การกำจัดตะกั่วโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด

นางสาว อัญชลี เจตน์สัมฤทธิ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-460-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018534 ๑๓๑๘๖๙๙๔

LEAD REMOVAL BY CRYSTALLIZATION IN FLUIDIZED BED PROCESS

MISS UNCHALEE JETSUMRIT

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Environmental Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1992

ISBN 974-581-460-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดตะกั่วโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด
โดย	นางสาว อัญชลี เจดน์สีมฤทธิ์
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิรักษ์ สุจริตลานนท์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์นันธ์ ลิมปเสนีย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตลานนท์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพนรรฆ นรประภา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

อัญชลี เจตน์สัมฤทธิ์ : การกำจัดตะกั่วโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด
(LEAD REMOVAL BY CRYSTALLIZATION IN FLUIDIZED BED PROCESS)
อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์, 138 หน้า. ISBN 974-581-460-1

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด ทำการศึกษาที่ระดับความเข้มข้นตะกั่ว 200,100,50,10,5 มก./ล. สภาวะที่ทำการศึกษาคือ พีเอช และความสูงของทราย สารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอชคือ โซดาแอช ทำการศึกษาที่พีเอช 7.5-9.5 และความสูงของทราย 1.0-2.0 ม. โดยใช้ทรายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.85-1.20 มม. ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้นเท่ากับ 1.5 เท่าของความเร็วต่ำสุดของการเกิดสภาวะเสมือนของไหล

ผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว คือ พีเอช 9.5 และความสูงของทราย 2.0 ม. ที่ความเข้มข้นของตะกั่ว 200,100 และ 50 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดในรูปตะกั่วทั้งหมดเท่ากับ 44.50,58.89 และ 67.96% และในรูปตะกั่วละลาย ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดเพิ่มขึ้น คือ 99.64, 99.11 และ 98.88% ตามลำดับ ส่วนตะกั่วความเข้มข้น 10 และ 5 มก./ล. สภาวะเหมาะสมที่มีผลต่อการกำจัดมากที่สุดคือ พีเอช ส่วนความสูงของทรายมีผลต่อการเพิ่มการกำจัดน้อยมาก สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 และ 5 มก./ล. คือ พีเอช 9.5 และความสูงทราย 2.0 ม. ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดในรูปตะกั่วทั้งหมดเท่ากับ 90.05 และ 90.40% และประสิทธิภาพในการกำจัดในรูปตะกั่วละลายเท่ากับ 98.17 และ 98.09% ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต อัญชลี เจตน์สัมฤทธิ์
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2534 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C216459 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD : LEAD REMOVAL/CRYSTALLIZATION/FLUIDIZED BED

UNCHALEE JETSUMRIT : LEAD REMOVAL BY CRYSIALLIZATION IN FLUIDIZED BED PROCESS. THESIS ADVISOR : ASSI. PROF. SUTHIRAK SUJARITTANONTA, Ph.D. 138 pp. ISBN 974-581-460-1

In this study, lead removal efficiency and optimum condition for removal by crystallization in fluidized bed process had been determined. Experiment had been performed at lead concentration 200,100,50 10 and 5 mg./l. with varied pH and sand bed height. Soda ash was used for pH adjustment. Fluidized bed composed of sand diameter 0.85 - 1.20 mm. with upflow velocity 1.5 times minimum fluidizing velocity.

Experiment revealed that, at lead concentration 200,100 and 50 mg./l., suitable condition were at pH 9.5 and 2.0 m. bed height. Removal efficiency in form of total lead were 44.50, 58.89 and 67.95% and increased to be 99.54, 99.11 and 98.88% in form of dissolved lead removal. At lead concentration 10 and 5 mg./l pH had great effect on removal efficiency, otherwise, bed height had less effect. At suitable condition pH 9.5 and 2.0 bed height, efficiency by total lead removal were 90.05 and 90.40% and increased to be 98.17 and 98.09% dissolved lead removal.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต อัญชลี เจตน์สัมฤทธิ์
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2534 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์ เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ ทุกๆ ท่าน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ แก่การวิจัย และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้ บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มา ณ.ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุขแห่งชาติ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ Atomic Absorption Spectrophotometer

ขอขอบคุณคุณวีรศักดิ์ วิชชาชู คุณสัมฤทธิ์ กีรติเรืองรอง คุณอัจฉรา ภู่ประเสริฐ คุณเอื้อมพร อ่อนดำ และคุณลักษมาวัลย์ มั่นเขตวิทย์ ซึ่งได้ช่วยเหลือผู้วิจัยทั้งทางด้านทฤษฎี และ ปฏิบัติ ตลอดการวิจัย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และพี่ ๆ ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ญ
บทที่
1. บทนำ 1
1.1 ทั่วไป 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
2. ทบทวนเอกสาร
2.1 ตะกั่ว 3
2.1.1 สมบัติทั่วไปของตะกั่ว 3
2.1.2 ตะกั่วในน้ำเสีย 3
2.1.3 วิธีกำจัดตะกั่วในน้ำเสีย 7
2.2 การกำจัดโลหะหนักโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด 9
2.2.1 ลักษณะทั่วไปของระบบ 9
2.2.2 ทฤษฎี 12
2.2.3 ฟลูอิดไดเซชัน 14
2.3 การศึกษาวิจัยที่ผ่านมา 22

บทที่ หน้า

3. การดำเนินการวิจัย 24
3.1 ลำดับการทดลอง 24
3.2 พารามิเตอร์ในการทดลอง 25
3.3 วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย 26
3.4 การดำเนินการทดลอง 30
3.5 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำ..... 31
4. ผลการทดลอง และวิจารณ์..... 33
4.1 การหาค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดสภาวะเหมือนของไหล 33
4.2 ผลการทดลองการกำจัดตะกั่วโดยการตกผลึก
ในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด 35
4.2.1 การกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 200 มก./ล..... 35
4.2.2 การกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 100 มก./ล..... 46
4.2.3 การกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 50 มก./ล..... 57
4.2.4 การกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มก./ล..... 67
4.2.5 การกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 5 มก./ล..... 79
5. สรุปผลการทดลอง..... 92
6. ข้อเสนอแนะในการวิจัย..... 94
บรรณานุกรม..... 95
ภาคผนวก ก. 97
ภาคผนวก ข. 100
ประวัติผู้วิจัย..... 138

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท 5

2.2 สรุปรายงานการกำจัดตะกั่ว และประสิทธิภาพการกำจัด 10

2.3 Solubility products 15

2.4 Numerical examples of the selection of the recirculation ratio 15

2.5 Process conditions and results..... 23

3.1 พารามิเตอร์ที่แปรเปลี่ยนในการวิจัย 25

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 27

3.3 รายละเอียดการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำ และการเก็บตัวอย่างน้ำ 31

4.1 สรุปผลการกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดที่สภาวะต่างๆ..... 36

4.2 สรุปผลการกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดที่สภาวะต่างๆ..... 54

4.3 สรุปผลการกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดที่สภาวะต่างๆ..... 65

4.4 สรุปผลการกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดที่สภาวะต่างๆ..... 70

4.5 สรุปผลการกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดที่สภาวะต่างๆ..... 80

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 สมดุลการละลายของตะกั่วที่อุณหภูมิ 25 C ความดันบรรยากาศ 1 Atm ความแรงอิออน 0.00 และ 0.10 6
2.2 FLUIDIZED BED REACTOR 11
3.1 ไดอะแกรมอุปกรณ์การกำจัดตะกั่วโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด.. 28
3.2 แสดงอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 29
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลด (λ P) กับความเร็วของน้ำ(Vel) 34
4.2 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 200 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม. 37
4.3 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 200 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม. 38
4.4 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 200 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม. 39
4.5 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 200 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม. 40
4.6 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 200 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม. 41
4.7 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 200 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม. 42
4.8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว 200 มก./ล.ที่เวลา 65 นาที พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม
ก.ตะกั่วทั้งหมด ข.ตะกั่วละลาย 44
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในการกำจัดตะกั่ว 200 มก./ล.ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม. 45

รูปที่ หน้า

4.23 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 50 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม. 62
4.24 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 50 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม. 63
4.25 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 50 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม. 64
4.26 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว 50 มก./ล.ที่เวลา 65 นาที
พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม
ก.ตะกั่วทั้งหมด ข.ตะกั่วละลาย 66
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในการกำจัดตะกั่ว
50 มก./ล.ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม. 68
4.28 ผลการเปลี่ยนแปลงความเป็นด่างในการกำจัดตะกั่ว 50 มก./ล.
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม. 68
4.29 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม. 71
4.30 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม. 72
4.31 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม. 73
4.32 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม. 74
4.33 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม. 75
4.34 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม. 76

รูปที่ หน้า

4.10 ผลการเปลี่ยนแปลงความเป็นด่างในการกำจัดตะกั่ว 200 มก./ล.
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม. 45
4.11 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 100 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม. 47
4.12 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 100 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม. 48
4.13 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 100 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม. 49
4.14 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 100 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม. 50
4.15 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 100 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม. 51
4.16 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 100 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม. 52
4.17 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว 100 มก./ล.ที่เวลา 65 นาที
พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม.
ก.ตะกั่วทั้งหมด ข.ตะกั่วละลาย 55
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในการกำจัดตะกั่ว
100 มก./ล.ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม. 56
4.19 ผลการเปลี่ยนแปลงความเป็นด่างในการกำจัดตะกั่ว 100 มก./ล.
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม. 56
4.20 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 50 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม. 59
4.21 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 50 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม. 60
4.22 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 50 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม. 61

รูปที่ หน้า

4.35 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว 10 มก./ล.ที่เวลา 65 นาที
พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม
ก.ตะกั่วทั้งหมด ข.ตะกั่วละลาย 77
4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในการกำจัดตะกั่ว
10 มก./ล.ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม. 78
4.37 ผลการเปลี่ยนแปลงความเป็นด่างในการกำจัดตะกั่ว 10 มก./ล.
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม. 78
4.38 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 5 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม. 81
4.39 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 5 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม. 82
4.40 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 5 มก./ล.ในรูปตะกั่วทั้งหมด
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม. 83
4.41 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 5 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0 ม. 84
4.42 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 5 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.5 ม. 85
4.43 ผลการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 5 มก./ล.ในรูปตะกั่วละลาย
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 2.0 ม. 86
4.44 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว 5 มก./ล.ที่เวลา 65 นาที
พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม 88
ก.ตะกั่วทั้งหมด ข.ตะกั่วละลาย
4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในการกำจัดตะกั่ว
5 มก./ล.ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม. 89
4.46 ผลการเปลี่ยนแปลงความเป็นด่างในการกำจัดตะกั่ว 5 มก./ล.
ที่พีเอช 7.5-9.5 ความสูงของทราย 1.0-2.0 ม. 89