การคัดเลือกวัสดุธรรมชาติเป็นสารโคแอกกูแลนต์

นางสาว จิราพร สมนาวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2533

ISBN 974-577-809-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016358
I10311464

SELECTION OF NATURAL MATERIALS AS COAGULANTS

MISS. CHIRAPORN SOMMANAWAN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Environmental Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1990

ISBN 974-577-809-5

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การคัดเลือกวัสดุธรรมชาติเป็นสารโคแอกกูแลนต์
โดย	นางสาว จิราพร สมนาวรรณ
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ชงชัย พรรณสวัสดิ์)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

จิราพร สมนาวรรณ : การคัดเลือกวัสดุธรรมชาติเป็นสารโคแอกกูแลนต์ (SELECTION OF NATURAL MATERIALS AS COAGULANTS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 230 หน้า. ISBN 974-577-809-5

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษาครั้งนี้ได้คัดเลือกวัสดุธรรมชาติ ซึ่งเป็นเมล็ดพืชชนิดต่าง ๆ 5 ชนิดด้วยกันคือ มะรุม (horse radish) กระเจี๊ยบแดง (roselle) ถั่วแดง (lentil) ถั่วลิสง (ground nut) และมะขาม (tamarind) นำมาทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้มโดยใช้วิธีจาร์เทสต์ นอกจากนี้ยังได้มีการตรวจสอบชนิดและวัดปริมาณประจุคอลลอยด์ โดยอาศัยเทคนิคการไตเตรท-คอลลอยด์ และหาค่าดัชนีการกรองเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลของจาร์เทสต์ จากการศึกษาพบว่า เมล็ดพืชทั้ง 5 ชนิดสามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ได้ แต่ยังไม่สามารถผลิตน้ำได้ใสเท่าเทียมกับการใช้สารส้ม ถั่วลิสงเป็นโคแอกกูแลนต์ที่ดีที่สุดของกลุ่ม และโคแอกกูแลนต์จากวัสดุธรรมชาติที่นำมาทดลอง เหมาะที่จะใช้กับน้ำที่มีความขุ่นสูงกว่า 100 NTU มากกว่าน้ำที่มีความขุ่นต่ำกว่า 50 NTU และสามารถใช้กับน้ำที่มีค่าพีเอชผันแปรในช่วงที่กว้างกว่าการใช้สารส้ม โดยไม่ทำให้ค่าพีเอชของน้ำดิบเปลี่ยนแปลง ในการทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม พบว่า โคแอกกูแลนต์จากวัสดุธรรมชาติช่วยให้ประหยัดการใช้สารส้มได้มากกว่า 50% ขึ้นไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถลดต้นทุนในการผลิตน้ำประปาลงได้ และมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดที่น่าสนใจควรแก่การนำมาใช้มากที่สุด เพราะจะเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าโคแอกกูแลนต์จากเมล็ดพืชทั้ง 5 ชนิด มีคอลลอยด์ชนิดประจุบวกทั้งหมด

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าวัสดุธรรมชาติที่นำมาทดลอง สามารถเป็นทั้งโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้มควรที่จะนำไปศึกษาต่อโดยละเอียด เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับระบบประปาต่อไปในอนาคต

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2532

ลายมือชื่อนิสิต จิราพร สมนาวรรณ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHIRAPORN SOMMANAWAN : SELECTION OF NATURAL MATERIALS AS COAGULANT. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. MUNSIN TUNTOO-LAVAST, Ph.D. 230 pp. ISBN 974-577-809-5

Five kinds of seed had been selected as natural materials to be tested in this study. They were horse radish (Moringa Oleifera), roselle (Hibiscus sabdariffa), lentil (lens esculenta), ground nut (Arachis hypogaea) and tamarind (Tamarindus indica). Jar test technique and filterability index test (F-test) were employed to determine both coagulant capability and coagulant aid capability characteristics. Determination of colloidal ionic charge was performed by using the colloid titration technique.

Experimental results showed that all kinds of seed could be used as primary coagulant but not as good as alum which produced clearer water. Ground nut was found to be the best coagulant of all. However seed coagulant was suitable to be used with turbid water (turbidity greater than 100 NTU). At lower turbidity (less than 50 NTU) turbidity reduction was not very significant. Nevertheless, seed has advantage over alum as its optimum dose was much more lower, except horse radish. Also, seed coagulant was applicable in the range of pH larger than that of alum and there was no effects on raw water pH. As a coagulant aid to alum, it showed high efficiency and could reduce the amount of alum dose significantly (greater than 50 percent) when compared with alum alone. This could reduce the cost of water production. Tamarind seed had highest potential to be used as coagulant aid in water treatment process due to its cheapest cost. It was found that all of them had cationic charge.

According to results of the study, most natural seeds had relatively high coagulant/coagulant aid capability and might be used successfully in rural water treatment process.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2532

ลายมือชื่อนิสิต จิราพร สมนาวรรณ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ศึกษาขอกราบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ได้แนะแนวทางการศึกษาและให้คำปรึกษาในด้านวิชาการต่าง ๆ ตลอดจนให้กำลังใจแก่ผู้ศึกษา ด้วยความกรุณาอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน และให้ความรู้แก่ผู้ศึกษา

ขอขอบพระคุณพี่ น้อง ตลอดจนมิตรสหายทุก ๆ ท่าน ที่ได้ให้กำลังใจเอื้อเฟื้อ และอนุเคราะห์ระหว่างทำการศึกษา

คุณประโยชน์ทั้งหลายของวิทยานิพนธ์นี้ ขอมอบแด่บุพการี ซึ่งได้สนับสนุนการศึกษาของผู้ศึกษามาโดยตลอด เต็มเปี่ยมด้วยความเมตตาหาที่สุดมิได้

ท้ายที่สุด ผู้ศึกษาขอกราบบูชา ซึ่งธรรมะแห่งองค์สมเด็จพระสัมมาสัมพุทธเจ้าที่เป็นเครื่องยึดเหนี่ยวจิตใจของผู้ศึกษาเสมอมา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ช

สารบัญ..... ซ

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูป..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ วัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา..... 1

1.1 บทนำ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 2

1.3 ขอบเขตของการศึกษา..... 2

บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร..... 3

2.1 ความเป็นมาของการปรับปรุงคุณภาพน้ำ..... 3

2.2 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำในระดับพื้นบ้าน..... 3

2.2.1 การเก็บกักให้ตกตะกอนเองตามธรรมชาติ..... 4

2.2.2 กระบวนการกรอง..... 4

2.2.3 กระบวนการโคแอกกูเลชั่น..... 5

2.2.4 กระบวนการฆ่าเชื้อโรคและการปรับปรุงคุณภาพน้ำ..... 6

2.3 ทัศนคติของนักวิทยาศาสตร์ที่มีต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบพื้นบ้าน... 7

2.4 ทฤษฎีกระบวนการโคแอกกูเลชั่น..... 11

2.4.1 การกวนเร็ว..... 11

2.4.2 การกวนช้า..... 12

2.5 กลโคแอกกูเลชั่น..... 13

2.5.1 การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์..... 13

2.5.2 การทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่มากระทบกัน
หรือสัมผัสกันให้มากที่สุด..... 14

2.6 การควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชั่น..... 17

2.6.1 การทดลองจาร์เทสต์..... 17

2.6.2 การหาความสามารถในการกรอง..... 18

2.6.3 การใช้เทคนิคการไตเตรตคอลลอยด์..... 19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7 กระบวนการโคแอกกูเลชั่นโดยใช้วัสดุธรรมชาติเป็นโคแอกกูแลนต์... 24
2.7.1 โคแอกกูแลนต์จากสาหร่ายทะเล..... 24
2.7.2 โคแอกกูแลนต์ผลิตภัณฑ์ของสัตว์น้ำ..... 24
2.7.3 โคแอกกูแลนต์จากดินต่าง ๆ..... 24
2.7.4 โคแอกกูแลนต์จากพืช..... 25
2.7.5 องค์ประกอบทางเคมีของพืชโคแอกกูแลนต์..... 25
2.7.6 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติ.... 28
2.7.7 ประสิทธิภาพของโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติ..... 29
บทที่ 3 การดำเนินการศึกษา..... 31
3.1 แผนการศึกษา..... 31
3.1.1 ลำดับขั้นตอนการศึกษา..... 31
3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา..... 34
3.2.1 อุปกรณ์จาร์เทสต์..... 34
3.2.2 ภาชนะที่ใช้สมานตะกอน..... 34
3.2.3 อุปกรณ์หาค่าดัชนีการกรองขนาดมาตราส่วนเล็ก..... 34
3.2.4 เครื่องปั่นน้ำผลไม้..... 36
3.3 โคแอกกูแลนต์ธรรมชาติ น้ำขุ่นสังเคราะห์และสารเคมี..... 36
3.3.1 โคแอกกูแลนต์ธรรมชาติ..... 36
3.3.2 น้ำขุ่นสังเคราะห์..... 37
3.3.3 สารเคมี..... 38
3.4 การดำเนินการทดลอง..... 40
3.4.1 การทดลองหาชนิดและปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม
โดยการทดลองจาร์เทสต์..... 40
3.4.2 การทดลองหาชนิดและปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม
โดยการทดลองหาค่าดัชนีการกรอง..... 41
3.4.3 การทดลองหาชนิดและวัดปริมาณประจุคอลลอยด์
โดยใช้เทคนิคการไตเตรตคอลลอยด์..... 43
3.5 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำ..... 44

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์..... 45

4.1 การทดลองหาชนิดและปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม..... 45

4.1.1 การทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ โดยการทดลองจาร์เทสต์..... 45

4.1.2 การทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ โดยการทดลองหาค่าดัชนีการกรอง..... 56

4.1.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองจาร์เทสต์ และการหาค่าดัชนีการกรอง..... 65

4.1.4 การทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์เอด โดยการทดลองจาร์เทสต์..... 69

4.1.5 การตรวจสอบชนิด และวัดปริมาณประจุคอลลอยด์ ของสารแขวนลอยโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติ และสารละลายสารส้ม..... 75

4.2 การประเมินค่าใช้จ่ายในการใช้โคแอกกูแลนต์ธรรมชาติ เปรียบเทียบกับสารส้ม..... 82

4.3 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการใช้โคแอกกูแลนต์ธรรมชาติ กับสารส้ม..... 93

4.4 แนวทางการนำเอาโคแอกกูแลนต์มาประยุกต์ใช้..... 94

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... 103

บทที่ 6 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาเพิ่มเติม..... 105

เอกสารอ้างอิง..... 106

ภาคผนวก ก ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาเวลาในการเติมโคแอกกูแลนต์เอด ที่เหมาะสม..... 109

การทดลองชุดที่ 1 การทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ โดยวิธีจาร์เทสต์..... 114

การทดลองชุดที่ 2 การทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ โดยวิธีการหาค่าดัชนีการกรอง..... 118

การทดลองชุดที่ 3 การทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ เอด โดยวิธีจาร์เทสต์..... 133

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การทดลองชุดที่ 4 การตรวจสอบชนิดและวัดประจุคอลลอยด์ โดยใช้เทคนิคการไตเตรทคอลลอยด์..... 196
ภาคผนวก ข ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับพืชที่นำมาศึกษา..... 203
ประวัติผู้ทำการศึกษา 230

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 อัตราการตายของแบคทีเรียในน้ำที่ทิ้งให้ตกตะกอนเอง ตามธรรมชาติ..... 8

ตารางที่ 2-2 โคแอกกูแลนต์ธรรมชาติที่ได้จากพืชชนิดต่าง ๆ..... 26

ตารางที่ 2-3 องค์ประกอบเคมีของเมล็ดพืชโคแอกกูแลนต์บางชนิด..... 27

ตารางที่ 3-1 โคแอกกูแลนต์ที่ใช้ และระดับความขุ่นของน้ำดิบสังเคราะห์ ที่ใช้ในการทดลอง..... 33

ตารางที่ 3-2 ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น และพีเอช ของสารแขวนลอย โคแอกกูแลนต์และสารละลายสารส้ม ในการไตเตรตคอลลอยด์..... 44

ตารางที่ 4-1 ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม ที่ระดับความขุ่น โดยการทดลองจาร์เทสต์..... 46

ตารางที่ 4-2 ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น..... 46

ตารางที่ 4-3 ค่าอัลคาไลนิตี้ที่วัดได้จากการทดลองจาร์เทสต์..... 53

ตารางที่ 4-4 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพืชที่นำมาทดลอง..... 55

ตารางที่ 4-5 ผลการคำนวณค่าดัชนีการกรองในแต่ละระดับความขุ่น..... 57

ตารางที่ 4-6 ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น ในการทดลองหาค่าดัชนีการกรอง..... 62

ตารางที่ 4-7 ค่าการสูญเสียเฮดในชั้นทรายกรอง ในการทดลองหาค่าดัชนีการกรอง..... 64

ตารางที่ 4-8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น จากจาร์เทสต์ และการหาค่าดัชนีการกรอง..... 67

ตารางที่ 4-9 การเปรียบเทียบปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม จากจาร์เทสต์ และการหาค่าดัชนีการกรอง..... 69

ตารางที่ 4-10 การเปรียบเทียบความขุ่นตกค้าง และปริมาณโคแอกกูแลนต์เอด ที่เหมาะสม เมื่อมีการเติมโคแอกกูแลนต์เอด ที่แต่ละระดับความขุ่น..... 70

ตารางที่ 4-11 ค่าประจุของสารละลายสารส้ม และสารแขวนลอยโคแอกกูแลนต์ ที่พีเอช 4..... 77

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4-12 ค่าประจุของสารละลายสารส้ม และสารแขวนลอยโคแอกกูแลนต์ที่พีเอช 7..... 77

ตารางที่ 4-13 ค่าประจุของสารละลายสารส้ม และสารแขวนลอยโคแอกกูแลนต์ที่พีเอช 9..... 78

ตารางที่ 4-14 ราคาวัสดุที่ใช้ในการบำบัดน้ำ..... 83

ตารางที่ 4-15 การประเมินค่าใช้จ่ายในการใช้วัสดุธรรมชาติเปรียบเทียบกับสารส้ม..... 84

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2-1 บ่อกรองน้ำในบาหลี..... 5

รูปที่ 2-2 ลักษณะการเกิดโคแอกกูเลชั่น โดยกลไกการเชื่อมต่อของโพลีเมอร์..... 15

รูปที่ 2-3 กลไกการกลับคืนเสถียรภาพของคอลลอยด์..... 16

รูปที่ 2-4 ตัวอย่างสูตรโครงสร้างของสารเคมีที่ใช้ในการไตเตรตคอลลอยด์..... 22

รูปที่ 2-5 การทดสอบกระบวนการโคแอกกูเลชั่น ด้วยการวัดศักดิ์ไฟฟ้า และการไตเตรตคอลลอยด์..... 23

รูปที่ 3-1 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา..... 32

รูปที่ 3-2 รายละเอียดภาชนะที่ใช้สมานตะกอน..... 34

รูปที่ 3-3 อุปกรณ์ในการหาค่าดัชนีการกรองขนาดมาตราส่วนเล็ก..... 35

รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความขุ่นตกค้าง และปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ที่ระดับความขุ่น 50 NTU..... 47

รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความขุ่นตกค้าง และปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ที่ระดับความขุ่น 100 NTU..... 48

รูปที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความขุ่นตกค้าง และปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ที่ระดับความขุ่น 200 NTU..... 49

รูปที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความขุ่นตกค้าง และปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ที่ระดับความขุ่น 300 NTU..... 50

รูปที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีการกรอง และปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ที่ระดับความขุ่น 50 NTU..... 58

รูปที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีการกรอง และปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ที่ระดับความขุ่น 100 NTU..... 59

รูปที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีการกรอง และปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ที่ระดับความขุ่น 200 NTU..... 60

รูปที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีการกรอง และปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ที่ระดับความขุ่น 300 NTU..... 61

รูปที่ 4-9 ปริมาณโคแอกกูแลนต์เอดที่เหมาะสม ที่แต่ละระดับความขุ่น เมื่อใช้ร่วมกับสารส้ม 50 % ของปริมาณสารส้มที่เหมาะสม..... 71

รูปที่ 4-10 ปริมาณโคแอกกูแลนต์เอดที่เหมาะสม ที่แต่ละระดับความขุ่น เมื่อใช้ร่วมกับสารส้ม 25 % ของปริมาณสารส้มที่เหมาะสม..... 72

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประจุคอลลอยด์ และความเข้มข้น ที่พีเอช 4..... 79

รูปที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประจุคอลลอยด์ และความเข้มข้น ที่พีเอช 7..... 80

รูปที่ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประจุคอลลอยด์ และความเข้มข้น ที่พีเอช 9..... 81

รูปที่ 4-14 ขั้นตอนการทำโคแอกกูเลชั่นอย่างง่าย 96

รูปที่ 4-15 ถังกวนสมานตะกอนอย่างง่าย แบบใช้มือหมุน..... 97

รูปที่ 4-16 รูปแบบกระบวนการโคแอกกูเลชั่นตามด้วยการกรอง ในระดับหมู่บ้าน.... 99

รูปที่ 4-17 รูปแบบกระบวนการโคแอกกูเลชั่นตามด้วยการเก็บกักในภาชนะ
ที่ปิดสนิท ในระดับหมู่บ้าน..... 101