

ผลของการปรับภาวะด้วยสารเคมีต่อความต้านทานจำเพาะต่อการกรอง  
ของตะกอนสารส้มจากโรงกรองน้ำประปา

นาย อตพล กนกรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

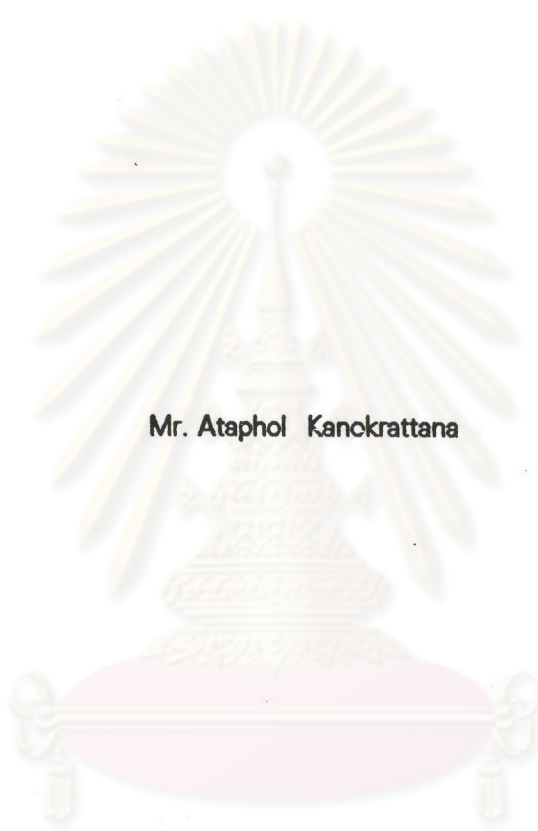
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974 - 635 - 741 - 7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF CHEMICAL CONDITIONING ON SPECIFIC RESISTANCE OF  
ALUM SLUDGE FILTRATION FROM WATER TREATMENT PLANTS



Mr. Ataphol Kanokrattana

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

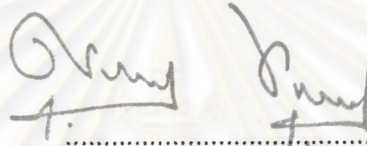
Academic Year 1996

ISBN 974 - 635 - 741 - 7

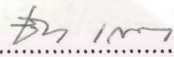
หัวข้อวิทยานิพนธ์      ผลของการปรับภาวะด้วยสารเคมีต่อความต้านทานจำเพาะ  
ต่อการกรองของตะกอนสารส้มจากโรงกรองน้ำประปา  
โดย                              นาย อตพล กนกรัตนา  
ภาควิชา                            วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา              ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรทัย ขวาลภาฤทธิ์

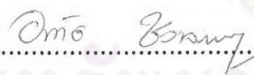
---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

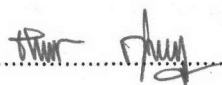
  
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
( ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระ เกรอต )

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรทัย ขวาลภาฤทธิ์ )

  
.....กรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ )

  
.....กรรมการ  
( อาจารย์ ชัยพร ภูประเสริฐ )

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

อตพล กนกรัตน์ : ผลของการปรับภาวะด้วยสารเคมีต่อความต้านทานจำเพาะต่อ  
การกรองของตะกอนสารส้มจากโรงกรองน้ำประปา (EFFECT OF CHEMICAL  
CONDITIONING ON SPECIFIC RESISTANCE OF ALUM SLUDGE FILTRATION FROM  
WATER TREATMENT PLANTS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. อรทัย ขวาลภาฤทธิ์, 168 หน้า  
ISBN 974-635-741-7

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการปรับภาวะด้วยสารเคมีต่อความต้านทานจำเพาะต่อ  
การกรองของตะกอนสารส้มจากโรงกรองน้ำประปา เมื่อใช้ปูนขาวร่วมกับสารโพลีอิเล็กโทรไลต์  
ชนิดประจุลบ ชนิดประจวบ และ ชนิดไม่มีประจุ ปรับปรุงลักษณะตะกอนสารส้ม ที่ระดับ  
ความเข้มข้นของตะกอน 2 %, 4 % และ 6 % ของปริมาณของแข็งทั้งหมด ตะกอนสารส้มดังกล่าว  
นำมาจากถังตกตะกอนของโรงกรองน้ำบางเขน ทำการทดลองที่พีเอช 7 - 11 และนำมาทดลอง  
ด้วยวิธีการกรองผ่านกรวยบุคเนอร์ เพื่อหาค่าความต้านทานจำเพาะต่อการกรองและยิลด์ของตะกอน  
โดยเลือกค่าความต้านทานจำเพาะต่อการกรองต่ำสุดและค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี

จากผลการทดลอง พบว่าการใช้ปูนขาวร่วมกับสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุลบเป็น  
สารปรับสภาพตะกอนที่ดีที่สุด ค่าพีเอชที่เหมาะสมคือพีเอช 9 ที่ระดับความเข้มข้นของตะกอน  
4% ของปริมาณของแข็งทั้งหมด โดยใช้สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุลบในปริมาณ 0.03%  
ของปริมาณของแข็งทั้งหมดในตะกอน จะได้ค่าความต้านทานจำเพาะต่อการกรองต่ำสุด เท่ากับ  
 $8.51 \times 10^{11}$  ม./กก. ยิลด์ของตะกอน 19.03 กก./ม<sup>2</sup>-ชม. ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี 3.14 บาทต่อการ  
ปรับสภาพตะกอน 1 ลูกบาศก์เมตร ส่วนการใช้ปูนขาวร่วมกับสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุ  
บวก และปูนขาวร่วมกับสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดไม่มีประจุ จะได้ค่าความต้านทานจำเพาะต่อ  
การกรองต่ำสุด เท่ากับ  $1.09 \times 10^{12}$  และ  $9.18 \times 10^{11}$  ม./กก. ที่พีเอช 7 ที่ระดับความเข้มข้นของ  
ตะกอน 4% และ 6 % ของปริมาณของแข็งทั้งหมดตามลำดับ โดยมีค่าใช้จ่ายในด้านสารเคมี  
เท่ากับ 12.04 และ 16.54 บาทต่อการปรับสภาพตะกอน 1 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

ภาควิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา ..... 2539

ลายมือชื่อนิติต ..... อตพล กนกรัตน์  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... อรทัย ขวาลภาฤทธิ์  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ..... —

## C717811 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
KEY WORD: ALUM SLUDGE / SPECIFIC RESISTANCE / SLUDGE CONDITIONING /  
SLUDGE DEWATERING  
ATAPHOL KANOKRATTANA : EFFECT OF CHEMICAL CONDITIONING  
ON SPECIFIC RESISTANCE OF ALUM SLUDGE FILTRATION  
FROM WATER TREATMENT PLANTS.  
THESIS ADVISOR: ASSIST.PROF.ORATHAI CHAVALPARIT 168pp.  
ISBN 974-635-741-7.

This research was conducted to investigate the effect of chemical conditioning on specific resistance of alum sludge filtration from water treatment plants when anionic polyelectrolyte, cationic polyelectrolyte and nonionic polyelectrolyte were used for conditioning alum sludge concentration of 2 %, 4 % and 6 % of total solid contents. Alum sludge was taken from a sedimentation tank of Bang Khen water treatment plant. Lime was used for adjusting pH of alum sludge from 7 to 11. Then it was tested by Buchner Funnel Test to find the values of specific resistance and total solid content and choose the lowest specific resistance and chemical cost as the best condition.

It was found that the optimum pH for alum sludge conditioning was 9.0 in the case of using anionic polyelectrolyte at the dose of 0.03% dry solid of raw sludge for alum sludge concentration of 4 % of total solid content. The lowest specific resistance was equal to  $8.51 \times 10^{11}$  m./kg. Net sludge solids yield was 19.03 kg./m.<sup>2</sup>-hr. Chemical cost for conditioning 1 m.<sup>3</sup> of alum sludge was 3.14 baht. In the case of using cationic polyelectrolyte and nonionic polyelectrolyte at pH 7.0, the lowest specific resistances were equal to  $1.09 \times 10^{12}$  and  $9.18 \times 10^{11}$  m./kg. for alum sludge concentration of 4 % and 6 % of total solid content respectively. Chemical costs for sludge conditioning were 12.04 and 16.54 baht respectively.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา..... 2539

ลายมือชื่อนิสิต..... อานว นนกัน

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... Onke Worany

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## กิตติกรรมประกาศ



ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรทัย ขวาลภาฤทธิ์ เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำในเรื่องต่างๆ เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถทำการวิจัยครั้งนี้ได้อย่างถูกต้องและลุล่วงไปได้ด้วยดี พร้อมทั้งให้แง่คิดในเชิงวิชาการที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชีระ เกรอต, รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, อาจารย์ ชัยพร ภูประเสริฐ ที่ได้ช่วยกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำปรึกษาทางวิชาการแก่ผู้วิจัย รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ต่างๆ แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณ คุณเต็มศักดิ์ โชติวรรณวิรัช ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลและเอกสารต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัย ให้คำปรึกษา แนะนำในเรื่องต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการควบคุมคุณภาพน้ำ โรงกรองน้ำบางเขน และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของศูนย์ฝึกอบรมการประปาแห่งชาติ ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องการเก็บตัวอย่างตะกอน ตัวอย่างปูนขาว อุปกรณ์ และสถานที่ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท ล็อกซเลีย์ จำกัด (มหาชน) ที่เอื้อเฟื้อตัวอย่างสารปรับสภาพตะกอนในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย และมูลนิธิ ชิน โสภณพนิช ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณความดีหรือประโยชน์ทั้งหลายที่มีในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้ บิดา มารดา ซึ่งให้กำลังใจตลอดมาและเป็นผู้มีพระคุณสูงสุด

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ภ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย.....	3
2.1 วัตถุประสงค์.....	3
2.2 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
3 ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
3.1 กระบวนการโคแอกกูเลชันและฟลอคคูเลชัน.....	5
3.2 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	9
3.3 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	15
3.4 กลไกโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม.....	17
3.5 กลไกโคแอกกูเลชันที่เกิดจากการใช้โคแอกกูแลนท์เอด.....	21
3.6 ตะกอนสารส้ม.....	26
3.7 การบำบัดตะกอนสารส้ม.....	30
3.8 การผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวง.....	43
3.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	45

4	วิธีดำเนินการวิจัย.....	56
4.1	ขั้นตอนการทดลอง.....	56
4.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	60
4.3	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	60
4.4	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ.....	61
5	ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	63
5.1	กรณีที่ใช้ปูนขาวปรับพีเอชของตะกอน.....	63
5.2	กรณีที่ใช้ปูนขาวร่วมกับสารโพสซีแล็คโทไรไลท์ชนิดประจุลบ.....	67
5.3	กรณีที่ใช้ปูนขาวร่วมกับสารโพสซีแล็คโทไรไลท์ชนิดประจุบวก.....	81
5.4	กรณีที่ใช้ปูนขาวร่วมกับสารโพสซีแล็คโทไรไลท์ชนิดไม่มีประจุ.....	93
5.5	การเปรียบเทียบผลการทดลองเมื่อใช้สารปรับสภาพตะกอนต่าง ๆ.....	105
5.6	การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของสารเคมีในการปรับสภาพตะกอน.....	108
6	สรุปผลการทดลอง.....	109
7	ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.....	111
	รายการอ้างอิง.....	112
	ภาคผนวก.....	115
	ภาคผนวก ก.....	116
	ภาคผนวก ข.....	121
	ภาคผนวก ค.....	122
	ภาคผนวก ง.....	124
	ภาคผนวก จ.....	126
	ภาคผนวก ฉ.....	127
	ภาคผนวก ช.....	128



ภาคผนวก ข.....	156
ภาคผนวก ฉ.....	166
ประวัติผู้ทำวิจัย.....	168



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 กลไกในการสร้างโคแอกกูเลชันแบบเชื่อมต่อด้วยสารโพลีอีเล็กโทรไลต์.....	7
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มกับพีเอช.....	11
3.3 แผนภูมิที่ใช้ในการควบคุมกลไกโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม.....	13
3.4 แบบจำลองวิถีทางของอะลูมิเนียมในน้ำ.....	19
3.5 ลานตากตะกอน.....	33
3.6 เครื่องกรองสูญญากาศ.....	33
3.7 เครื่องแยกน้ำจากตะกอนโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง.....	36
3.8 ลักษณะในการตอบสนองต่อการปรับปรุงลักษณะตะกอน.....	38
3.9 อุปกรณ์ชุดกรวยบุคคลเนอร์.....	42
4.1 แผนผังการทดลอง.....	59
5.1 ผลการทดลองเมื่อใช้ปูนขาวปรับพีเอชของตะกอน.....	66
5.2 ผลการทดลองเมื่อใช้ปูนขาวและสารโพลีอีเล็กโทรไลต์ชนิดประจุลบ ปรับสภาพตะกอนที่ระดับความเข้มข้นของตะกอน 2 %.....	72
5.3 ผลการทดลองเมื่อใช้ปูนขาวและสารโพลีอีเล็กโทรไลต์ชนิดประจุลบ ปรับสภาพตะกอนที่ระดับความเข้มข้นของตะกอน 4 %.....	75
5.4 ผลการทดลองเมื่อใช้ปูนขาวและสารโพลีอีเล็กโทรไลต์ชนิดประจุลบ ปรับสภาพตะกอนที่ระดับความเข้มข้นของตะกอน 6 %.....	78
5.5 ผลของระดับความเข้มข้นของตะกอนสารส้มต่อค่าความต้านทานจำเพาะ ต่อการกรองต่ำสุด เมื่อใช้ปูนขาวและสารโพลีอีเล็กโทรไลต์ชนิดประจุลบ ปรับสภาพตะกอนที่พีเอชต่าง ๆ .....	80
5.6 ผลการทดลองเมื่อใช้ปูนขาวและสารโพลีอีเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก ปรับสภาพตะกอนที่ระดับความเข้มข้นของตะกอน 2 %.....	84
5.7 ผลการทดลองเมื่อใช้ปูนขาวและสารโพลีอีเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก ปรับสภาพตะกอนที่ระดับความเข้มข้นของตะกอน 4 %.....	87
5.8 ผลการทดลองเมื่อใช้ปูนขาวและสารโพลีอีเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก ปรับสภาพตะกอนที่ระดับความเข้มข้นของตะกอน 6 %.....	90

5.9 ผลของระดับความเข้มข้นของตะกอนสารสัมพันธ์ต่อค่าความต้านทานจำเพาะต่อการกรองต่ำสุด เมื่อใช้ปูนขาวและสารโพลีอีเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก ปรับสภาพตะกอนที่พีเอชต่าง ๆ .....	92
5.10 ผลการทดลองเมื่อใช้ปูนขาวและสารโพลีอีเล็กโทรไลต์ชนิดไม่มีประจุ ปรับสภาพตะกอนที่ระดับความเข้มข้นของตะกอน 2 % .....	96
5.11 ผลการทดลองเมื่อใช้ปูนขาวและสารโพลีอีเล็กโทรไลต์ชนิดไม่มีประจุ ปรับสภาพตะกอนที่ระดับความเข้มข้นของตะกอน 4 % .....	99
5.12 ผลการทดลองเมื่อใช้ปูนขาวและสารโพลีอีเล็กโทรไลต์ชนิดไม่มีประจุ ปรับสภาพตะกอนที่ระดับความเข้มข้นของตะกอน 6 % .....	102
5.13 ผลของระดับความเข้มข้นของตะกอนสารสัมพันธ์ต่อค่าความต้านทานจำเพาะต่อการกรองต่ำสุด เมื่อใช้ปูนขาวและสารโพลีอีเล็กโทรไลต์ชนิดไม่มีประจุ ปรับสภาพตะกอนที่พีเอชต่าง ๆ .....	104


  
 ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	วิธีการและวัตถุประสงค์ของการปรับปรุงลักษณะตะกอน.....	29
3.2	ค่าความต้านทานจำเพาะต่อการกรองที่ระดับความดันที่ใช้ของ ตะกอนแต่ละประเภท.....	40
3.3	ลักษณะสมบัติที่วิเคราะห์ได้จากตะกอนของโรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง.....	46
3.4	ชนิดและปริมาณของธาตุองค์ประกอบในรูปออกไซด์ที่มีอยู่ในตะกอน ของโรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง.....	47
4.1	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการวิจัย.....	61
4.2	ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	62
5.1	ผลการทดลองเมื่อใช้ปูนขาวปรับพีเอชของตะกอน.....	65
5.2	ผลการศึกษาหาค่าความต้านทานจำเพาะต่อการกรองของตะกอน ที่ปรับสภาพด้วยโพลีเมอร์ประจุลบที่พีเอชต่าง ๆ.....	69
5.3	ปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำผ่าน การกรองของการศึกษาการปรับสภาพตะกอนด้วยโพลีเมอร์ประจุลบ ที่พีเอชต่าง ๆ.....	71
5.4	ผลการศึกษาหาค่าความต้านทานจำเพาะต่อการกรองของตะกอน ที่ปรับสภาพด้วยโพลีเมอร์ประจุบวกที่พีเอชต่าง ๆ.....	82
5.5	ปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำผ่าน การกรองของการศึกษาการปรับสภาพตะกอนด้วยโพลีเมอร์ประจุบวก ที่พีเอชต่าง ๆ.....	83
5.6	ผลการศึกษาหาค่าความต้านทานจำเพาะต่อการกรองของตะกอน ที่ปรับสภาพด้วยโพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุที่พีเอชต่าง ๆ.....	94
5.7	ปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำผ่าน การกรองของการศึกษาการปรับสภาพตะกอนด้วยโพลีเมอร์ไม่มีประจุ ที่พีเอชต่าง ๆ.....	95
5.8	การเปรียบเทียบค่าความต้านทานจำเพาะต่อการกรอง, ยิลด์ของตะกอน และค่าใช้จ่ายของสารเคมี เมื่อใช้สารปรับสภาพตะกอนชนิดต่าง ๆ.....	106

ก.1	สมบัติของสารโพสซีแล็คโทรไลต์ชนิดประจุลบที่ใช้ในการทดลอง.....	118
ก.2	สมบัติของสารโพสซีแล็คโทรไลต์ชนิดประจุบวกที่ใช้ในการทดลอง.....	119
ก.3	สมบัติของสารโพสซีแล็คโทรไลต์ชนิดไม่มีประจุที่ใช้ในการทดลอง.....	120



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย