

การกำจัดตะกั่ว(+2)และซีเลเนียม(+4)ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกากตะกอนจากการหลอมเหล็ก

นายปริญญา บุญส่งแท้

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1307-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

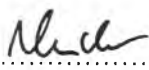
๒๓ ก.ย. ๒๕๔๔

I 20473679

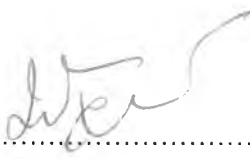
ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

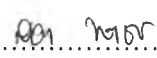
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดตะกั่ว(+2)และซีลีเนียม(+4)ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกากตะกั่วจากการหลอมเหล็ก
โดย	นายปริญญา บุญส่งแท้
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว

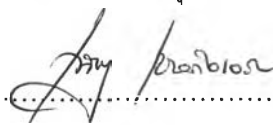
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ออนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


 ..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
 (ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปริญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ..... ประธานกรรมการ  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญยง ไฉ่ห้วงศ์วัฒน์)

 ..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว)

 ..... กรรมการ  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เชาวกิจเจริญ)

 ..... กรรมการ  
 (รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

ปริญญา บุญส่งแท้:การกำจัดตะกั่ว(+2)และซีเลเนียม(+4)ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกาก  
ตะกั่วจากการหลอมเหล็ก. (Removal of Lead(+2) and Selenium(+4) by Slag  
of Blast Furnace from Steel Plant) อาจารย์ที่ปรึกษา:ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.สุธา  
ขาวเขียว,99 หน้า. ISBN 974-03-1307-8

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วและซีเล  
เนียมโดยใช้กากตะกั่วจากการหลอมเหล็กในน้ำเสียสังเคราะห์ จะศึกษาองค์ประกอบของกาก  
ตะกั่ว เวลาสัมผัส พีเอช และไอโซเทอมการดูดติดผิวโดยทำการศึกษาแบบแบดท์ หลังจากนั้น จะ  
นำผลการศึกษาแบบแบดท์มาศึกษาประสิทธิภาพ การกำจัดตะกั่วและซีเลเนียมในคอลัมน์การดูด  
ติดผิว

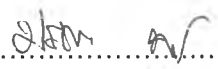
ผลการวิจัยพบว่ากากตะกั่วจากการหลอมเหล็กมีองค์ประกอบจำพวก แคลเซียม  
ซิลิกา และอลูมินาเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งส่วนประกอบดังกล่าวเกิดจากกระบวนการถลุงเหล็กได้มีการ  
เติมปูนขาว เพื่อเป็นตัวช่วยให้เกิดตะกั่ว การดูดติดผิวของตะกั่วและซีเลเนียมจะเข้าสู่สภาวะสม  
ดุลภายในระยะเวลา 5 ชั่วโมง โดยมีพีเอชเป็นตัวแปรที่สำคัญมาก ต่อการกำจัดตะกั่วและ  
ซีเลเนียม กล่าวคือ สำหรับตะกั่ว หากพีเอชน้อยกว่า 5 การกำจัดจะเกิดจากกระบวนการตก  
ตะกอนทางเคมีเป็นสำคัญ ทำให้ประสิทธิภาพ การกำจัดเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชลดลง และหาก  
พีเอชมากกว่า 5 การกำจัดตะกั่วจะเกิดจากกระบวนการดูดติดผิวเป็นสำคัญ ซึ่งการกำจัดตะกั่วจะ  
เพิ่มขึ้นเมื่อ พีเอชเพิ่มขึ้น โดยที่พีเอช 5 จะมีประสิทธิภาพการกำจัดต่ำสุด สำหรับการกำจัด  
ซีเลเนียมของกากตะกั่ว จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อพีเอชลดลง โดยเมื่อพีเอชมากกว่า 5 ประ  
สิทธิภาพจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งการกำจัดของซีเลเนียมจะเกิดจาก 2 กระบวนการได้แก่ การดูด  
ติดผิวและการตกตะกอนเคมี สำหรับการดูดติดผิวของตะกั่วและซีเลเนียม จะเป็นไปตาม  
ไอโซเทอมการดูดติดผิวของฟรอนดลิช ซึ่งแสดงว่าการดูดติดผิวเกิดจากกากตะกั่วแสดงคุณสมบัติ  
ผิวเชิงซ้อน(Heterogeneous Surface Properties)


ผลการทดลองในคอลัมน์ดูดติดผิวพบว่า ระยะเวลาการเบรคทูร์จจะประมาณ 20-25 %  
เทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....

ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนิสิต ..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

# # 4170405221: MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: HEAVY METALS/LEAD/SELENIUM/SLAG/ADSORPTION

PARINYA BOONSONGTHAE: REMOVAL OF LEAD (+2) AND SELENIUM (+4) BY  
SLAG OF BLAST FURNACE FROM STEEL PLANT. THESIS ADVISOR:  
ASSIST.PROF.SUTHA KHAODHIAR, 99 PP. ISBN 974-03-1307-8

This research investigated the removal of lead and selenium from synthetic wastewater using blast-furnace slag from steel plant. The objectives were to investigate composition of slag, suitable contact time and pH for removal lead and selenium in batch process. The results from batch experiments were used to set up the adsorptive adsorption study.

The compositions of slag are mainly calcium, silica and alumina that came from mining process. Lime was added as slag forming agent. For batch process, lead and selenium adsorption equilibrium were reach in less than 5 hrs. Solution pH is important parameter effecting both lead and selenium adsorption. Lead reacts and forms precipitate with slag at pH less than 5, and the removal efficiency increase with decreasing pH. So at pH 5, the efficiency of lead removal by slag is minimal. On the other hand, selenium adsorption by slag decreases with increasing pH. When the solution pH was higher 5, the efficiency is drastically decreased. There are 2 processes that contribute to selenium removal from solution by slag, chemical precipitation and adsorption. The adsorption of both lead and selenium can be well modeled by Freundlich equation.

For adsorptive column study, breakthrough time around 20-25% compare with the number calculated from theory.

Department Environmental Engineering

Student's signature.....  .....

Field of Study Environmental Engineering

Advisor's signature.....  .....

Academic year 2001....

Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้แนะนำแนวทางและข้อคิดเห็นต่าง ๆ แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมูลนิธิชิน โสภณพานิชที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ช่วยชี้แนะแนวทางตลอดจนให้คำปรึกษา ทั้งในทางปฏิบัติและทางทฤษฎีอย่างเต็มที่

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเครื่องมือ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่คอยให้คำแนะนำและให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณที่กิตติที่ให้โอกาสให้ผู้วิจัยทำงานพร้อมกับเรียนไปด้วยได้ ขอขอบคุณ พี่เสถียร พี่พรทิพา และผู้บริหาร โรงงานกระดาษไทยอาซาฮี จำกัด(มหาชน) ที่ให้กำลังใจ และให้คำแนะนำทั้งในเรื่องการทำงาน การทำวิจัยควบคู่กันไป ทำให้ผู้วิจัยสามารถทำงานและเรียนไปด้วยได้อย่างเต็มที่

ขอบคุณ น้องเอ๋ และเพื่อน ๆ ที่ให้การช่วยเหลือผู้วิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ ผู้มีพระคุณสูงสุดต่อผู้วิจัยที่ให้กำลังใจยามมีปัญหา และให้ทุกสิ่งทุกอย่างแก่ผู้วิจัย ขอพระคุณ คุณพ่อ พี่แอน พี่ไฉคที่คอยช่วยเหลือที่คอยผลักดันและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา

ปริญญา บุญสงแท้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 โลหะหนัก .....	4
2.1.1 ตะกั่ว.....	6
2.1.2 ซีลีเนียม.....	9
2.2 เทคนิคการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย.....	10
2.2.1 การตกตะกอนทางเคมี.....	11
2.2.2 การระเหย .....	12
2.2.3 การแลกเปลี่ยนไอออน.....	12
2.2.4 ออสโมซิสย้อนกลับ.....	12
2.2.5 อิเล็กโตรไดอะไลซิส.....	13
2.2.6 การสกัดกลับด้วยไฟฟ้า.....	13
2.2.7 ออกซิเดชัน-รีดักชัน .....	13
2.2.8 การสกัดด้วยตัวทำละลาย.....	13
2.2.9 การดูดติดผิว.....	13
2.3 การดูดติดผิว.....	14
2.3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิว.....	19

สารบัญ(ต่อ)

ช

หน้า

2.4 การดูดติดผิวไฮออนบวกของไฮดรอสไลอะออกไซด์.....	21
2.5 คอลลิเม้นต์ดูดติดผิว.....	26
2.5.1 เขตการถ่ายเทมวล.....	26
2.5.2 ลักษณะเบรคทิวซ์.....	27
2.6 ประโยชน์ของสารดูดติดผิว.....	28
2.7 กากตะกอนจากการหลอมเหล็ก.....	29
2.8 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	36
3.1 สถานที่ทำการวิจัย .....	36
3.2 แผนการทดลอง.....	36
3.3 การเตรียมการทดลอง.....	36
3.3.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์.....	36
3.3.2 การเตรียมตัวกลาง.....	37
3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	38
3.5 ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง.....	42
3.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	45
3.7 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	45
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	46
4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมี ของกากตะกอนจากการหลอมเหล็ก.....	46
4.2 ผลของการหาเวลาที่ใช้ที่สภาวะสมดุลของการกำจัด ตะกั่วและซีลีเนียม ต่อกากตะกอนจากการหลอมเหล็ก.....	48
4.3 การศึกษาผลกระทบของพีเอชต่อการกำจัดตะกั่วและซีลีเนียม ของกากตะกอนจากการหลอมเหล็ก.....	49
4.4 การศึกษาผลของปริมาณกากตะกอน , ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว และซีลีเนียม ในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการดูดติดผิว .....	55
4.5 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดติดผิว ของกากตะกอนต่อตะกั่วและซีลีเนียม ณ ค่าพีเอชต่าง ๆ .....	62



4.6 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและซีลีเนียม	
ในคอลัมน์การดูดติดผิว ซึ่งมีการป้อนน้ำเสียเข้าอย่างต่อเนื่อง.....	56
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	70
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	70
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	71
รายการอ้างอิง.....	72
ภาคผนวก .....	76
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	97

ตารางที่ 2.1	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่มที่ใช้.....	5
ตารางที่ 2.2	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตะกั่วและสารประกอบ.....	6
ตารางที่ 2.3	แสดงระดับอันตรายของตะกั่วที่มีผลต่อมนุษย์ .....	8
ตารางที่ 2.4	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี ของซีเลเนียมและสารประกอบ.....	9
ตารางที่ 2.5	แสดงประเภทของจุดสมมูลของการดูดติดผิวในการเกิด สารประกอบเชิงซ้อนที่พื้นผิว.....	24
ตารางที่ 2.6	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของกากตะกั่วจากการหลอมเหล็ก.....	30
ตารางที่ 2.7	แสดงคุณสมบัติทางเคมีของกากตะกั่วจากการหลอมเหล็ก.....	30
ตารางที่ 3.1	แสดงการกระจายตัวขนาดอนุภาคของกากตะกั่วจากการหลอมเหล็ก.....	37
ตารางที่ 4.1	แสดงค่าองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกั่วจากการหลอมเหล็ก.....	47
ตารางที่ 4.2	แสดงระยะเวลาการเบรคทروجที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณ ของตะกั่วและซีเลเนียมที่พีเอช 5 และพีเอช 7.....	68

รูปที่ 2.1	การกระจายโมเลกุลระหว่างของเหลวและพื้นผิวของแข็ง.....	14
รูปที่ 2.2	แสดงขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารดูดติดผิว.....	16
รูปที่ 2.3	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพื้นฐาน.....	17
รูปที่ 2.4	ผลของพีเอชต่อการดูดติดผิวของตะกั่วบน Geothite.....	21
รูปที่ 2.5	แสดงตัวอย่างการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่พื้นผิว.....	23
รูปที่ 2.6	แสดง Electrical Double Layer Model : รูปแบบของพื้นผิว Silicate in an Electrolyte.....	24
รูปที่ 2.7	แสดงเขตการถ่ายเทมวลในคอลัมน์ดูดติดผิว.....	26
รูปที่ 2.8	เขตการถ่ายเทมวลของอัตราการไหลที่ต่างกัน.....	27
รูปที่ 2.9	แสดงเส้นโค้งเบรคทروجในคอลัมน์ดูดติดผิว.....	28
รูปที่ 2.10	แสดงกระบวนการถลุงเหล็ก.....	29
รูปที่ 3.1	แสดงกากตะกั่วจากการหลอมเหล็กที่ใช้ในการทดลอง.....	38
รูปที่ 4.1	แสดงภาพกากตะกั่วจากการหลอมเหล็กจากกล่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ที่กำลังขยาย 200 เท่า.....	46
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเขย่าและร้อยละ ของการดูดติดผิวของตะกั่วบนกากตะกั่วจากการหลอมเหล็ก.....	48
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเขย่าและร้อยละ ของการดูดติดผิวของซีเลเนียมบนกากตะกั่วจากการหลอมเหล็ก.....	49
รูปที่ 4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์พีเอชและร้อยละของการดูดติดผิวของ ตะกั่วบนกากตะกั่วจากการหลอมเหล็ก.....	50
รูปที่ 4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์พีเอชและร้อยละของการดูดติดผิวของ ซีเลเนียมบนกากตะกั่วจากการหลอมเหล็ก.....	50
รูปที่ 4.6	แสดงรูปกากตะกั่วจากกล่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนหลังผ่านการบำบัด จากน้ำเสียตะกั่วสังเคราะห์ที่พีเอช 7 และพีเอช 3.....	52
รูปที่ 4.7	แสดงรูปกากตะกั่วจากกล่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนหลังผ่านการบำบัด จากน้ำเสียซีเลเนียมสังเคราะห์ที่พีเอช 7 และ พีเอช 3.....	53
รูปที่ 4.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว ที่ปริมาณกากตะกั่ว 2 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10, 7, 5, 2 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	55

รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว ที่ปริมาณกากตะกั่ว 1.5 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10, 7, 5, 2 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	56
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว ที่ปริมาณกากตะกั่ว 1 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10, 7, 5, 2 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	56
รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว ที่ปริมาณกากตะกั่ว 0.5 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10, 7, 5, 2 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	57
รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีเลเนียมที่ปริมาณกากตะกั่ว 2 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10, 7, 5, 2 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	57
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีเลเนียมที่ปริมาณกากตะกั่ว 1.5 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10, 7, 5, 2 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	58
รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีเลเนียมที่ปริมาณกากตะกั่ว 1.0 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10, 7, 5, 2 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	58
รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีเลเนียมที่ปริมาณกากตะกั่ว 0.5 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10, 7, 5, 2 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	59
รูปที่ 4.16 แสดงความหนาแน่นของการดูดติดผิวของตะกั่ว ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ .....	61
รูปที่ 4.17 แสดงความหนาแน่นของการดูดติดผิวของซีเลเนียม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ.....	61
รูปที่ 4.18 แสดงฟรอนดลิกซ์ ไอโซเทอมของตะกั่วที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	62
รูปที่ 4.19 แสดงแลงมัวร์ไอโซเทอมของตะกั่วที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	63
รูปที่ 4.20 แสดงฟรอนดลิกซ์ไอโซเทอมของซีเลเนียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	63
รูปที่ 4.21 แสดงแลงมัวร์ไอโซเทอมของซีเลเนียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	64
รูปที่ 4.22 แสดงรูปอุปกรณ์การทดลองศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและซีเลเนียม ในคอลัมน์การดูดติดผิว.....	66
รูปที่ 4.23 แสดงกราฟเบรคทรูจ์ของตะกั่วที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5 และ 7 ที่อัตราการไหล 7.65 มลต่อนาที.....	67
รูปที่ 4.23 แสดงกราฟเบรคทรูจ์ของซีเลเนียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5 และ 7 ที่อัตราการไหล 7.65 มลต่อนาที.....	67