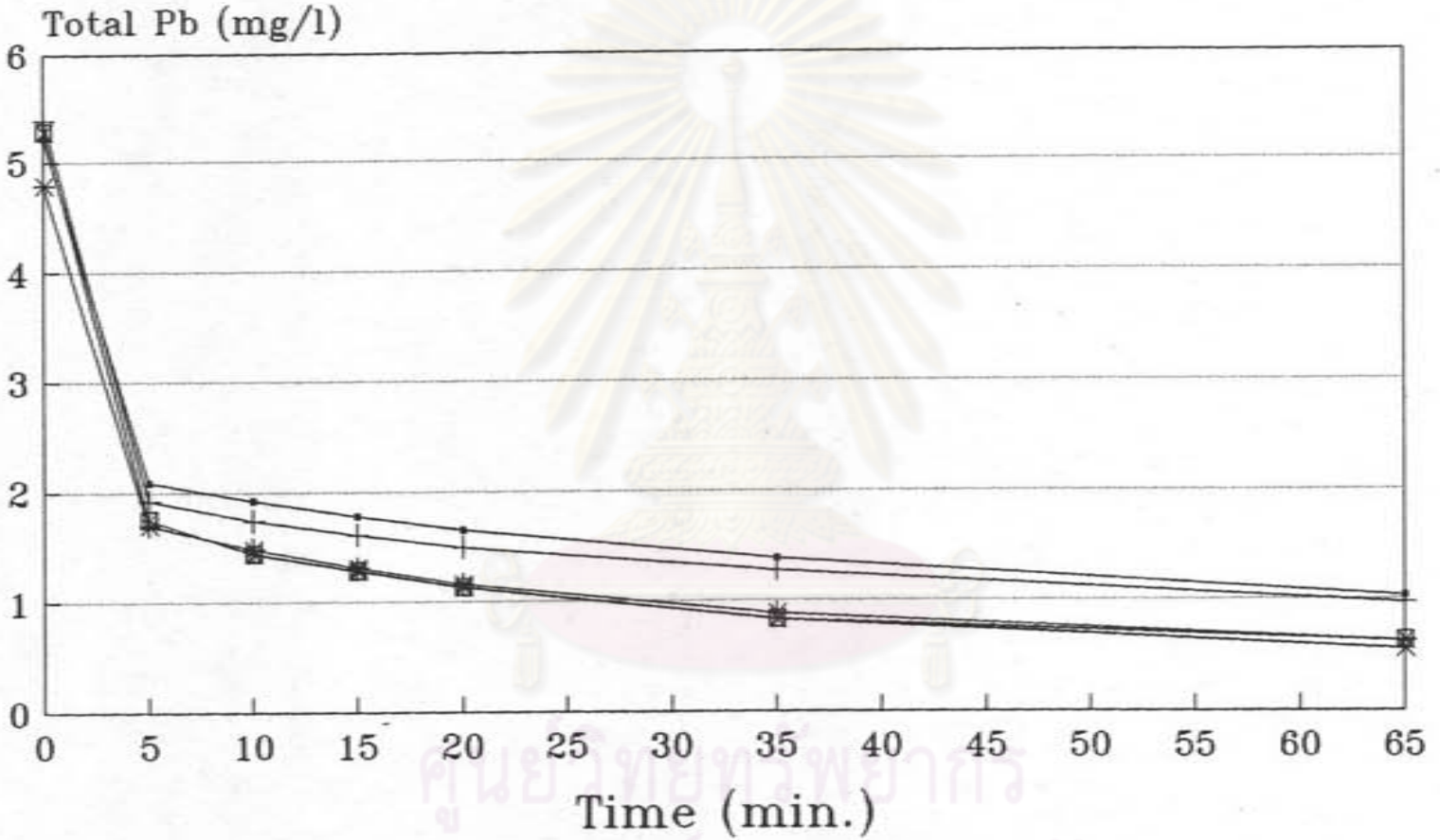
พีเอช	ความสูงของชั้นทราย (ม.)	ความเข้มข้นก่อนกำจัด (มก./ล.)	ความเข้มข้นหลังกำจัดที่เวลา 65 นาที ตะกั่วทั้งหมด* (มก./ล.)	ตะกั่วละลาย** (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัด ตะกั่วทั้งหมด (%)	ตะกั่วละลาย (%)
7.5	1.0	5.19	1.05	0.82	79.77	84.20
8.0	1.0	5.26	0.95	0.77	81.94	85.36
8.5	1.0	4.82	0.63	0.50	86.93	89.63
9.0	1.0	5.23	0.65	0.48	87.57	90.82
9.5	1.0	5.18	0.65	0.40	89.38	92.28
7.5	1.5	5.22	1.03	0.81	80.27	84.48
8.0	1.5	5.39	0.97	0.75	82.00	86.09
8.5	1.5	4.79	0.62	0.47	87.06	90.18
9.0	1.5	5.25	0.62	0.45	88.19	91.43
9.5	1.5	5.28	0.55	0.40	89.58	92.42
7.5	2.0	4.93	0.90	0.70	81.74	85.80
8.0	2.0	4.90	0.87	0.60	82.24	87.76
8.5	2.0	5.04	0.67	0.48	87.10	90.47
9.0	2.0	5.33	0.60	0.45	88.74	91.56
9.5	2.0	5.21	0.50	0.36	90.40	93.09

หมายเหตุ * หมายถึง ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในรูปละลายและในรูปแขวนลอย

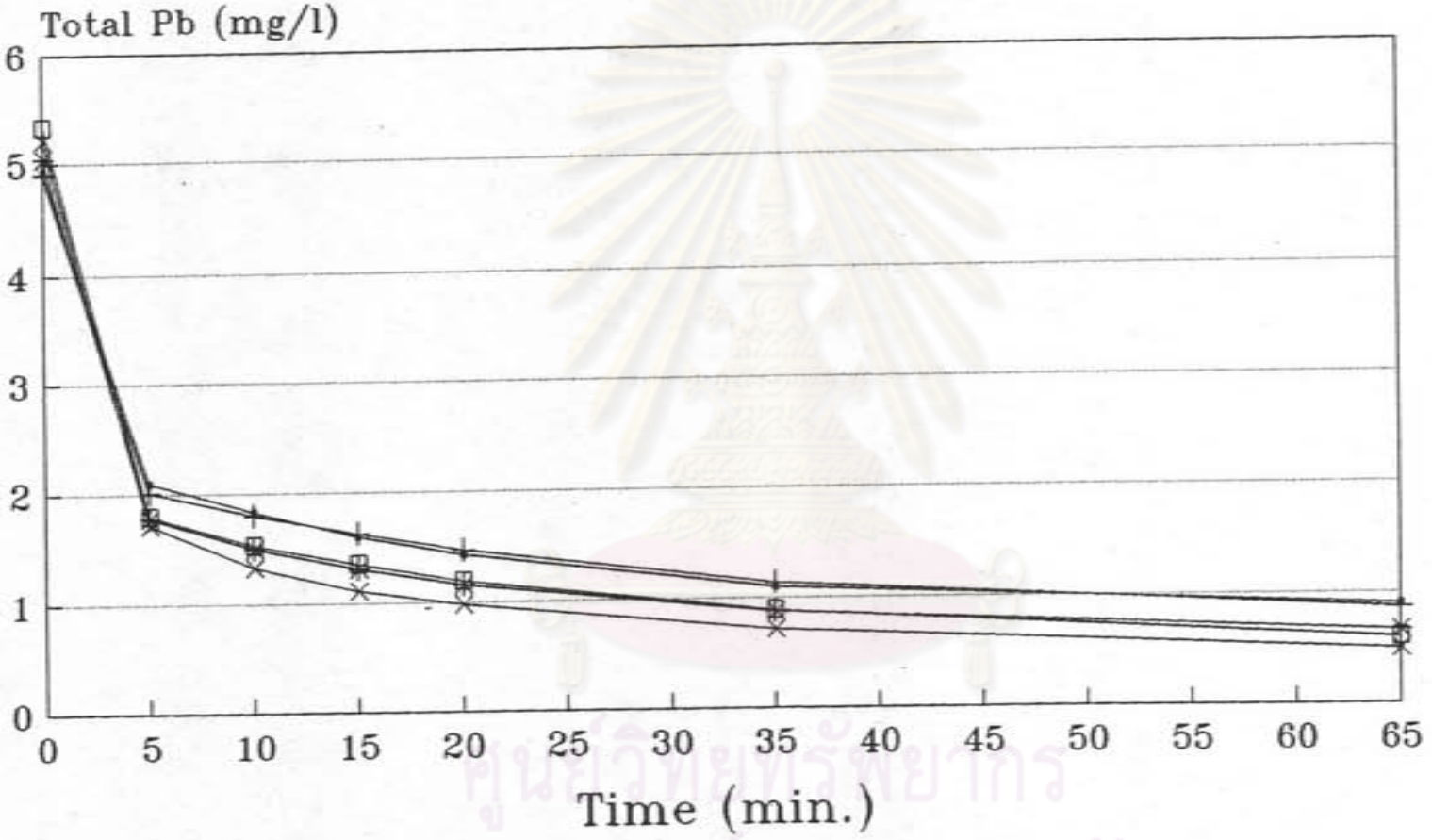
** หมายถึง ปริมาณตะกั่วที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมโครเมตร



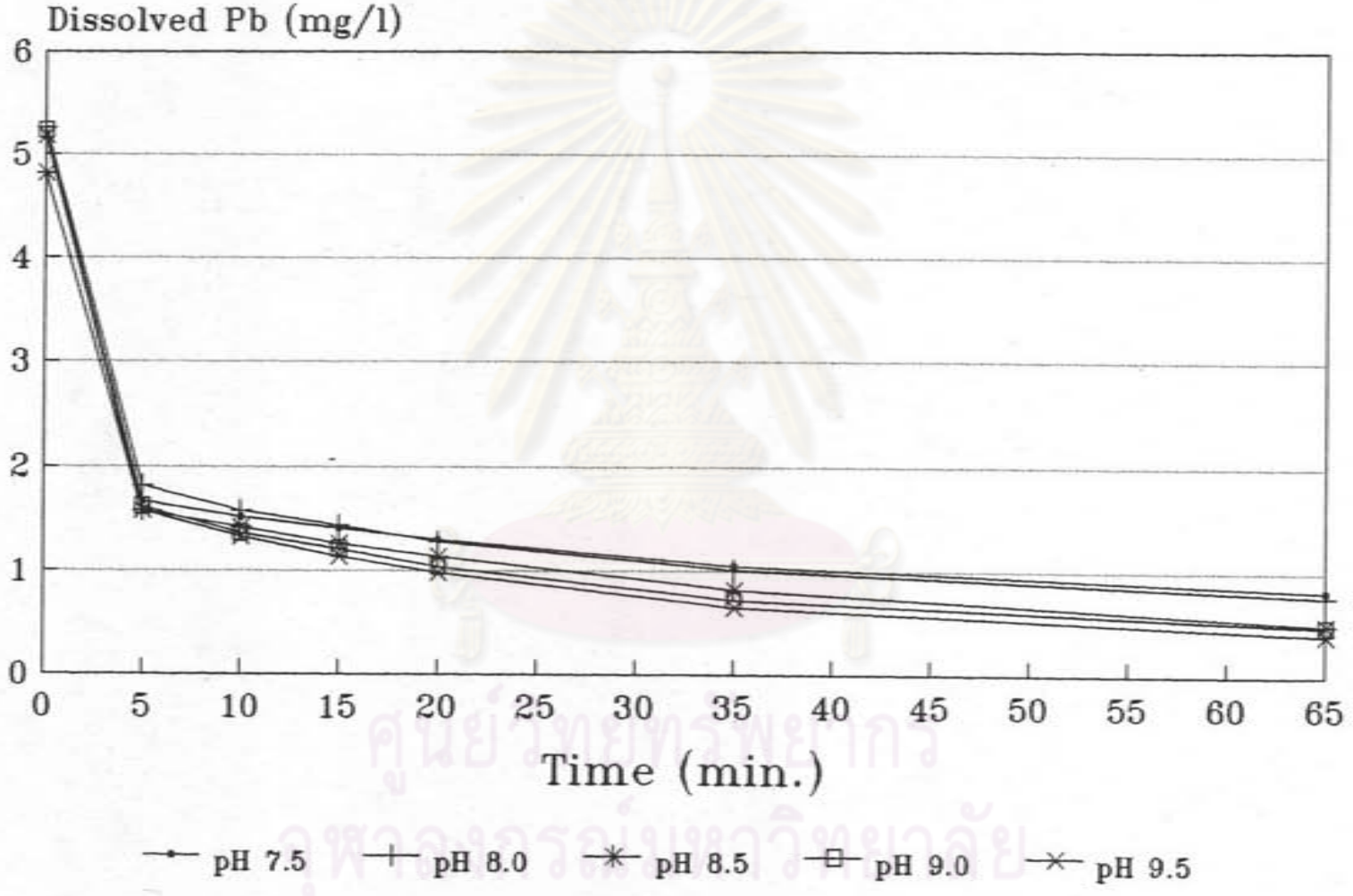
รูปที่ 4.38 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 5 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม.



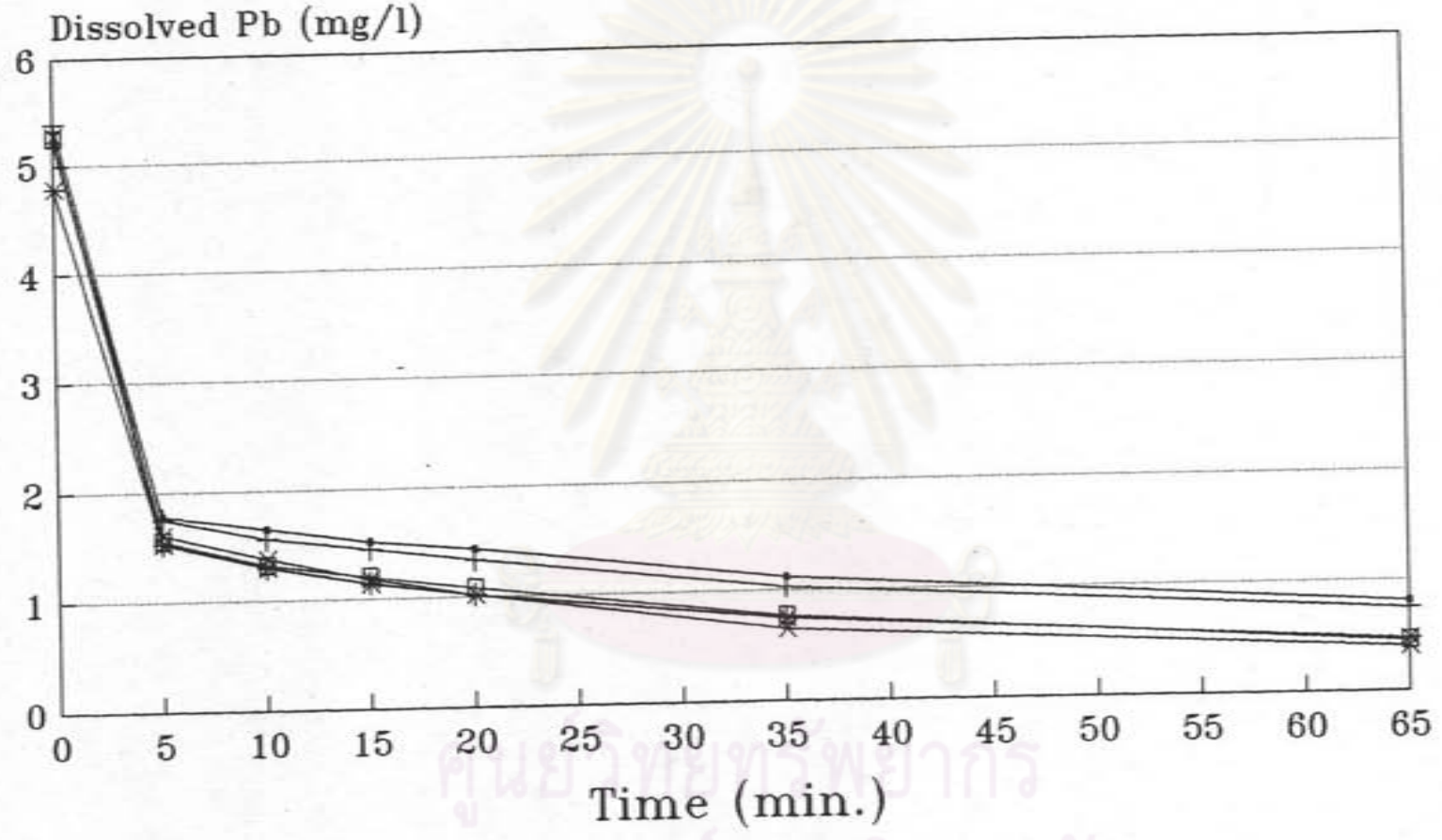
รูปที่ 4.39 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 5 มก./ล. ในรูปตะกั่วทั้งหมด ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม.



รูปที่ 4.40 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 5 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม.

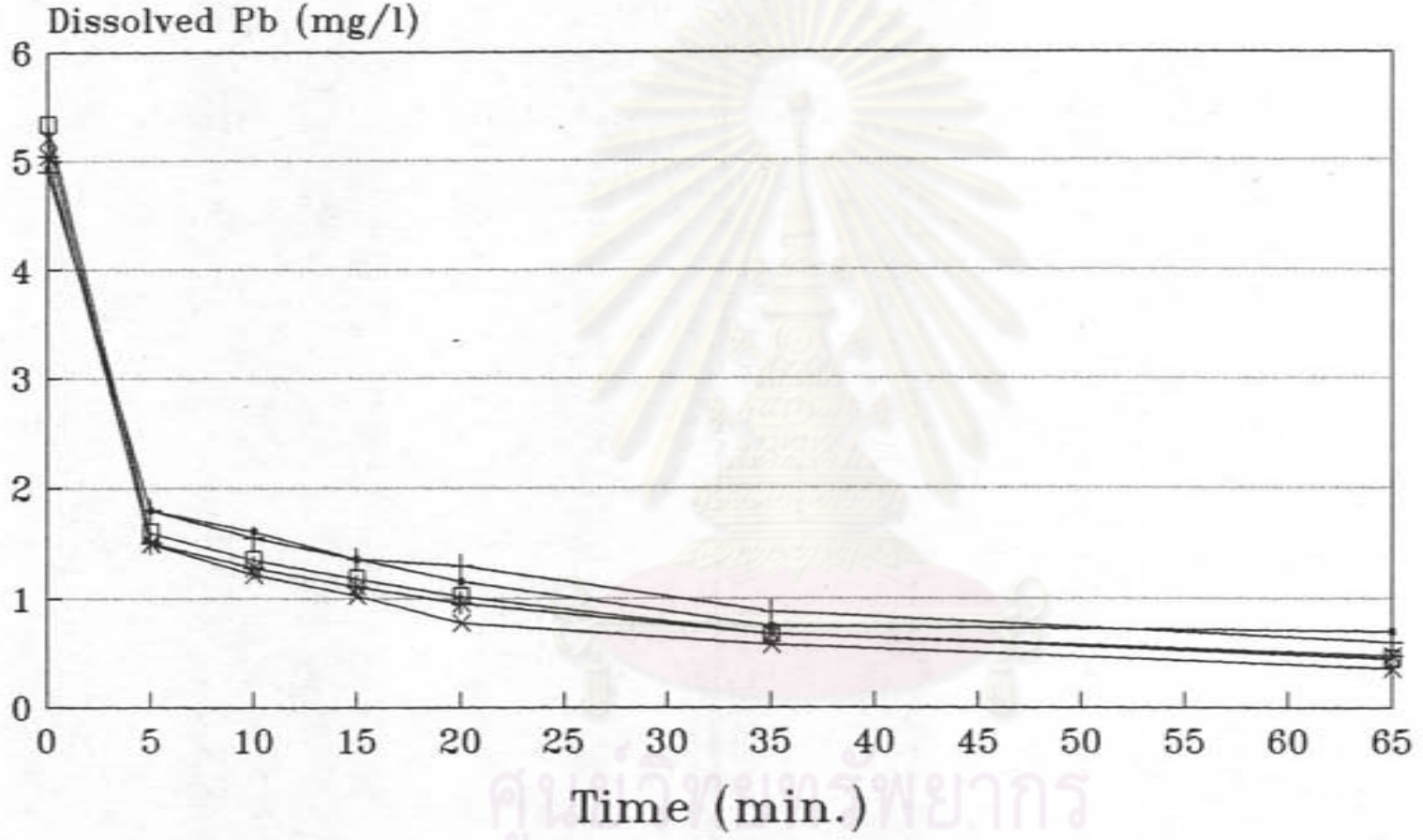


รูปที่ 4.41 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 5 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม.



รูปที่ 4.42 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 5 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.43 ผลการกำจัดละลายความเข้มข้น 5 มก./ล.ในรูปละลายที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม.

ยืนยันได้ว่าที่พีเอช 9.5 นี้เหมาะสมต่อการเปลี่ยนรูปของตะกั่วมากที่สุด และจากการศึกษาความสูงของทรายที่มีผลต่อการกำจัดตะกั่ว พบว่ามีความสัมพันธ์ในลักษณะเดียวกับความเข้มข้นตะกั่ว 10 มก./ล. คือ ตะกั่วที่มีความเข้มข้นต่ำ ความสูงของทรายมีผลต่อการเพิ่มการกำจัดน้อยมาก จะเห็นได้จากที่พีเอช 9.5 ความสูงทราย 1.5 และ 2.0 ม. น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดใกล้เคียงกันมาก คือ 0.55 และ 0.50 มก./ล. และเช่นเดียวกันการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมากรองอีกครั้ง จะทำให้ปริมาณตะกั่วลดลง คือมีปริมาณตะกั่วเท่ากับ 0.40 และ 0.36 มก./ล. ที่ความสูงทราย 1.5 และ 2.0 ม.

4.2.5.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว

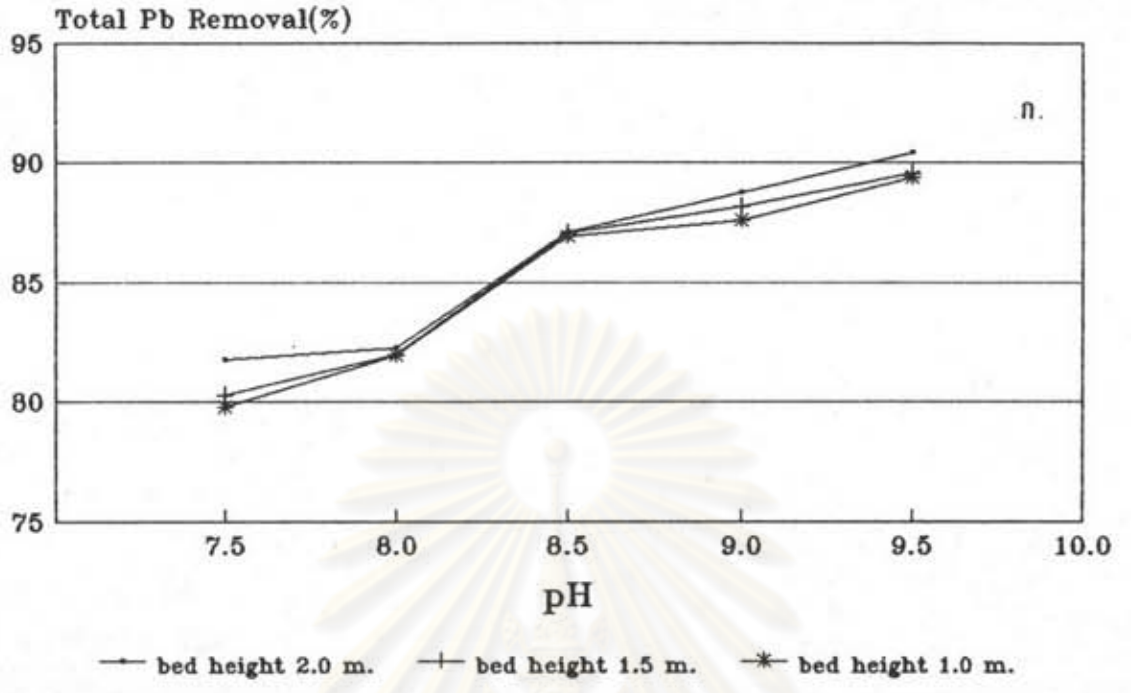
จากรูปที่ 4.44 พบว่า ประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดตะกั่วในรูปตะกั่วทั้งหมดและตะกั่วละลาย คือ 90.40 และ 93.09% ที่สภาวะที่เหมาะสม คือ พีเอช 9.5 และความสูงทราย 2.0 ม. โดยสามารถลดปริมาณตะกั่วเริ่มต้น 5.21 มก./ล. เหลือปริมาณตะกั่ว 0.50 มก./ล. และเมื่อนำมาผ่านการกรองมีปริมาณตะกั่วเพียง 0.36 มก./ล.

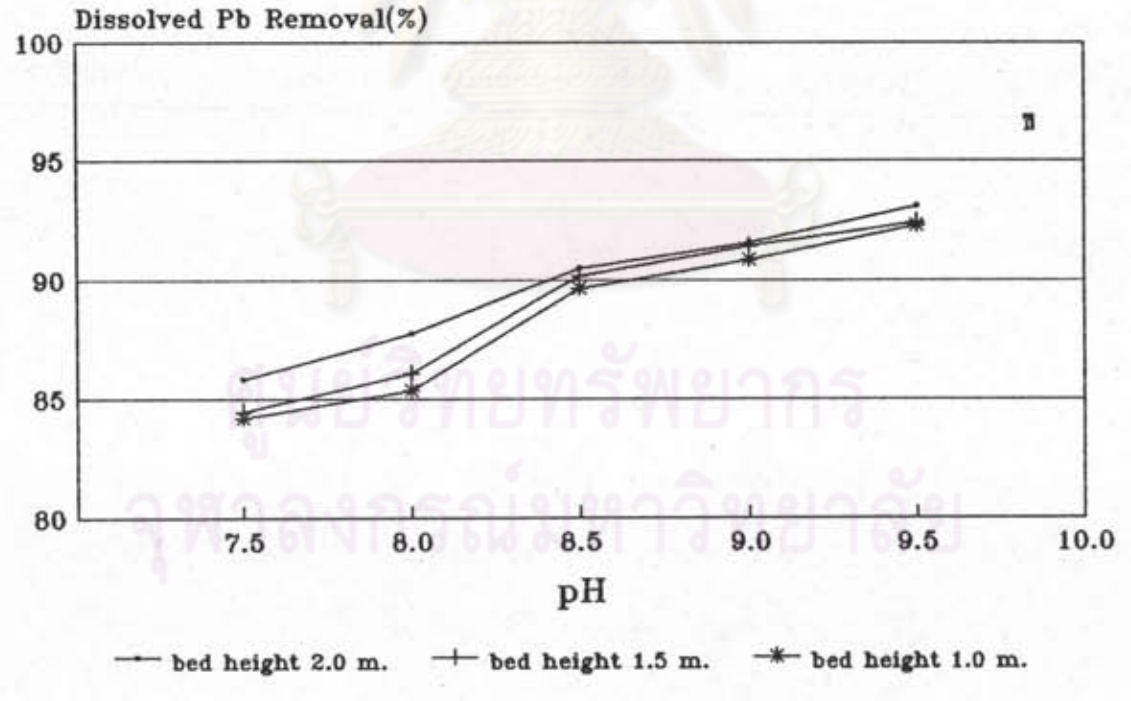
4.2.5.3 ผลของพีเอชและความสูงของทรายกับปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

จากรูปที่ 4.45 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและความสูงของทรายกับปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ตะกั่วความเข้มข้น 5 มก./ล. ยังคงมีความสัมพันธ์ในลักษณะเดียวกับตะกั่วที่ความเข้มข้นอื่น คือปริมาณของแข็งแขวนลอยจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มพีเอช แต่จะเห็นค่าความแตกต่างระหว่างพีเอชค่อนข้างน้อย และที่พีเอชเท่ากัน แต่ความสูงของทรายต่างกัน ที่ความสูงทราย 2.0 ม. ยังคงมีปริมาณของแข็งแขวนลอยน้อยกว่าที่ความสูงของทราย 1.5 และ 1.0 ม.

4.2.5.4 ผลของพีเอชกับความเป็นด่างทั้งหมด

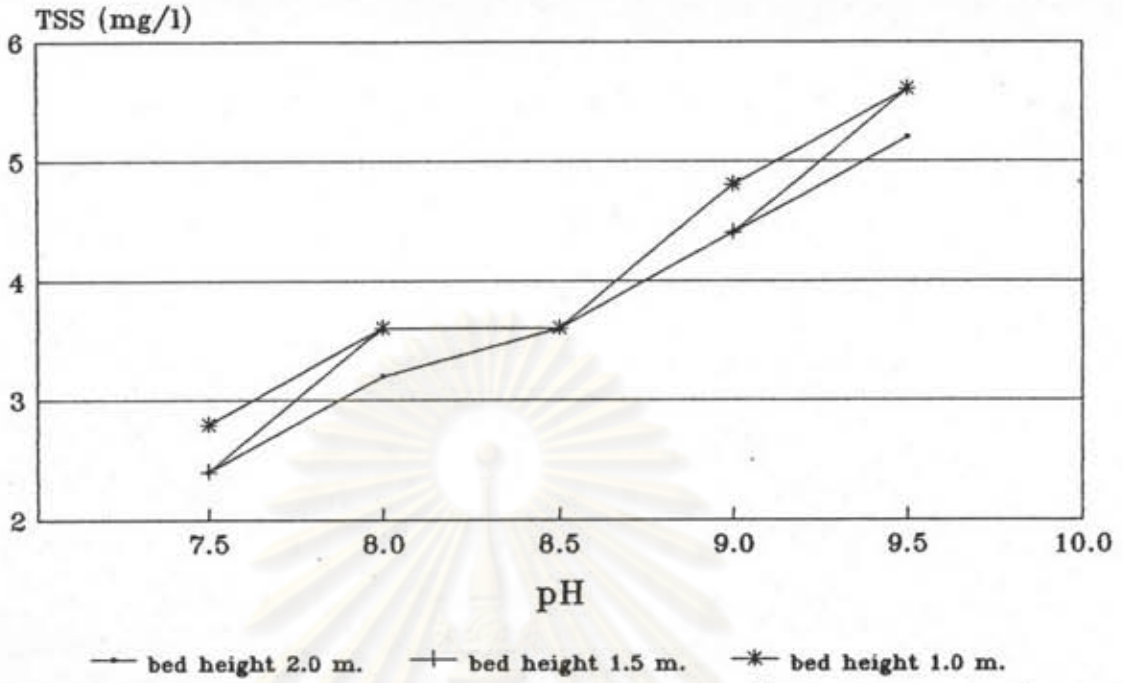
จากรูป 4.46 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับความเป็นด่างทั้งหมดของการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 5 มก./ล.มีลักษณะเดียวกันกับความสัมพันธ์



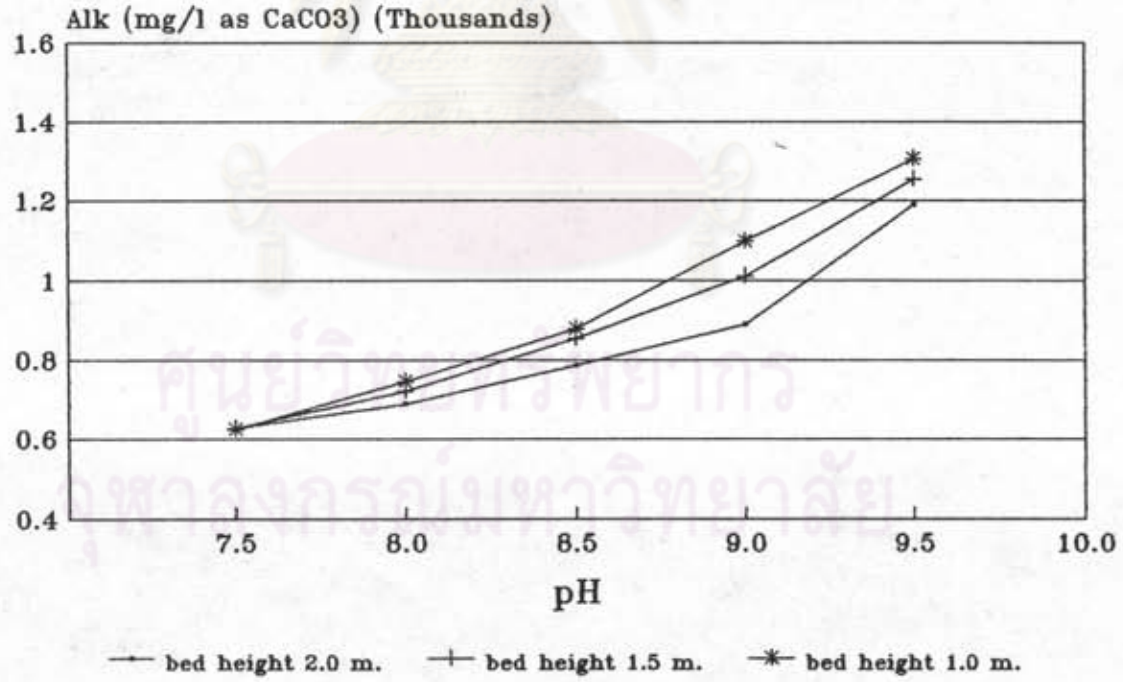


รูปที่ 4.44 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว 5 มก./ล.ที่เวลา 65 นาที พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม

ก.ตะกั่วทั้งหมด ข.ตะกั่วละลาย



รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในการกำจัดตะกั่ว 5 มก./ล.ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม.



รูปที่ 4.46 ผลการเปลี่ยนแปลงความเป็นด่างในการกำจัดตะกั่ว 5 มก./ล. ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม.

ของตะกั่วที่ความเข้มข้นอื่น คือ มีค่าความเป็นด่างเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มค่าพีเอช และที่พีเอช 9.5 มีค่าความเป็นด่างเท่ากับ 1200-1300 มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต

จากการกำจัดตะกั่วโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด ที่สภาวะที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าการกำจัดตะกั่วที่ทุกความเข้มข้น ที่เวลาในการทดลองของแต่ละสภาวะที่ทำการศึกษา 65 นาที ยังคงให้ค่าปริมาณตะกั่วในน้ำที่ผ่านการบำบัดทั้งในรูปตะกั่วทั้งหมดและในรูปตะกั่วละลาย เกินค่ามาตราฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งกำหนดให้มีปริมาณตะกั่วในน้ำทิ้งได้ไม่เกิน 0.2 มก./ล. การกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้นสูง คือ 200, 100 และ 50 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วในรูปตะกั่วทั้งหมด 40-70 % ซึ่งน้อยกว่าประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้นต่ำคือ 10 และ 5 มก./ล. ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัด 90 % ขึ้นไป สภาวะของกระบวนการที่ทำการศึกษานี้สามารถกำจัดตะกั่วที่มีความเข้มข้นต่ำได้ดีกว่าตะกั่วที่มีความเข้มข้นสูง เนื่องจากปัจจัยต่างๆที่จะมีผลต่อการกำจัดตะกั่วโดยกระบวนการนี้ ยังไม่เหมาะสม เช่น ขนาดของทราย ความสูงของอนุภาค และความเร็วน้ำไหลขึ้น จึงมีผลให้ตะกั่วที่มีความเข้มข้นมาก เมื่อทำปฏิกิริยากับโซดาแอชที่ใช้ในการปรับพีเอชเพื่อให้อยู่ในสภาพที่เป็นด่าง ตะกั่วที่อยู่ในสถานะละลายจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นสถานะแขวนลอย และจะต้องตกผลึกบนผิวอนุภาคของทราย ในปริมาณที่มากกว่าตะกั่วที่มีความเข้มข้นน้อย ถ้าปัจจัยดังที่กล่าวไว้ข้างต้นไม่เหมาะสม จะทำให้มีโอกาสที่ผลึกของสารประกอบตะกั่วคาร์บอเนตที่จะเกิดขึ้น หลุดออกจากเม็ดทรายได้มากกว่าตะกั่วที่มีความเข้มข้นน้อย

อย่างไรก็ตาม การกำจัดตะกั่วโดยกระบวนการนี้ พบว่าใช้เวลาในการกำจัดน้อยกว่าการกำจัดตะกั่วโดยวิธีการทำให้ตกตะกอนมาก จะเห็นได้ว่าที่เวลาเริ่มต้นเมื่อสารเคมีผสมกับตะกั่ว จะมีการเปลี่ยนรูปของตะกั่วจากสถานะละลายมาอยู่ในสถานะแขวนลอย และตกผลึกบนเม็ดทรายโดยทันที ความชันของกราฟของการกำจัดตะกั่วที่ทุกความเข้มข้น ในช่วง 0 - 5 นาทีแรกมีค่ามาก แสดงว่าในช่วงเวลานี้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยามากที่สุด ปริมาณตะกั่วที่ลดลงเมื่อเทียบกับช่วงเวลามีค่ามากที่สุด เนื่องจากปริมาณตะกั่วจะถูกกำจัดออกจากน้ำเสีย โดยเปลี่ยนจากตะกั่วที่ละลายอยู่ในน้ำเสียไปอยู่ในรูปของตะกั่วคาร์บอเนตซึ่งจะตกผลึกบนเม็ดทราย ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจึงมีค่าลดลง และเมื่อเวลาที่มากขึ้นมีการกำจัดตะกั่วได้ดีขึ้น ก็เนื่องมาจากผลึกตะกั่วคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นก่อนจะเป็นตัวชักนำทำให้การเกิดผลึกเร็วขึ้น ทรายที่มีผลึกตะกั่วคาร์บอเนตเกาะอยู่ จะมีขนาดใหญ่ขึ้น

เมื่อดำเนินการต่อไปจะมีผลให้การขยายตัวของชั้นทรายลดลง ทำให้สภาวะของการเกิดสภาพเสมือนของไหลไม่เหมาะสม นอกจากนี้ทรายที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ก็จะมีพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาลดลง จึงต้องมีการนำทรายที่มีขนาดใหญ่นี้ออก และเติมทรายใหม่เข้าไปทดแทน เพื่อที่จะให้ระบบนี้มีสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดมากที่สุด ส่วนการกำจัดตะกั่วโดยวิธีการทำให้ตกตะกอน เมื่อมีการผสมระหว่างสารเคมีและน้ำเสีย โดยกระบวนการกวนเร็วและกวนช้าแล้วยังต้องมีกระบวนการตกตะกอน เพื่อที่จะแยกส่วนของน้ำใสและตะกอนที่เกิดขึ้นออกจากกัน ซึ่งในส่วนนี้จะต้องใช้เวลามาก ในขณะที่การกำจัดตะกั่วโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดนั้น ปริมาณตะกั่วจะถูกกำจัดโดยทันทีเมื่อมีการผสมระหว่างสารเคมีและน้ำเสียเกิดขึ้น การดำเนินการของระบบใช้เวลาน้อย เมื่อทำการกำจัดตะกั่วโดยกระบวนการนี้แล้ว ก็เหลือแต่นำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาผ่านกระบวนการกรอง ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดให้มากขึ้น เนื่องจากในส่วนนี้จะเป็นการกำจัดตะกั่วละลายที่เปลี่ยนรูปเป็นตะกั่วแขวนลอย แต่ไม่ได้เกิดเป็นผลึกบนเม็ดทราย ทำให้น้ำที่ผ่านการกรองแล้วมีปริมาณตะกั่วลดลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย