

การเตรียมโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียอุตสาหกรรม  
เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย



นางสาว พิงอร วิไลวงษ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1720-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF COAGLANT FROM INDUSTRIAL SOLID WASTE  
FOR WASTEWATER TREATMENT



Miss Pingorn Wiliwong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Environmental Science

Inter-department of Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-1720-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในการ บำบัดน้ำเสีย
โดย	นางสาวพิงอร วิไลวงษ์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ฐเรศ ศรีสถิตย์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กิระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ฐเรศ ศรีสถิตย์)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ เปรมจิตต์ แทนสถิตย์)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

พิงอว วิไลวงษ์ : การเตรียมโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย. (PREPARATION OF COAGULANT FROM INDUSTRIAL SOLID WASTE FOR WASTEWATER TREATMENT)

อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์, 112 หน้า. ISBN 974-17-1720-2.

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสามารถในการเป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant) และสารช่วยสร้างตะกอน (Coagulant aid) ของกากของเสียอุตสาหกรรมเพื่อนำกากของเสียมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยมีการทดลองนำกากของเสียอุตสาหกรรม 4 ชนิด ได้แก่ ถ้ำลอย, เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้น, กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำทอวางและกากตะกอนจากระบบทำน้ำประปา ทั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและเคมี, การวัดประจุของสารช่วยตกตะกอน และทำการประเมินความสามารถในการเป็นสารตกตะกอนและสารช่วยตกตะกอนเทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว

ผลการทดลองพบว่า คุณสมบัติของกากของเสียอุตสาหกรรมที่นำมาทำการวิเคราะห์มีประจุเป็นลบจึงเหมาะกับการเป็นสารตกตะกอนร่วมกับสารส้มในการทดลองใช้กากของเสียอุตสาหกรรมเป็นโคแอกกูแลนต์นั้นพบว่าสามารถกำจัดความขุ่นได้ดีในช่วง 100-200 NTU ส่วนที่ความขุ่น 300 NTU ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นจะลดลง สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้กากของเสียอุตสาหกรรมมาเป็นโคแอกกูแลนต์นั้น มีอยู่ในช่วงร้อยละ 30-85 ที่ pH 6-8 และเมื่อนำกากของเสียอุตสาหกรรมไปตกตะกอนร่วมกับสารส้มประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 82-99 เมื่อเทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว ความสามารถในการลดความขุ่นของกากของเสียอุตสาหกรรมแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยถ้ำลอย, กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำทอวาง และกากตะกอนจากระบบทำน้ำประปามีค่าประสิทธิภาพในการลดความขุ่นลงได้ร้อยละ 98.5, 97.5 และ 96.5 ตามลำดับ สำหรับเศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้นไม่เหมาะในการใช้เป็นสารตกตะกอนเนื่องจากฟลอคไม่แข็งแรง

สำหรับค่าใช้จ่ายในการจัดทำสารโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียอุตสาหกรรมคิดเป็น 2.5 บาทต่อกิโลกรัม ส่วนสารส้มคิดในราคา 6 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นการนำกากของเสียอุตสาหกรรมมาช่วยสร้างตะกอน จึงมีราคาถูกกว่าการใช้สารส้มทั้งหมด และสำหรับถ้ำลอยนั้นไม่มีค่าใช้จ่ายในการจัดทำ จึงควรพิจารณาใช้เป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับการใช้สารส้มในการบำบัดน้ำเสีย.

ภาควิชา.....วิทยาศาสตร์สุภาวະแวมดลัอม.....ลายมือชื่อนิสิต.....  
สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สุภาวະแวมดลัอม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ปีการศึกษา.....2545.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 4389084920 : MAJOR INTER-DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: TURBIDITY / COAGULANT / COAGULANT AID / INDUSTRIAL SOLID WASTE / WASTEWATER TREATMENT

PINGORN WILIWONG : PREPARATION OF COAGULANT FROM INDUSTRIAL SOLID WASTE FOR WASTEWATER TREATMENT. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.THARES SRISATIT,112 pp. ISBN 974-17-1720-2.

The propose of this research was to study the potential of using industrial solid wastes which are fly ash, sludge from supply water plant ,adhesive latex waste and lutoid as coagulant and coagulant aid in treatment of wastewater. The physical and chemical properties of these wastes were investigated for instance, charge, metal compositions and physical texture. Then their efficiencies in coagulation were studies by comparison with the efficiency of alum, the common coagulant.

The result of the study showed that these industrial solid wastes pose anion charge. Which, therefore, they were possible to be used as coagulant aids with alum. From the experiment, using these waste with alum, their efficiencies in removal turbidity were high at 100-200 NTU. But their efficiencies were decreased at the turbidity up to 300 NTU. The percentages in removal turbidity, by using without and with alum were 30-80% at pH 6-8 and 82-99% respectively. These percentages were quite higher than using only alum as coagulant However, the efficiencies of fly ash, adhesive latex waste and sludge in removal turbidity were different which were 98.5,97.5 and 96.7% respectively. About lutiod, the result showed that it may not proper to be used as coagulant. Because flocs were not stable.

The cost of production of coagulants from these industrial solid wastes was about 2.5 bath/kg which is cheaper than the price of alum,6 bath/kg.Therefore, it is possible to utilize this wastes as coagulants aids with alum for wastewater treatment plants.

Inter-department.....Environmental Science.....	Student's signature.....
Field of study .....Enviromental Science.....	Advisor's signature.....
Academic year.....2002.....	Coadvisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์

ดร. ภูเรศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนช่วยเหลือแก้ไขรายละเอียดต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์

รองศาสตราจารย์เปรมจิตต์ แทนสถิตย์ และรองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ายังเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะในการเขียนวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สภาวะแวดล้อม ทบวงมหาวิทยาลัย และมูลนิธิชิน โสภณพานิช ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านทุนอุดหนุนงานวิจัย

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความกรุณาอนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการวิจัยรวมทั้งให้ความช่วยเหลืออนุเคราะห์ด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการมูลฝอย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อความสะดวกในการใช้สถานที่ วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย และขอขอบคุณ คุณประพันธ์ ชื่นพระทัย ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญนิวเคลียร์และเทคโนโลยีสำหรับการวิเคราะห์และทดสอบวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำและอนุเคราะห์ช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆน้องๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยในครั้งนี้ และคอยเป็นกำลังใจเสมอมา จนสำเร็จด้วยดี

ที่สำคัญที่สุด ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่อบรมเลี้ยงดู รวมทั้งส่งเสริมและสนับสนุนการศึกษาเป็นอย่างดีมาตลอด อีกทั้งยังเป็นกำลังใจสำคัญ ทำให้สามารถสำเร็จการศึกษาตามเจตนารมณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ฎ

สารบัญรูป.....ฏ

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 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....5

    2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....5

        2.1.1 ทฤษฎีกระบวนการตกตะกอน.....5

        2.1.2 ความสำคัญของกระบวนการตกตะกอน.....6

            2.1.1.1 การกวนเร็ว.....6

            2.1.1.2 การกวนช้า.....6

        2.1.3 กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation Process).....7

            2.1.3.1 ความสำคัญและหลักการ.....7

            2.1.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโคแอกกูเลชัน.....13

        2.1.4 กลไกการตกตะกอนด้วยสารส้ม.....14

        2.1.5 การตกตะกอนเมื่อใช้สารช่วยสร้างตะกอน (Coagulant Aid).....17

        2.1.6 ระบบคอลลอยด์.....19

        2.1.7 สภาวะไม่คงตัวและไม่คงตัวของคอลลอยด์.....21

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.7.1	สภาวะคงตัวของคอลลอยด์.....	21
2.1.7.2	สภาวะไม่คงตัวของคอลลอยด์.....	22
2.1.8	การควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	23
2.2	คุณสมบัติของกากของเสียอุตสาหกรรม (Industrial Solid Waste).....	23
2.2.1	เถ้าลอย (Fly ash, Pulverized Fuel Ash, Dry Ash).....	23
2.2.2	กากตะกอนของระบบทำน้ำประปา (Sludge).....	26
2.2.3	เศษยางพาราของโรงงานน้ำยางข้น (Rubber latex waste; Lutoid).....	29
2.2.4	กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง .....	32
2.3	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33
บทที่ 3	ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	38
3.1	ขั้นตอนการวิจัย.....	38
3.2	วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	38
3.3	อุปกรณ์และเครื่องมือการวิจัย.....	40
3.4	วิธีดำเนินงานวิจัย.....	41
3.4.1	การเตรียมการทดลอง.....	41
3.4.1.1	การเตรียมกากของเสียอุตสาหกรรม.....	41
3.4.1.2	การเตรียมน้ำซุ่นสังเคราะห์.....	42
3.4.2	การวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและเคมี ของกากของเสียอุตสาหกรรม.....	46
3.4.2.1	การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Analysis).....	46
3.4.2.2	การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Analysis).....	46
3.4.3	การตรวจสอบประจุของโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียอุตสาหกรรม.....	46
3.4.4	การทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เฮด.....	47
3.4.5	ประเมินค่าใช้จ่ายในการจัดทำกากของเสียอุตสาหกรรมเป็นโคแอกกูแลนต์ เทียบกับการใช้สารส้ม.....	51



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	52
4.1 ลักษณะสมบัติทั่วไปของกากของเสียอุตสาหกรรมทั้ง 4 ชนิด.....	52
4.2 การเตรียมกากของเสียอุตสาหกรรม (Preparation Industrial Solid Waste).....	53
4.3 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของกากของเสียอุตสาหกรรม .....	56
4.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพของกากของเสียอุตสาหกรรม .....	56
4.3.2 คุณสมบัติทางเคมีของกากของเสียอุตสาหกรรม.....	59
4.4 การตรวจสอบประจุของโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียอุตสาหกรรม.....	61
4.5 การประเมินความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์และสารช่วยสร้างตะกอนจาก กากของเสียอุตสาหกรรมเปรียบเทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว.....	62
4.5.1 เมื่อไม่ใช้โคแอกกูแลนต์ในการตกตะกอน.....	62
4.5.2 การใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว.....	65
4.5.3 การใช้กากของเสียอุตสาหกรรมเป็นโคแอกกูแลนต์ (Industrial Solid Waste).....	68
4.5.4 เมื่อใช้กากของเสียอุตสาหกรรมเป็นสารช่วยสร้างตะกอน (Coagulant Aid) ร่วมกับสารส้ม.....	78
4.6 ประเมินค่าใช้จ่ายในการจัดทำกากของเสียอุตสาหกรรมเป็นโคแอกกูแลนต์เทียบกับ การใช้สารส้ม.....	84
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	86
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	86
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	87
รายการอ้างอิง.....	89
ภาคผนวก.....	92
ภาคผนวก ก Scanning Electron Microscope.....	93
ภาคผนวก ข ขั้นตอนการเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักใน กากของเสียอุตสาหกรรมตาม ASTM 3050 ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปก โทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS).....	96

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค X-ray fluorescence Spectroscopy.....	97
ภาคผนวก ง Zeta Potential Report.....	100
ภาคผนวก จ ตารางแสดงความชุ่มชื้นหลังการตกตะกอน.....	106
ภาคผนวก ฉ แสดงค่าไฟฟ้า : ส่วนราชการและองค์กรไม่แสวงหากำไร.....	111
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	112



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงการเปรียบเทียบอัตราเร็วในการตกตะกอนสารต่างๆ .....21
ตารางที่ 2.9	ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยชนิดต่างๆ.....24
ตารางที่ 3.1	พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง.....41
ตารางที่ 4.1	แสดงแหล่งที่มาของกากของเสียอุตสาหกรรม.....53
ตารางที่ 4.2	ลักษณะทางกายภาพของกากของเสียอุตสาหกรรม.....56
ตารางที่ 4.3	ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเจือปน.....59
ตารางที่ 4.4	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยวิธี X-ray fluorescence.....60
ตารางที่ 4.5	แสดงค่าประจุของกากของเสียอุตสาหกรรม.....61
ตารางที่ 4.6	แสดงค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนหลังการตกตะกอนและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อไม่ใช้สารโคแอกกูแลนต์ในการตกตะกอน.....63
ตารางที่ 4.7	แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์..... 66
ตารางที่ 4.8	แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้เถ้าลอยเป็นโคแอกกูแลนต์..... 69
ตารางที่ 4.9	แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยางเป็นโคแอกกูแลนต์..... 71
ตารางที่ 4.10	แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้กากตะกอนจากระบบทำน้ำประปาเป็นโคแอกกูแลนต์.....73
ตารางที่ 4.11	แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นเป็นโคแอกกูแลนต์.....75
ตารางที่ 4.12	ความขุ่นหลังการตกตะกอนเมื่อใช้สารส้มร่วมกับกากของเสียอุตสาหกรรม 30 %,50 % และ 70 % ของปริมาณที่เหมาะสมเมื่อความขุ่นเริ่มต้น เป็น 100 NTU.....79
ตารางที่ 4.13	แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มร่วมกับกากของเสียอุตสาหกรรม30%,50 % และ 70 % ของปริมาณที่เหมาะสมเมื่อความขุ่นเริ่มต้นเป็น 100 NTU.....80
ตารางที่ 4.14	ความขุ่นหลังตกตะกอนเมื่อใช้สารส้มร่วมกับกากของเสียอุตสาหกรรม 30% ,50% และ 70% ของปริมาณที่เหมาะสมเมื่อความขุ่นเริ่มต้น เป็น 200 NTU.....81
ตารางที่ 4.15	แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มร่วมกับกากของเสียอุตสาหกรรม 30% ,50% และ 70% ของปริมาณที่เหมาะสมเมื่อความขุ่นเริ่มต้นเป็น 200 NTU.....82

## สารบัญรูป

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1	แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของกระบวนการตกตะกอน.....5
รูปที่ 2.2	เคาน์เตอร์ไอออน.....8
รูปที่ 2.3	ลักษณะการเกิดโคแอกกูเลชัน โดยกลไกการดูดติดผิวและทำลายเสถียรภาพ และกลไกแบบจับอนุภาคไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น.....9
รูปที่ 2.4	กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบเชื่อมต่อดัวยโพลิเมอร์.....11
รูปที่ 2.5	Stability Diagram ของสารส้มในน้ำที่ไม่มีความขุ่นอยู่.....16
รูปที่ 2.6	แสดงการจำแนกขนาดของสารต่างๆในน้ำ.....20
รูปที่ 2.7	รูปแบบของระบบประปาสำหรับแหล่งน้ำผิวดิน.....27
รูปที่ 2.8	กรรมวิธีการผลิตและจุดกำเนิดของเสียจากการผลิตน้ำยางชั้นและยาง สกินเคิร์ฟ.....30
รูปที่ 3.1	ขั้นตอนการเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์.....44
รูปที่ 3.2	น้ำขุ่นสังเคราะห์.....45
รูปที่ 3.3	เครื่องวัดประจุคอลลอยด์ (Zeta Potential).....47
รูปที่ 3.4	ชุดเครื่องมือการประเมินประสิทธิภาพการเป็นโคแอกกูแลนต์ด้วยวิธี จาร์เทสต์.....49
รูปที่ 3.5	เครื่องมือวัดความขุ่น (Turbidimeter).....49
รูปที่ 3.6	แผนงานวิจัยเพื่อประเมินความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ ของกากของเสียอุตสาหกรรม.....50
รูปที่ 4.1	ลักษณะของเถ้าลอย (Fly Ash).....54
รูปที่ 4.2	ลักษณะของเศษยางพาราของโรงงานน้ำยางชั้น.....54
รูปที่ 4.3	ลักษณะของกากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง.....55
รูปที่ 4.4	ลักษณะของกากตะกอนของระบบทำน้ำประปา (Sludge).....55
รูปที่ 4.5	ภาพถ่าย SEM ของเถ้าลอย (Fly Ash) กำลังขยาย 20,000 เท่า.....57
รูปที่ 4.6	ภาพถ่าย SEM ของกากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง กำลังขยาย 20,000 เท่า (ก่อนเผา).....58

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.7 ภาพถ่าย SEM ของเศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น กำลังขยาย 7,500 เท่า (ก่อนเผา).....	58
รูปที่ 4.8 ภาพถ่าย SEM ของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา กำลังขยาย 20,000 เท่า (ก่อนเผา).....	58
รูปที่ 4.9 ภาพถ่าย SEM เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น กำลังขยาย 20,000 เท่า (หลังเผา).....	58
รูปที่ 4.10 ภาพถ่าย SEM ของกากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง กำลังขยาย 20,000 เท่า (หลังเผา).....	58
รูปที่ 4.11 ภาพถ่าย SEM ของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา (Sludge) กำลังขยาย 20,000 เท่า (หลังเผา).....	58
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงสัมพันธระหว่างความขุ่นที่เหลืออยู่ (NTU)กับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เมื่อไม่ใช้โคแอกกูแลนต์ในการตกตะกอน (Control).....	64
รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะฟlocsที่เกิดจากการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์.....	65
รูปที่ 4.14 แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับความเข้มข้นเมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์.....	67
รูปที่ 4.15 ลักษณะของน้ำขุ่นหลังตกตะกอนเมื่อใช้กากของเสียอุตสาหกรรมเป็นโคแอกกูแลนต์.....	68
รูปที่ 4.16 แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับความเข้มข้นเมื่อใช้ถ้ำลอยเป็นโคแอกกูแลนต์.....	70
รูปที่ 4.17 แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับความเข้มข้นเมื่อใช้กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง .....	72
รูปที่ 4.18 แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับความเข้มข้นเมื่อใช้กากตะกอนจากระบบทำน้ำประปาเป็นโคแอกกูแลนต์.....	74
รูปที่ 4.19 แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับความเข้มข้นเมื่อใช้เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นเป็นโคแอกกูแลนต์.....	76

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วง 1 – 2 ปีที่ผ่านมา ปัญหาการกักอุตสาหกรรมกำลังเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น จากการรวบรวมจำนวนตัวอย่างการกักอุตสาหกรรมที่ขอรับการบริการการวิเคราะห์จากกลุ่มงานสิ่งแวดล้อม กองพิบัติภัยและวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ พบว่าในปีงบประมาณ 2540 มีจำนวนตัวอย่างการกักอุตสาหกรรม 28 ตัวอย่าง 140 รายการ ในจำนวนนี้มีตัวอย่างเข้าข่ายเป็นกากสารพิษอยู่ 3 ตัวอย่าง ต่อมาในปีงบประมาณ 2541 มีจำนวนตัวอย่างการกักอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นเป็น 78 ตัวอย่าง 624 รายการ มี 31 ตัวอย่างที่เข้าข่าย เป็นกากสารพิษ จะเห็นว่าจำนวนตัวอย่าง มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจาก กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้เพิ่มความเข้มงวด กับโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในเรื่องการจัดกากอุตสาหกรรมมากขึ้น โดยได้มีการยกเลิกประกาศฉบับที่ 1 พ.ศ. 2531 เรื่อง กำหนดวิธีการเก็บทำลายฤทธิ์ กำจัด ผึ่ง ทิ้ง เคลื่อนย้ายและการขนส่ง สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว และให้ใช้ประกาศฉบับที่ 6 พ.ศ. 2540 เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูล หรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วแทนมีผลบังคับใช้เมื่อเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2540

การนำเอาของเสียกลับมาใช้ประโยชน์น่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการลดภาระในการกำจัดและรองรับของเสีย โดยในการวิจัยครั้งนี้ได้นำเอา กากของเสียอุตสาหกรรม ได้แก่ ถ้ำลอยจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า, เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้น, กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง และ กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา ซึ่งมีการใช้สารส้มในการตกตะกอนทางเคมีมาเป็นโคแอกกูแลนต์ใช้ในการตกตะกอนน้ำเสียก่อนนำไปบำบัดในขั้นต่อไป ทั้งนี้การนำกากของเสียอุตสาหกรรมมาใช้เป็นโคแอกกูแลนต์นั้น จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดและสามารถลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยการตกตะกอนทางเคมีต่อไป

ด้วยเหตุจูงใจดังกล่าว จึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาการเตรียมโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียอุตสาหกรรม เนื่องจากการลดปริมาณการใช้สารส้ม และเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากของเสียอุตสาหกรรม รวมทั้งเป็นแนวทางในการพัฒนาการจัดการของเสียอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อนำกากของเสียอุตสาหกรรมมาใช้ให้เป็นประโยชน์ในรูปแบบของสารสร้างตะกอน (Coagulant) ในน้ำเสีย
- 1.2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของกากของเสียอุตสาหกรรม
- 1.2.3 เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายในการจัดทำสารโคแอกกูแลนต์

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 การวิจัยในครั้งนี้ศึกษาความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของเถ้าลอยจากกลุ่มกลุ่มบริษัทโคเจนอเรชั่น (COCO), เศษยางพาราของโรงงานน้ำยางชั้นจากบริษัท อินเตอร์ริบเบอร์ลาเทคซ จำกัด, กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง และกากตะกอนจากระบบทำน้ำประปา เปรียบเทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวในการตกตะกอนทางเคมี และทำการทดสอบกับน้ำดิบสังเคราะห์จากดินคาโอลิไนท์ (Kaolinite clay) โดยทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ
- 1.3.2 การวิจัยนี้ศึกษาความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของกากของเสียอุตสาหกรรม ทั้ง 4 ชนิด โดยมีตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง คือ ความเข้มข้นของน้ำขุ่นสังเคราะห์, ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเข้มข้นของโคแอกกูแลนต์ (Coagulant Dosage) ที่เตรียมมาจากกากของเสียอุตสาหกรรมและสารส้ม
- 1.3.3 วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายและทำการประเมินต้นทุนในการนำกากของเสียอุตสาหกรรมมาเป็นโคแอกกูแลนต์เทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว
- 1.3.4 การศึกษาครั้งนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ และใช้น้ำขุ่นสังเคราะห์ในการทดลอง
- 1.3.5 การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของกากของเสียอุตสาหกรรม จะประเมินประสิทธิภาพโดยใช้ความขุ่น เป็นดัชนีวัดและใช้วิธีจาร์เทสต์ (Jar Test) ตามมาตรฐาน ASTM 1993

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 เพื่อเป็นการนำของเสียอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์ รวมทั้งลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียอุตสาหกรรม
- 1.4.2 เป็นการประยุกต์วิธีการและเทคนิคการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

## 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของกากของเสียอุตสาหกรรมทั้ง 4 ชนิด เทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว มีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

- (1) วิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของกากของเสียอุตสาหกรรม ( ถ้ำลอย, เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้น, กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง และกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา) การวิเคราะห์ทางกายภาพเช่น การหาขนาด และน้ำหนัก ส่วนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน (Atomic Absorption Spectroscopy ,AAS) และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence
- (2) เตรียมโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียอุตสาหกรรมทั้ง 4 ชนิด
- (3) การตรวจสอบหาประจุของโคแอกกูแลนต์
- (4) ประเมินความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอดของกากของเสียอุตสาหกรรม รวมทั้งสารส้มโดยวิธีจาร์เทสต์ตาม ASTM(1993)
  - หาสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพในการตกตะกอนทางเคมี
  - ทำจาร์เทสต์ (Jar Test) โดยการนำกากของเสียอุตสาหกรรมที่เตรียมไว้ในข้อ (2) มาเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม เปรียบเทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว
- (5) ประเมินค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเปรียบเทียบระหว่างการใช้ถ้ำลอย, เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้น, กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยางและกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา



- (6) สรุปลผลการศึกษา
- (7) อภิปรายผลการศึกษาสรุปและเสนอแนะ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

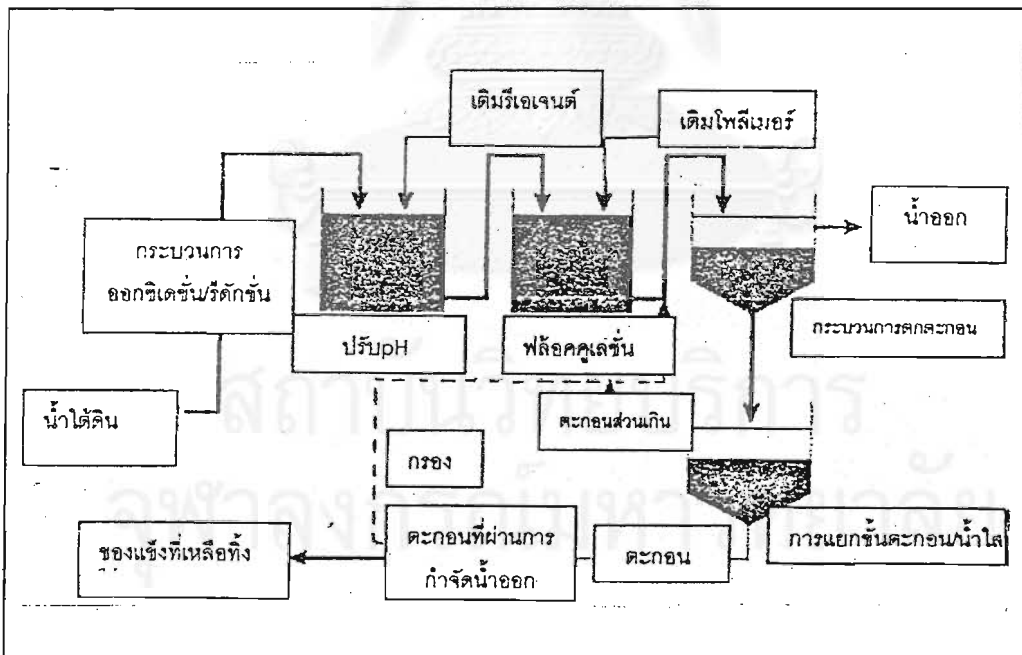
## บทที่ 2

### ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แนวคิดและทฤษฎี

##### 2.1.1 ทฤษฎีกระบวนการตกตะกอน

การตกตะกอนเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมี เพื่อให้อนุภาคสารแขวนลอย ซึ่งเป็นสาเหตุของความขุ่น เกิดการรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ ทำให้เกิดการแยกตัวและตกตะกอนได้ง่าย และถูกกำจัดออกจากระบบได้ กระบวนการดังกล่าวประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ การกวนช้า และการกวนเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบต่างๆของกระบวนการตกตะกอน

ที่มา : Authur D.Litte. Inc(2002)

### 2.1.1.1 การกวนเร็ว ( Rapid Mixing)

การทำงานของกระบวนการที่น้ำดิบถูกส่งไปยังถังกวนเร็ว ซึ่งมีการเติมสารเคมีเพื่อทำลายเสถียรภาพของความขุ่น โดยปกติถังกวนเร็วจะมีเพียงใบเดียว แต่บางครั้งอาจมีการต่อกันอย่างอนุกรมด้วยถึงมากกว่า 1 ใบ เนื่องจากอาจมีการเติมสารเคมีหลายชนิด สารเคมีที่ถูกเติมลงไปในช่วงกวนเร็วจะอยู่ภายใต้สภาวะความปั่นป่วนรุนแรง ทำให้เกิดการกระจายของสารเคมีได้เป็นอย่างดี และเป็นการเพิ่มโอกาสที่จะทำให้อนุภาคต่างๆมาสัมผัสกัน อนุภาคสารแขวนลอยที่ถูกทำลายเสถียรภาพ จะผ่านเข้าสู่การกวนช้า เพื่อรวมตะกอนต่อไป

### 2.1.1.2 การกวนช้า (Slow Mixing)

เป็นการสร้างสภาวะที่เหมาะสมแก่อนุภาคสารแขวนลอยที่สูญเสียเสถียรภาพให้เคลื่อนที่เข้าใกล้กัน เพื่อสร้างโอกาสสัมผัสและใช้เวลานานเพื่อที่จะเปลี่ยนอนุภาคจากขนาดเล็กให้เป็นขนาดใหญ่และพร้อมรับการกำจัดออกจากระบบโดยการตกตะกอน

## 2.1.2 ความสำคัญของการตกตะกอน

การเลือกชนิดและความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนนั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารสร้างตะกอนและคุณสมบัติของน้ำ แต่อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามคุณสมบัติของน้ำ ดังนั้นในการตกตะกอนโดยใช้สารในการสร้างตะกอนทุกครั้งจึงต้องมีการทดสอบเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารที่ใช้ โดยวิธีที่เรียกว่า จาร์เทสต์ (Jar Test)

เครื่องมือในการทำจาร์เทสต์นั้นประกอบด้วยใบพัดสำหรับกวนน้ำ (Paddle) จำนวน 6 ใบพัดที่หมุนรอบในแนวนอน ซึ่งใช้ในการทดสอบน้ำตัวอย่างและสารสร้างตะกอนที่ใช้ในบีกเกอร์ (Beaker) โดยปกติแล้วในการทำจาร์เทสต์จะมีช่วงของการกวนเร็ว (Rapid Mix Phase) ซึ่งให้ความเร็วรอบในการกวนสูง และใช้เวลาในการกวนน้อย ช่วงการกวนเร็วนี้เป็นการเติมสารสร้างตะกอน (Coagulant) ลงในบีกเกอร์ที่ทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สารเคมีที่ใช้ มีการกระจายตัวออกและผสมกับน้ำอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ หลังจากการกวนเร็วแล้วจะเป็นช่วงกวนช้า (Slow Mix Phase) เพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสสัมผัสกัน และรวมตัวกันเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้น (Aggregation) หลังจากนั้นจึงปล่อยให้ตะกอนที่เกิดขึ้นแยกตัวออกจากน้ำโดย

การปล่อยให้ตกตะกอนแล้วนำน้ำมาวัดค่าความขุ่นที่ถูกกำจัดออกไปหรือความขุ่นที่เหลือในน้ำ (Residual Turbidity) นั้น แล้วนำไปเขียนกราฟ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ในการสร้างตะกอนในปริมาณที่เหมาะสม (สุพิระ, 2532)

### 2.1.3 กระบวนการโคแอกกูเลชัน ( Coagulation Process )

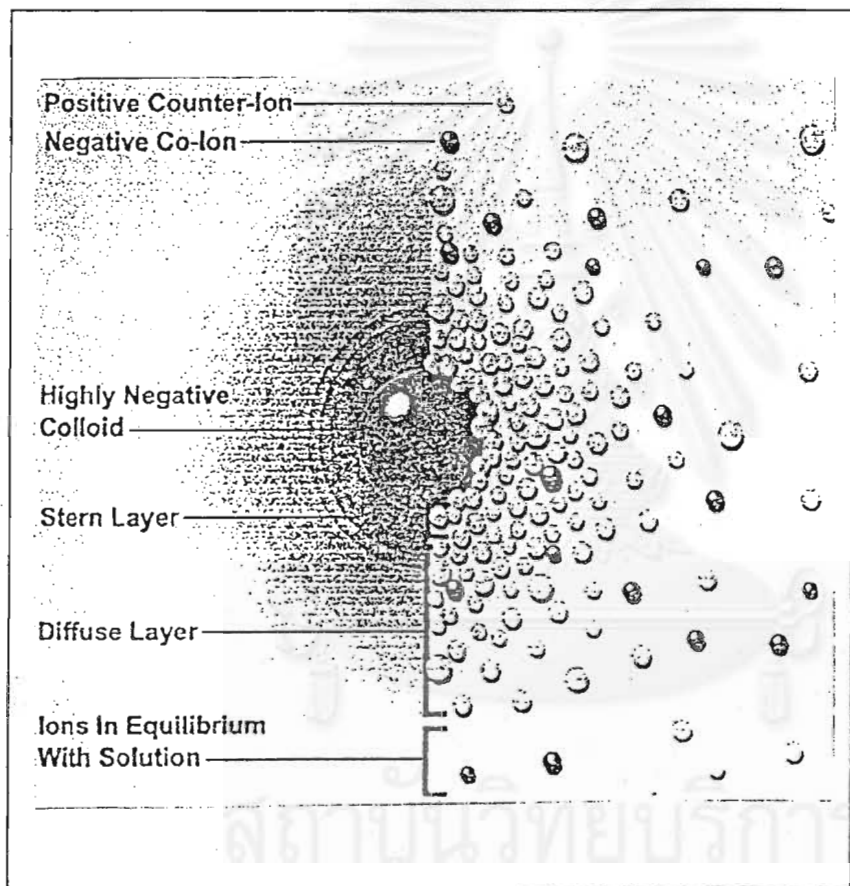
#### 2.1.3.1 ความสำคัญและหลักการ

กระบวนการโคแอกกูเลชัน หมายถึง กระบวนการทั้งหมดในการทำให้อนุภาคคอลลอยด์มารวมกันเป็นฟล็อก (Floc) โคแอกกูเลชันหรือการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆมารวมกันและจับตัวกันเป็นฟล็อก มี 2 ขั้นตอน ดังนี้

1) การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ (Destabilization) โดยการลดแรงผลักระหว่างอนุภาคโดยกลไกใดกลไกหนึ่ง ใน 4 รูปแบบที่จะกล่าวต่อไปนี้

-โดยการลดความหนาของชั้นกระจาย(Diffuse Layer) การเพิ่มจำนวนไอออนที่ประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาค (Counter Ion) ในชั้นกระจาย ผลที่เกิดขึ้นคือ ชั้นกระจายมีความหนาลดลง

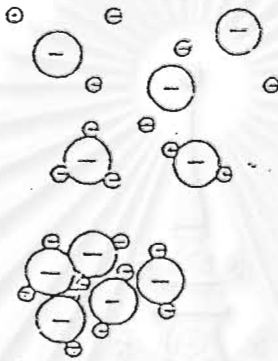
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



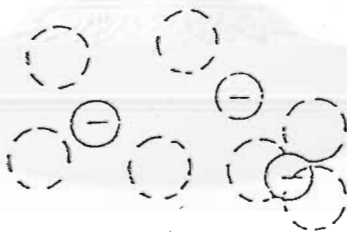
รูปที่ 2.2 เคาน์เตอร์ไอออน

ที่มา :Zeta potential Inc (2002)

-โดยการทำลายอำนาจประจุของคอลลอยด์ (กลไกแบบดูดติดผิว)  
(Absorption/Charge Neutralization) กลไกการดูดติดผิวจะมีผลในการลดอำนาจศักย์ไฟฟ้าและ  
ทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ดังรูปที่ 2.3



ก) กลไกการดูดติดและทำลายเสถียรภาพ



ข) กลไกแบบจับอนุภาคไว้ในผลึกสารประกอบ

รูปที่ 2.3 ลักษณะการเกิดโคแอกกูเลชัน โดยกลไกการดูดติดผิวและทำลาย  
เสถียรภาพและกลไกแบบจับอนุภาคไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น  
ที่มา: มั่นสิน (2538)

- โดยการใช้สารอินทรีย์เพิ่มน้ำหนัก และขนาดของอนุภาคคอลลอยด์ หรือโดยห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น

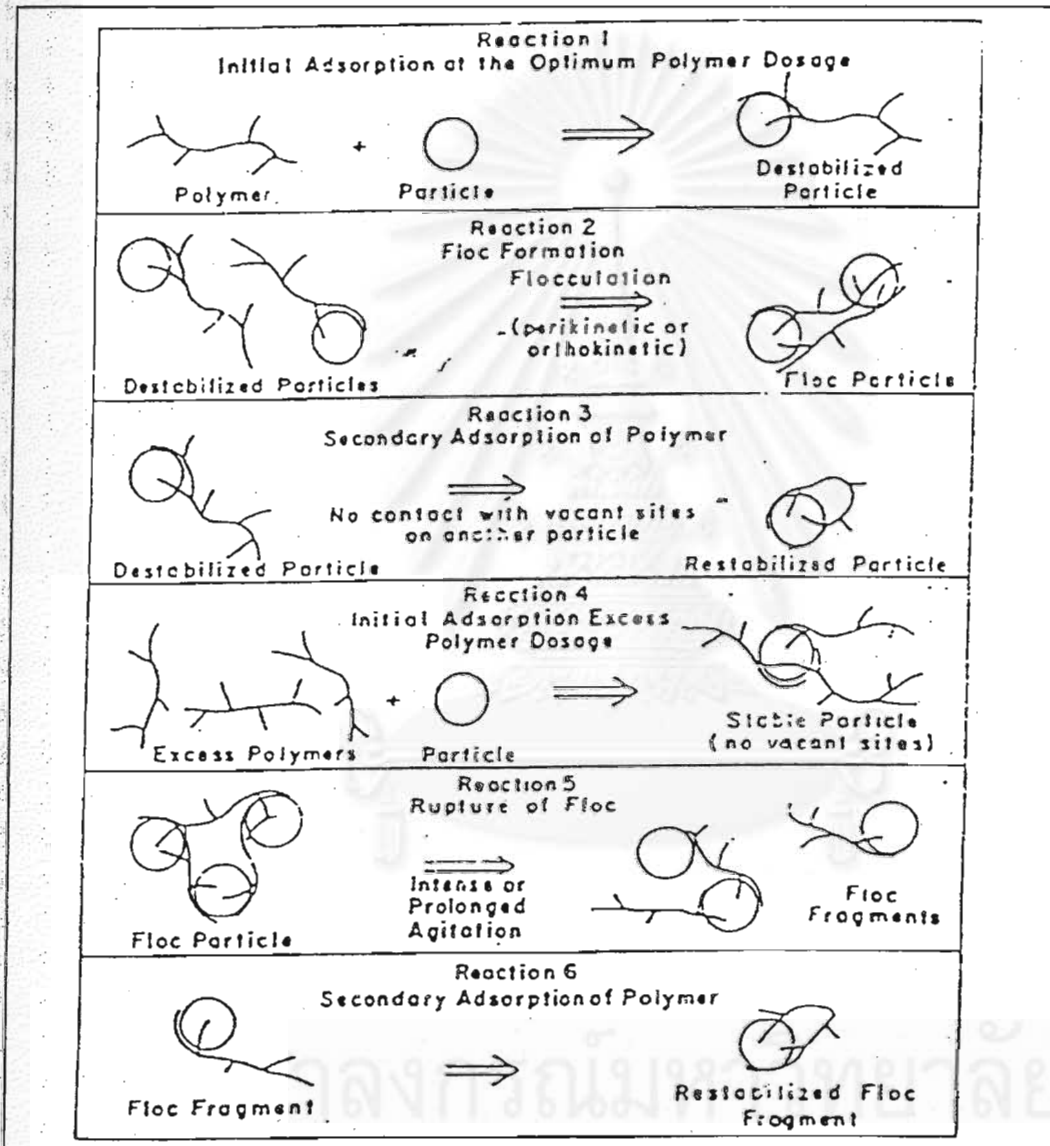
กลไกดังกล่าวเกิดขึ้นโดยการเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไปในน้ำในปริมาณที่พอเพียง จะมีการตกผลึกเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นแกนในของผลึกดังกล่าวเพื่อทำให้ผลึกมีขนาดใหญ่หรืออาจรวมตัวกันเป็นผลึก ซึ่งเป็นการเพิ่มขนาดและน้ำหนักให้กับอนุภาคคอลลอยด์

การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์โดยวิธีนี้ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม (Optimum Dosage) จะแปรผกผันกับความเข้มข้นของคอลลอยด์นั้น หมายถึงว่า ต้องใช้ปริมาณโคแอกกูแลนต์มากขึ้นกับน้ำที่มีความขุ่นน้อย ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีความขุ่นสูง ปริมาณโคแอกกูแลนต์จะน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำที่มีความขุ่นต่ำโอกาสที่อนุภาคจะสัมผัสกันมีน้อยกว่า ดังนั้นแม้ว่าจะมีการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ กระบวนการโคแอกกูแลชันอาจเกิดไม่ดี จึงต้องใช้โคแอกกูแลนต์ในปริมาณมากเพื่อสร้างผลึกสำหรับเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์

- โดยการใช้สารอินทรีย์โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ สารอินทรีย์โพลีเมอร์ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบธรรมชาติมีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้ง เซลลูโลส น้ำตาลบางชนิด และโปรตีนบางชนิด รวมทั้งสารอินทรีย์โพลีเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นสามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ในการกำจัดคอลลอยด์ได้ โดยสารประกอบอินทรีย์ธรรมชาติเหล่านี้อาจมีหรือไม่มีประจุก็ได้

การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์สามารถอธิบายได้ด้วยโมเดลที่เรียกว่า Polymer Bridging ดังแสดงในรูปที่ 2.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 กลไกของการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบเชื่อมต่อกันด้วยโพลีเมอร์  
 ที่มา: Werber, W.J. Jr. (1972)



จากปฏิกิริยาที่ 1 โมเลกุลของโพลีเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง การเกาะติดดังกล่าวเนื่องมาจากประจุที่ต่างกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์ หรือเป็นแรงของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างประจุที่เหมือนกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์ หรือเป็นแรงของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างประจุที่เหมือนกันของโพลีเมอร์คอลลอยด์ อนุภาคคอลลอยด์จะถูกทำให้สูญเสียเสถียรภาพ (Destabilized Particle) โดยการเกาะติดของโพลีเมอร์ดังปฏิกิริยาที่ 2 การเชื่อมต้อจะเกิดรบกวนที่โพลีเมอร์และตำแหน่งว่างบนอนุภาคเดิม (ปฏิกิริยาที่ 3) ทำให้ไม่มีปลายที่จะจับอนุภาคอื่นและทำให้มีตำแหน่งว่างบนอนุภาคสำหรับยึดเกาะน้อยลง อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกสารโพลีเมอร์ยึดเกาะหลายตำแหน่งว่างบนอนุภาคสำหรับยึดเกาะน้อยลง อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกสารโพลีเมอร์ยึดเกาะหลายตำแหน่งจนไม่มีปลายอิสระและไม่มีการว่างดังกล่าวจะทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพขึ้นมาใหม่ (Restabilized Particle) ดังปฏิกิริยาที่ 4 ดังนั้นปริมาณโพลีเมอร์ที่มากเกินไปจะก่อให้เกิดผลเสีย เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นแบบที่มีเสถียรภาพ และอาจทำให้ปลายอิสระของโพลีเมอร์เกาะจับบนอนุภาคอื่นเดิม (ปฏิกิริยาที่ 5,6) เสถียรภาพของคอลลอยด์จึงกลับคืนมาใหม่

Josef Vestrcil และ Frantisek Juracka (1976) ได้กล่าวไว้ใน Commercial Organic Flocculant ว่า ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยการพัฒนากระบวนการที่เป็นวิทยาการใหม่ มีการใช้สารประกอบอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (Organic High Molecule Weight Compound) ซึ่งเป็นกลุ่มชื่อที่แบ่งตามหน้าที่ที่นำไปใช้ ซึ่ง Organic Flocculant ก็จัดอยู่ในกลุ่มนี้เช่นเดียวกัน ส่วนใหญ่จะมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคความขุ่น (Colloidal Suspension) โดยส่วนใหญ่เป็นการสร้างสะพานเชื่อม (Forming Bridge) ระหว่างอนุภาคความขุ่นที่กระจายอยู่ในน้ำด้วยสารที่เรียกว่า โพลีอิเล็กโทรไลต์หรือโพลีเมอร์

2) การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ เคลื่อนที่มากระทบหรือสัมผัสกันมากที่สุด (Transport of colloidal particle) เมื่ออนุภาคคอลลอยด์ถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว การสร้างโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคย่อมเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าเดิม นอกจากนั้น เมื่ออนุภาคต่างๆ สัมผัสกันแล้วควรเกาะติดแน่นและหลุดออกจากกันน้อยที่สุด

การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Coagulation) ซึ่งจะมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ  
ได้แก่

-กำจัดความขุ่นอันเนื่องมาจากสารอินทรีย์และอนินทรีย์

- กำจัดสี
- กำจัดแบคทีเรีย
- กำจัดสาหร่าย
- กำจัดสารซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดกลิ่นและรสในน้ำ
- กำจัดฟอสเฟต ซึ่งเป็นสารอาหารในการเจริญเติบโตของสาหร่าย
- กำจัดสารอื่นๆ เช่น โลหะหนัก เป็นต้น

### 2.1.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโคแอกกูเลชัน มีหลายประการดังนี้

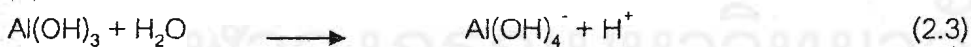
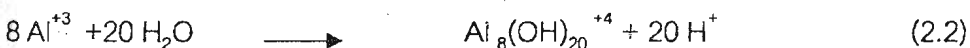
- 1) ชนิดของคอลลอยด์ในน้ำ เนื่องจากคอลลอยด์ในน้ำเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์มีสภาพเป็นประจุบวกหรือลบ ดังนั้น ถ้าหากทราบชนิดของคอลลอยด์ จะได้เลือกใช้สารที่ใช้ตกตะกอนได้อย่างเหมาะสม
- 2) ชนิดของสารสร้างตะกอน สารสร้างตะกอนแต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับคอลลอยด์แต่ละชนิดไม่เหมือนกัน ตลอดจนคุณสมบัติในการตกตะกอนและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในน้ำนั้นจะต้องมีการเลือกใช้งานให้เหมาะสมระหว่างชนิดของคอลลอยด์และสารที่ใช้ในการสร้างตะกอน
- 3) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสมในการตกตะกอน ประสิทธิภาพของสารที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละชนิด จะดีที่สุดในช่วงความเป็นกรด-ด่าง (pH) หนึ่งเท่านั้น จึงต้องมีการปรับให้เหมาะสม
- 4) เวลาและความแรงของการผสมเพื่อให้สารเคมีกระจายตัว การทำให้สารเคมีสามารถละลายน้ำอย่างทั่วถึง เพื่อให้เกิดการสร้างตะกอนจึงจำเป็นต้องกวนน้ำอย่างรุนแรงด้วยเวลาอันสั้นเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างทั่วถึง และหลังจากนั้นเมื่อต้องการให้เกิดการรวมตัวของตะกอน จึงต้องใช้การกวนอย่างช้า ๆ เพื่อไม่ให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสรวมตัวกันและกันมากที่สุด

## 2.1.4 กลไกการตกตะกอนด้วยสารส้ม

สารสร้างตะกอนที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีหลายชนิด แต่ที่นิยมกันมากที่สุด ได้แก่ สารส้ม และสารประกอบเหล็กบางตัว สารส้มมีสูตรโมเลกุล คือ  $Al_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$  ส่วนสารประกอบเหล็กที่นิยมกัน ได้แก่  $FeCl_3$  และ  $FeSO_4$

สารส้ม จัดได้ว่าเป็นสารประเภทเกลือกรด ดังนั้นจึงสามารถกัดกร่อนโลหะ และละลายน้ำได้ดีอาจอยู่ในรูปของของแข็ง หรือสารละลายก็ได้ สามารถทำลายเสถียรภาพของความขุ่นจนสามารถเกิดตะกอนได้เมื่อเติมสารส้มลงไป ในน้ำ โมเลกุลของสารส้มซึ่งมีสูตรโมเลกุล เป็น  $Al(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  นั้น จะมีการแตกตัวของไอออนบวก ได้อลูมิเนียมไอออน ( $Al^{+3}$ ) ซัลเฟตไอออน ( $SO_4^{2-}$ ) และสารประกอบเชิงซ้อนอีกจำนวนมาก (Complex Ion) เนื่องจากอลูมิเนียมไอออน ( $Al^{+3}$ ) มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) จึงเกิดไฮโดรไลซิสของอลูมิเนียม ได้สารต่าง ๆ เช่น  $Al(OH)^{+2}$ ,  $Al(OH)_2^{+2}$ ,  $Al(OH)_3$ ,  $Al(OH)_4^-$ ,  $Al(OH)_5^{2-}$ ,  $Al(OH)_6^{3-}$  ซึ่งเป็นไอออนที่มีอลูมิเนียมเพียงอะตอมเดียว เรียกว่า Monomeric Hydroxo Complex และมีความสามารถในการทำปฏิกิริยารวมตัวกันเป็นสารประกอบที่มีอลูมิเนียมมากกว่า 1 อะตอม เรียกว่า Polymeric Hydroxo Complex เช่น  $Al_{13}(OH)_{34}^{+5}$ ,  $Al_7(OH)_{20}^{+4}$  และ  $Al_6(OH)_{15}^{+3}$

ผลการวิจัยในอดีตของ Werber W.J. Jr. (1972) แสดงให้เห็นว่า สารคอมเพล็กซ์ของอะลูมิเนียมในน้ำที่อยู่ภายใต้สภาวะปกติ มี 4 ชนิด คือ  $Al^{+3}$ ,  $Al(OH)^{+2}$  และ  $Al(OH)_4^-$

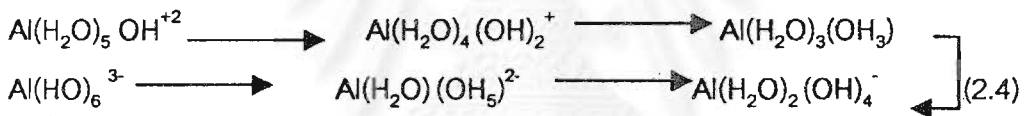


นอกจากนี้งานวิจัยเกี่ยวกับเคมีของสารส้มในน้ำที่กระทำในอดีต ทำให้ได้ข้อมูลที่สำคัญ 3 ประการ คือ

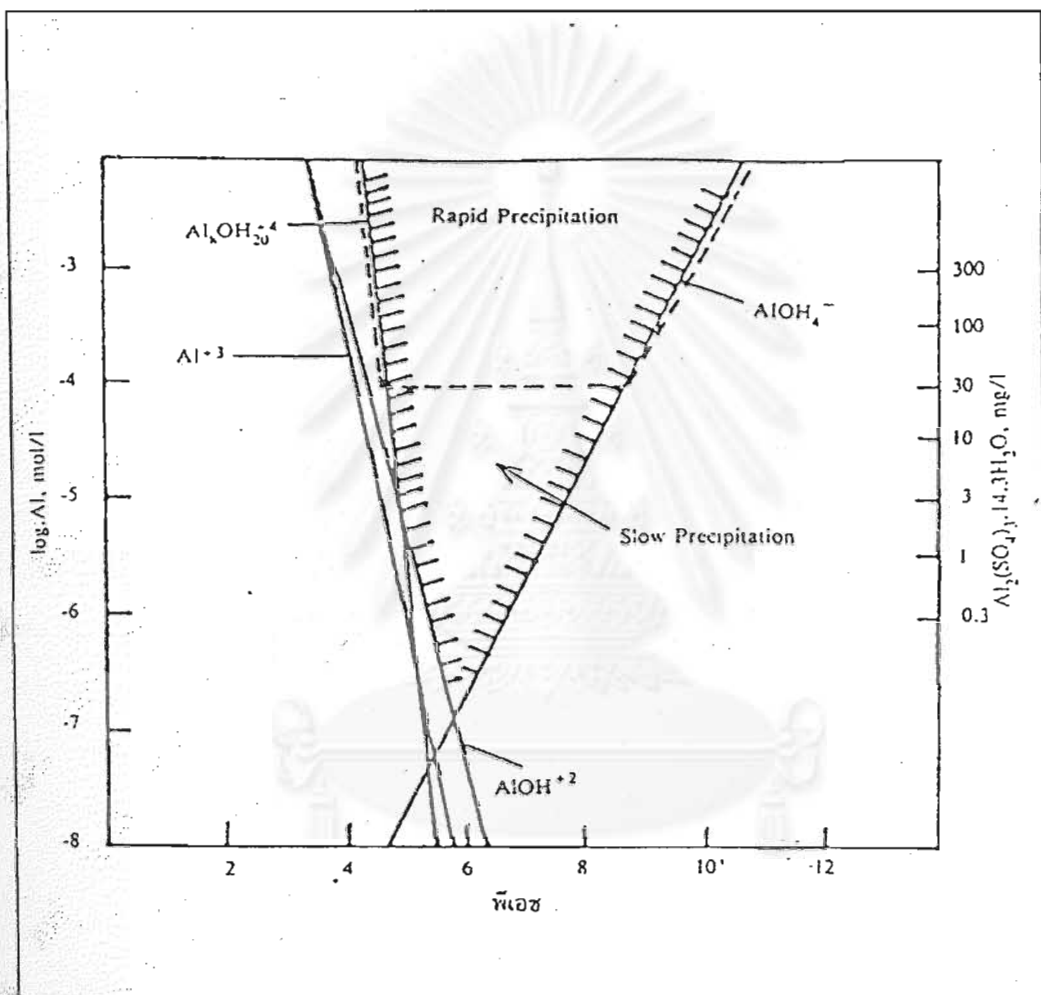
- 1) อีออนคอมเพล็กซ์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl Metal Complex) พร้อมทั้งจะดูทิศทางของอนุภาคคอลลอยด์ คอลลอยด์จะแสดงประจุเป็นตรงข้ามกับของเดิม (Charge Reversal)

2) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเป็นปัจจัยกำหนดความเข้มข้นและชนิดของ อีออนคอมเพล็กซ์ต่างๆ ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (ดังแสดงในรูปที่ 2.5) ความสัมพันธ์ ระหว่างความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเข้มข้นของอีออนคอมเพล็กซ์ชนิดต่างๆ สามารถแสดงได้ ด้วยไดอะแกรมที่เรียกว่า Stability Diagram

3) ฟลอคสารส้มที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นกลางจะมีประจุบวก แต่จะกลายเป็นประจุลบเมื่อค่าพีเอชเป็นด่าง จากรูปที่ 2.5 น้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ (pH) จะมีปริมาณ  $Al^{+3}$  มากที่สุด และเมื่อความเป็นกรด-ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น ชนิดอีออนคอมเพล็กซ์ที่มีประจุลบจะน้อยลง ดังสมการที่ 2.4



จากรูปที่ 2.5 แสดงว่า น้ำที่มีพีเอชต่ำ จะมี  $Al^{+3}$  มากที่สุด เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นจะได้ อีออนที่เป็นบวกลดลง เมื่อพีเอชเข้าใกล้ความเป็นกลาง สารประกอบ  $Al(OH)_3$  ซึ่งเป็นของแข็งจะเกิดขึ้นมากกว่าอีออนอื่นๆ พื้นที่ในเขตที่แรเงาไว้แสดงถึงบริเวณที่มีการตกผลึกของ  $Al(OH)_3$  ตามทฤษฎี อย่างไรก็ตามนักวิจัยเชื่อว่าการตกผลึกอาจเกิดขึ้นในอัตราช้ามากเมื่อใช้สารส้มน้อย ดังนั้นในทางปฏิบัติจะต้องมีสารส้มไม่น้อยกว่า 30 มก./ล. จึงจะมีผลึก  $Al(OH)_3$  เกิดขึ้นในอัตราเร็วพอสมควร พื้นที่ในเส้นประแสดงถึงบริเวณที่มีการตกผลึกของ  $Al(OH)_3$  ในทางปฏิบัติเมื่อพีเอชอยู่ในช่วงของความเป็นด่าง อีออนคอมเพล็กซ์จะมีประจุลบ ด้วยเหตุนี้การทำโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มให้กับน้ำธรรมชาติ จึงควรมีพีเอชเป็นกลางหรือกรดเล็กน้อย น้ำไม่ควรมีพีเอชต่ำเนื่องจาก  $Al^{+3}$  ไม่ดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์ ดังนั้นแม้ว่าจะมีประจุบวกมากก็ไม่ดีเหมือนอีออนคอมเพล็กซ์อื่นที่มีประจุน้อยกว่าแต่ดูดติดผิวอนุภาคได้ น้ำไม่ควรมีพีเอชสูงเนื่องจากจะได้อีออนที่มีประจุลบซึ่งไม่มีประโยชน์ในการทำโคแอกกูแลนต์ ให้กับคอลลอยด์ซึ่งมีประจุลบเหมือนกัน



รูปที่ 2.5 Stability Diagram ของสารส้มในน้ำที่ไม่มี ความขุ่น

ที่มา : Weber, W.J. Jr. (1972)

### 2.1.5 การตกตะกอนเมื่อใช้สารช่วยตกตะกอน (Coagulant Aid)

สารช่วยในการตกตะกอน หมายถึง สารที่ช่วยทำให้การตกตะกอนดียิ่งขึ้น ความสามารถในการกำจัดความขุ่นออกจากน้ำดีขึ้น ทำให้ตะกอนแข็งแรงขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดเวลาในการตกตะกอนได้ด้วย สารเคมีที่ใช้เป็นตัวช่วยในการตกตะกอนมีหลายชนิด แต่ที่นิยม ได้แก่ แอกติเวตเต็ดซิลิกา (Activated Silica) , ดินเหนียวชนิดต่างๆ และสารอินทรีย์โพลีเมอร์ (Organic Polymer)

สารอินทรีย์โพลีเมอร์ เป็นสารที่มีการใช้อย่างกว้างขวางในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โพลีเมอร์ (Polymer) เป็นโมเลกุลที่เกิดจากลูกโซ่ของโมโนเมอร์ ซึ่งเป็นหน่วยเล็กๆ ของโครงสร้างทางเคมีหลายๆตัวมาจับเรียงกัน อาจมีขนาดใหญ่หรือเล็กก็ได้

โพลีเมอร์อาจแบ่งได้อย่างกว้างๆ เป็น 2 ชนิด คือ โพลีเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ (Natural Polymer) และโพลีเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ (Synthetic Polymer) โพลีเมอร์บางครั้งอาจเรียกว่า โพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolytes) เมื่อพิจารณาถึงประจุที่อยู่บนสายของโพลีเมอร์ (Polymes Chain) ดังนั้น จึงสามารถแบ่งโพลีเมอร์ออกได้เป็น 3 ชนิด ตามประจุมี่อยู่ ดังนี้

- Anionic Polymer เป็นโพลีเมอร์ที่มีประจุลบ เช่น Polymeracrylamide
- Cationic Polymer เป็นโพลีเมอร์ที่มีประจุบวก เช่น Polyamide
- Nonionic Polymer เป็นโพลีเมอร์ที่ไม่มีประจุ (No Ionic Charge) เช่น แป้ง

โพลีเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ (Synthetic Polymers) เป็นการนำโมโนเมอร์หนึ่งหรือสองชนิดมารวมกัน ซึ่งสามารถจะจัดการสังเคราะห์ขึ้นได้ตามวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน การสังเคราะห์สามารถกำหนดให้มีขนาด (Size) แตกต่างกัน มีผลให้มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน (Molecule Weight) นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดกลุ่มของประจุ และจำนวนประจุได้ตามต้องการ (Charge Density)

โพลีเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ (Natural Polymer) โพลีเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีหลายชนิด เช่น เซลลูโลส (Cellulose) , เจลาติน (Gelatin) หรืออาจได้จากส่วนต่างๆ ของต้นพืช จากสาหร่ายทะเล จากผลิตภัณฑ์ของสัตว์น้ำ หรือจากดินชนิดต่างๆ

การศึกษาการนำโพลีเมอร์จากธรรมชาติมาใช้ในการเป็นสารช่วยตกตะกอน มีดังนี้ Cox (1964) ทำการศึกษาการนำดินเบนโทไนด์มาใช้เป็นสารช่วยตกตะกอนเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ พบว่า ดินเบนโทไนด์ที่สามารถใช้ร่วมกับสารส้มและลดปริมาณสารส้มได้หลายเท่า ต่อมา เพ็ญประภา (2539) ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการนำเบนโทไนด์มาใช้บำบัดสีและ COD ในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยวิธีการตกตะกอน โดยกำหนดระดับการเติมปริมาณเบนโทไนด์เป็น 6 ระดับ คือ 0, 200, 400, 600, 800 และ 1,000 มก./ล. และปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็น 3 ระดับ คือ 10, 11 และ 12 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมขึ้นอยู่กับปริมาณเบนโทไนด์และระดับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เริ่มต้นของน้ำเสีย ซึ่งสถานะที่จะมีประสิทธิภาพเหมาะสำหรับการกำจัดสีและ COD ในน้ำเสีย คือ สถานะที่ใช้ปริมาณเบนโทไนด์ตั้งแต่ 200 มก./ล. ขึ้นไป และมีระดับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) น้ำเสีย เป็น 12

สำหรับการนำส่วนต่างๆของพืชและสัตว์มาใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ที่ได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง ในปี 2536 เบญจา ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการเป็นโคแอกกูแลนต์เอดของผงแป้งเมล็ดมะขามซึ่งเป็นโพลีเมอร์ที่มีประจุลบ พบว่า ผงแป้งเมล็ดมะขาม ไม่สามารถเป็นโคแอกกูแลนต์ตามลำพังได้ เนื่องจากสามารถลดความขุ่นในน้ำดิบได้เพียงร้อยละ 30-60 แต่สามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้มได้ดี ฟลอคที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่ ทำให้สามารถตกตะกอนได้เร็วกว่าฟลอคที่เกิดจากสารส้มเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อน้ำดิบมีความขุ่นตั้งแต่ 100 NTU ขึ้นไป การใช้ผงแป้งเมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอด สามารถลดค่าความขุ่นที่เหลือได้ต่ำกว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว ณัฐนารถ (2538) ทำการทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของมะรุม พบว่ามะรุมไม่สามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เพียงอย่างเดียวได้เช่นเดียวกับเมล็ดมะขาม ถึงแม้จะสามารถลดความขุ่นได้ 40-90 เปอร์เซ็นต์ก็ตาม แต่ค่าความขุ่นตกค้างที่ได้อาจยังมีค่าสูง และปริมาณที่ต้องเติมนับว่าสูงมาก สำหรับการใช้น้ำเมล็ดมะรุมร่วมกับสารส้ม จะให้ประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่นตกค้างได้ดีกว่า และสามารถให้ค่าความขุ่นตกค้างเป็น 10 NTU ทั้งนี้การเติมเมล็ดมะรุมก่อนการเติมสารส้มจะให้ประสิทธิภาพดีกว่าการเติมสารส้มก่อนการเติมเมล็ดมะรุม สำหรับตัวทำละลายในการเตรียมสารโคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะรุม ที่เหมาะสมคือ กรดไฮโดรคลอริก และน้ำตามลำดับ

อัศวิน (2539) ทำการศึกษาความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดของโคโคแซน พบว่า โคโคแซนสามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดได้ดี โดยลดปริมาณการใช้สารส้มลงร้อยละ 30, 50 และ 70 ของปริมาณสารส้มที่เหมาะสม พบว่าสามารถกำจัดความขุ่นได้สูงกว่า

การใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำขุ่นที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6-8 ดังนั้นการใช้โคโคแทนเป็นโคแอกกูแลนต์ในปริมาณที่เหมาะสมจะสามารถลดปริมาณการใช้สารส้มได้ถึงร้อยละ 50 และคุณภาพน้ำหลังการตกตะกอนยังคงเป็นไปตามมาตรฐาน

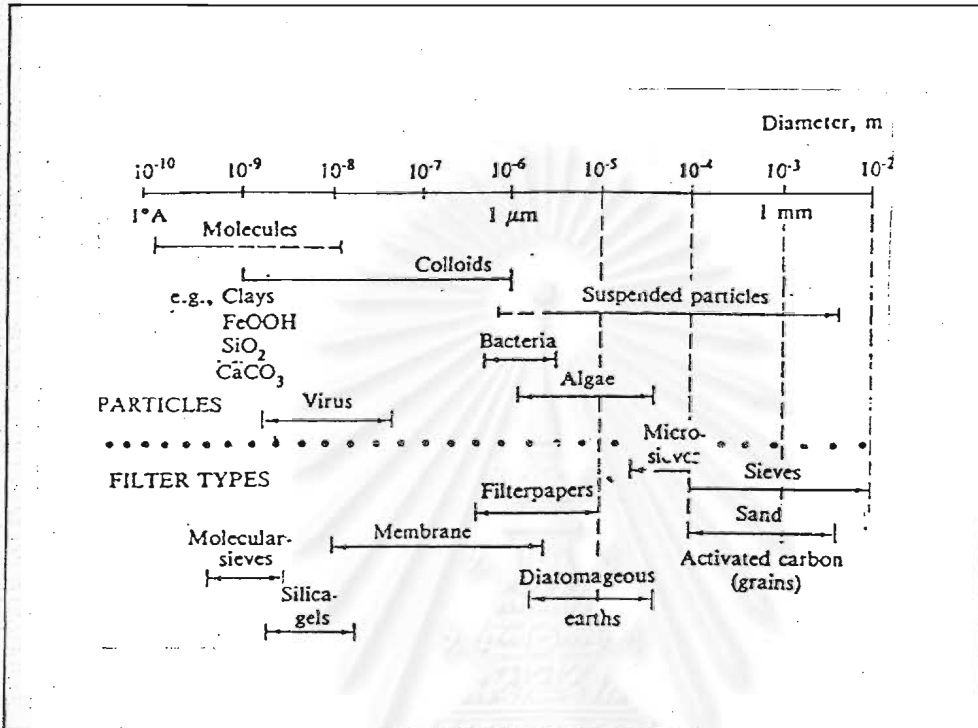
อันที่จริงแล้วโพลีเมอร์อาจนำมาใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ตามลำพังได้ แต่โพลีเมอร์ดังกล่าวต้องมีคุณสมบัติในการเกาะติดกับผิวของอนุภาคความขุ่น และจะมีความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างความเข้มข้นของความขุ่นกับโพลีเมอร์ที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยทั่วไปจะนำไปใช้เป็นสารช่วยตกตะกอนมากกว่า นอกจากนี้แม้ว่าโพลีเมอร์จะสามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้ แต่ไม่สามารถใช้ตามลำพังกับน้ำที่มีความขุ่นต่ำ เนื่องจากโพลีเมอร์ไม่สามารถสร้างเปปัสสัมผลเพิ่มขึ้น ดังนั้นโอกาสการสัมผัสกันของน้ำที่มีความขุ่นต่ำจึงน้อยกว่า และไม่สามารถสร้างฟลอคขนาดใหญ่ได้

#### 2.1.6 ระบบคอลลอยด์

ระบบคอลลอยด์ หมายถึง ระบบที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วไปในสารตัวกลางซึ่งมีสถานะเป็นเนื้อเดียว (Continuos Medium) อนุภาคต่างๆนั้นเรียกว่า Dispersing Phase หรือ Dispersed Medium (มันสิน,2538)

ลักษณะสำคัญของระบบคอลลอยด์ คือ บทบาทของผิวสัมผัสระหว่าง Dispersed Phase และ Dispersing Phase ขนาดที่เล็กมากของ Disperse Phase ทำให้น้ำหนักไม่มีความสำคัญเทียบเท่ากับผิวของสาร ระบบคอลลอยด์ที่มีบทบาทสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสีย คือ ระบบที่ประกอบด้วยของแข็งและของเหลวเป็นลักษณะที่ของแข็งจะแขวนลอยอยู่ในของเหลว โดยระบบดังกล่าวจะก่อให้เกิดความขุ่นในน้ำนั่นเอง





รูปที่ 2.6 แสดงการจำแนกขนาดของสารต่างๆในน้ำ

ที่มา : มั่นสิน (2538)

ความขุ่นที่เกิดจากอนุภาคคอลลอยด์ โดยทั่วไปถือว่ามีขนาดที่มีขนาด  $10^{-6}$  มิลลิเมตร (1nm) จนถึง  $10^{-3}$  มิลลิเมตร (1 ไมครอน) เป็นอนุภาคคอลลอยด์ ดังรูปที่ 2.6 จากการคำนวณปรากฏว่า ในการตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์ขนาด  $1 \times 10^{-4}$  มม. เป็นระยะทาง 1 เมตร ต้องใช้เวลานานถึง 730 วัน ดังตารางที่ 2.1 (มั่นสิน, 2538) อนุภาคของแข็งในดินจะแขวนลอยอยู่ในน้ำอย่างถาวรนั้นต้องมีขนาดเล็กมาก ส่วนใหญ่ถือว่าจะต้องเล็กกว่า 0.001 มิลลิเมตร (มม.) หรือ ไมครอน โดยเฉพาะของอนุภาคดินเหนียวจะมีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอนและอนุภาคของดินที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 ไมครอนขึ้นไป จัดว่าเป็นดินตะกอน (Silt) และทราย (Sand) ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบอัตราเร็วในการตกตะกอนสารต่างๆ

สารต่างๆ	เส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.)	เวลาที่ต้องการในการตกตะกอน ไกล 1 เมตร
กรวด	10	1 วินาที
ทรายหยาบ	1	10 วินาที
ทรายละเอียด	0.1	120 วินาที
ตะกอนดิน (Silt)	0.01	120 นาที
แบคทีเรีย	0.001	192 ชม.
คอลลอยด์	0.0001	730 วัน
	0.00001	10 ปี
	0.000001	มากกว่า 20 ปี

ที่มา: มั่นสิน (2538)

## 2.1.7 สภาวะคงตัวและไม่คงตัวของคอลลอยด์

### 2.7.1.1 สภาวะคงตัวของคอลลอยด์

สภาวะคงตัวของอนุภาคสารคอลลอยด์ที่กระจายอยู่ในน้ำนั้นสัมพันธ์โดยตรงกับประจุไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาค ประจุไฟฟ้าเหล่านี้อาจเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของหน่วยผลึก (Lattice Unit) ของอนุภาคหรือเกิดจากอนุมูล (Ion) ในน้ำที่ถูกดูดติด (Adsorb) ที่ผิวของอนุภาคหรือเกิดจากกลุ่มที่สามารถแตกตัวเป็นอนุมูล (Ionizable group) อย่างไรก็ตามอนุภาคคอลลอยด์ที่กระจายในน้ำธรรมชาติ มักจะมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ

ระบบคอลลอยด์ ประกอบด้วยอนุภาคของแข็งและน้ำจะมีประจุไฟฟ้ารวมเป็นศูนย์(ไม่มีประจุไฟฟ้า) ดังนั้นประจุไฟฟ้าที่ผิวของสารคอลลอยด์จึงถูกควบคุมโดยประจุตรงข้ามภายในน้ำทฤษฎีที่มาอธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวได้แก่ ทฤษฎีว่ามีประจุไฟฟ้าสองชั้น (Electrical Double Layer) ล้อมรอบอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งได้แก่ชั้นตรึง (Fix Layer) และชั้นกระจาย (Diffuse Layer) โดยชั้นตรึงจะประกอบด้วยประจุไฟฟ้าตรงข้ามที่เกาะติดอยู่บนผิว

อนุภาค ด้วยแรงดึงดูดเข้าสู่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์มีความหนาแน่นลดลงตามระยะห่างจากผิว ชั้นที่ประจุไฟฟ้าตรงข้ามกระจายอยู่นี้เรียกว่า ชั้นกระจายซึ่งจะมีขนาดหรือลักษณะอย่างไรขึ้นกับ ประจุไฟฟ้าของคอลลอยด์ ตลอดจนปริมาณและชนิดของอนุมูลในน้ำ ประจุไฟฟ้าของอนุภาค คอลลอยด์ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้า (Electrical Potention) ระหว่างผิวของอนุภาคกับน้ำที่อนุภาค ศักย์ไฟฟ้างกล่าวจะมีค่าสูงสุดบริเวณผิวและลดลงตามระยะที่ห่างจากผิว เมื่ออนุภาคคอลลอยด์ที่มีประจุเดียวกันเคลื่อนที่เข้าหากันจะเกิดแรงผลักรั้งอนุภาคเข้าใกล้กันมาก แรงผลักระหว่างอนุภาคจะมากขึ้น และจะไปต้านแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคสาร คอลลอยด์กับประจุไฟฟ้าตรงข้ามในน้ำ โดยแรงดังกล่าวจะมีค่ามากในขณะที่แรงอนุภาคลดลง ดังนั้น ถ้าศักย์ไฟฟ้า หรือแรงผลักรั้งมีค่ามากในขณะที่แรงแวนเดอร์วาลส์มีค่าน้อย อนุภาคคอลลอยด์จะไม่สามารถสัมผัสและรวมตัวกันได้ จึงยังคงกระจายในน้ำ และยังคงรักษาเสถียรภาพของ คอลลอยด์ไว้ เรียกว่า สภาวะ คงตัวของคอลลอยด์

#### 2.7.1.2 สภาวะไม่คงตัวของคอลลอยด์

ปรากฏการณ์ที่ทำให้เกิดสภาวะไม่คงตัวของคอลลอยด์ในน้ำเปลี่ยนจาก สภาวะคงตัวมาเป็นสภาวะไม่คงตัว ที่มีการรวมตัวระหว่างอนุภาคอย่างรวดเร็ว เนื่องมาจาก กระบวนการ 4 ประเภท ได้แก่ การอัดตัวของชั้นกระจาย (Compression of diffuse layer) การ ดูดติดและสะเทินทางไฟฟ้า (Adsorption and charge neutralization) การดูดติดและเชื่อมต่ อระหว่างอนุภาค (Adsorption and interparticle bridging) และการห่อหุ้มในผลึก (Enmeshment in a precipitate) ของน้ำ

การอัดตัวของชั้นกระจายเกิดเมื่อประจุไฟฟ้าตรงข้ามในน้ำมีปริมาณมาก ชั้นประจุไฟฟ้าตรงข้ามในชั้นกระจายจะมีมากขึ้นด้วย ยังผลให้ปริมาตรหรือความหนาของชั้น กระจายที่ทำหน้าที่สะเทินประจุไฟฟ้าของสารคอลลอยด์ลดลง ดังนั้น โอกาสที่อนุภาคคอลลอยด์ จะเข้าใกล้กันจนแรงแวนเดอร์วาลส์สามารถเอาชนะแรงผลักระหว่างอนุภาคจนเกิดการรวมตัวของ อนุภาคสารคอลลอยด์ในที่สุด

การดูดติดและสะเทินทางประจุไฟฟ้า เกิดขึ้นเมื่อประจุตรงข้าม นอก เหนือจากที่มีอยู่ในชั้นตรง และชั้นกระจายถูกดูดติดที่ผิวของสารคอลลอยด์ประจุตรงกันข้ามเหล่านี้ จะสะเทินประจุไฟฟ้าของสารคอลลอยด์ทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวตลอดจนชั้นกระจายลดลง

ลักษณะเช่นนี้ ทำให้แรงแวนเดอร์วาลส์สามารถเอาชนะแรงผลักระหว่างอนุภาคอนุภาคที่อ่อนตัวลงจนเกิดการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคคอลลอยด์

การดูดติดและเชื่อมต่อนระหว่างอนุภาค (Particle) เนื่องจากการดูดติดด้วยพันธะเคมี (Chemical bond) ระหว่างผิวของคอลลอยด์กับโมเลกุลของโพลีเมอร์ อนุภาคคอลลอยด์เหล่านี้จึงถูกแยกออกจากน้ำในลักษณะที่เป็นตะกอนรวมกับสารโพลีเมอร์ในที่สุด

สภาวะไม่คงตัวของคอลลอยด์ อาจเกิดจากปรากฏการณ์ดังกล่าวประเภทใดประเภทหนึ่ง หรือหลายประเภทรวมกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ อาทิเช่น ลักษณะทางกายภาพของน้ำ และชนิดของสารเคมีที่ใช้

### 2.1.8 การควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน

การควบคุมโคแอกกูเลชันมีจุดมุ่งหมายเพื่อควบคุมปริมาณของโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมและระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำ เพื่อให้เกิดโคแอกกูเลชันที่ดีที่สุด การควบคุมสภาวะดังกล่าวให้เหมาะสม สามารถทำได้โดยวิธีจาร์เทสต์

เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน หรือจาร์เทสต์ ประกอบด้วยเครื่องสำหรับกวนน้ำที่มีใบพัดสำหรับกวนน้ำจำนวน 6 ใบ ที่หมุนรอบในแนวนอนซึ่งใช้ในการ ทดสอบตัวอย่างน้ำ และสารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในบีกเกอร์ การทำจาร์เทสต์จะมีช่วงในการกวนเร็ว เพื่อให้มีการกระจายตัวและผสมกับน้ำอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ หลังจากการกวนเร็วแล้วจะเป็นช่วงกวนช้า เพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสสัมผัสกัน และรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น หลังจากนั้นจึงปล่อยให้ตกตะกอนแล้วจึงนำส่วน ส่วนบนมาวัดค่าต่างๆ ตามต้องการ

## 2.2 คุณสมบัติของกากของเสียอุตสาหกรรม (Industrial solid waste)

### 2.2.1 เถ้าลอย ( Fly ash, Pulverized Fuel Ash, Dry Ash )

เป็นเถ้าที่ถูกแยกออกจากลมร้อนที่พัดออกไปสู่ปล่องควัน และถูกดักเก็บไว้ได้ในอุปกรณ์ควบคุมฝุ่นชนิดไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitator) โดยจะมีปริมาณ 82% ของเถ้าถ่านหินลิกไนต์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด

### ชนิดของเถ้าลอย

เถ้าลอยสามารถแบ่งออกตามส่วนประกอบทางเคมี ได้เป็น 2 ชนิด คือ

1) Class F เถ้าลอยที่เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินแอนทราไซต์ หรือปิทุมินัส ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 2.9 เถ้าลอยชนิดนี้มีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลาน (Pozzolan)

2) Class C : เถ้าลอยที่เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินลิกไนต์ หรือ ซับปิทุมิส มีส่วนประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 2.9 เถ้าลอยชนิดนี้ก็มีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลานเช่นกัน และมีคุณสมบัติเป็นสารเชื่อมประสาน (Cementitious Properties) ด้วย โดยมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) มากกว่า 10 %

ตารางที่ 2.9 ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยชนิดต่างๆ

	Class F	Class C
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ , min%	70.0	50.0
$\text{SO}_3$ , max %	5.0	5.0
CaO, %	<10	>10
Moisture Content, max%	3.0	3.0
Loss of Ignition, max%	12.0	6.0

ที่มา : วิศว จักรไพศาล (2539)

### ส่วนประกอบทางเคมี

ส่วนประกอบที่สำคัญของเถ้าลอยได้แก่  $\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$  ออกไซด์อื่นๆ เช่น CaO, MgO, MnO,  $\text{TiO}_2, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}, \text{SO}_3$  และคาร์บอน โดยเถ้าลอย Class F จะมีปริมาณคาร์บอนมากกว่าเถ้าลอย Class C

เมื่อนำเถ้าลอยไปเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C น้ำหนักส่วนหนึ่งจะหายไป ทั้งนี้เนื่องจากการเผาไหม้ของสารประกอบคาร์บอนเนต น้ำ และคาร์บอน แต่ในทางตรงกันข้ามองค์ประกอบ S และ Fe ที่มีอยู่ในเถ้าลอยจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศส่งผลทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามน้ำหนักส่วนที่หายไปของเถ้าลอยจะมากกว่าน้ำหนักส่วนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเผาเถ้าลอยดังกล่าวข้างต้นจึงถูกเรียกว่า "น้ำหนักที่สูญหายไปเมื่อถูกเผาไหม้" (Loss on Ignition, LOI)

### คุณสมบัติทางกายภาพ

ลักษณะของอนุภาค (Particle Shape) : รูปร่างของอนุภาคเถ้าลอยแตกต่างกันไปตามชนิดของถ่านหินที่เผา อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา สภาพในการเผาและวิธีในการเก็บเถ้าลอย โดยรูปร่างของเถ้าลอยจะเป็นส่วนประกอบของแก้ว (Glassy) มีลักษณะทรงกลม ทรงแข็งหรือกลวง โดยที่ทรงกลมกลวงจะเรียกว่า Cenospheres ส่วนทรงกลมที่ประกอบไปด้วยทรงกลมเล็กหลายอันรวมกันเรียกว่า Plerospheres

ค่าความละเอียด (Fineness) : โดยทั่วไปเถ้าลอยจะมีขนาดตั้งแต่ 1 ไมโครเมตร ถึง 1 มิลลิเมตร ค่าความละเอียดของเถ้าลอยจะวัดได้จากปริมาณที่ผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐาน (Sieve Analysis) โดยทั่วไปปริมาณของเถ้าลอยที่ค้างบนตะแกรงขนาด 80 50 และ 45 ไมโครเมตร จะมีปริมาณเท่ากับ 6-25 % 16-40% และ 3-14 % ตามลำดับ

ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area) : เถ้าลอยที่ได้จากการเก็บโดยเครื่องมือดักจับ (Electrostatic Precipitators) จะมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ในช่วง 4,000 -7,000 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) แต่เครื่องมือดักจับสมัยใหม่สามารถดักจับเถ้าลอยที่มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงถึง 12,000 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) ซึ่งหมายถึงว่าเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าเดิม โดยทั่วไปค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสามารถหาได้จากเครื่องมือทดสอบความซึมอากาศเบลน (Blaine Air-Permeability Apparatus) โดยใช้วิธีให้อากาศจำนวนหนึ่งไหลผ่านชั้นของเถ้าลอย และคำนวณอัตราของอากาศที่ผ่าน หรือเวลาที่ต้องการสำหรับปริมาตรที่กำหนดของอากาศที่ผ่านชั้นเถ้าลอย ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค และพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีการนี้พบว่า เถ้าลอยจะมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ในช่วง 2,500-5,500 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )

ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) : ค่าความถ่วงจำเพาะของแฉ่ำลอยจะอยู่ในช่วง 1.97-3.02 แต่โดยปกติแล้วจะอยู่ในช่วง 2.2-2.8 และแฉ่ำลอยที่มีปริมาณเหล็กสูงจะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูง แต่ถ้ามีคาร์บอนเป็นปริมาณสูงจะมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อย

สี (Colour) : สีของแฉ่ำลอยจะขึ้นอยู่กับปริมาณของ  $Fe_2O_3$  และปริมาณคาร์บอน โดยแฉ่ำลอยที่มีปริมาณคาร์บอนสูงจะมีสีดำและเทา ส่วนแฉ่ำลอยที่มีปริมาณ  $Fe_2O_3$  สูง จะมีสีน้ำตาล

การนำแฉ่ำลอยมาใช้ประโยชน์ในด้านการตกตะกอนมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ เพ็ญประภา (2541) ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมไอออนในน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง โดยวิธีการตกตะกอนด้วยแฉ่ำลอยที่มีปริมาณแฉ่ำลอยแตกต่างกัน 7 ระดับ คือ 6,7,8,9,10,11 และ 12 ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง โดยการตกตะกอนด้วยแฉ่ำลอย คือ ที่ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 9 และใช้แฉ่ำลอย 1.25 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมเท่ากับ 95.79 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง โดยวิธีการตกตะกอนด้วยแฉ่ำลอยที่อุณหภูมิบรรยากาศ (24-25°C) 27,30,33,35 และ 37°C เปรียบเทียบกับ 60°C โดยใช้ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 11 และปริมาณแฉ่ำลอย 1 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิดังกล่าวข้างต้นทั้ง 7 ระดับมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

## 2.2.2 กากตะกอนของระบบทำน้ำประปา (Sludge)

การผลิตน้ำประปาเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำ เนื่องจากน้ำผิวดินที่มีอยู่ในธรรมชาติส่วนใหญ่ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้โดยตรง เพราะอาจมีสารบางอย่างหรือเชื้อโรคปะปนอยู่ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคและเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของผู้น้ำนั้น ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการอุปโภคบริโภคก่อนนำไปใช้

องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้ให้นิยามของวัตถุประสงค์ในการทำระบบประปาไว้ 3 ประการ คือ

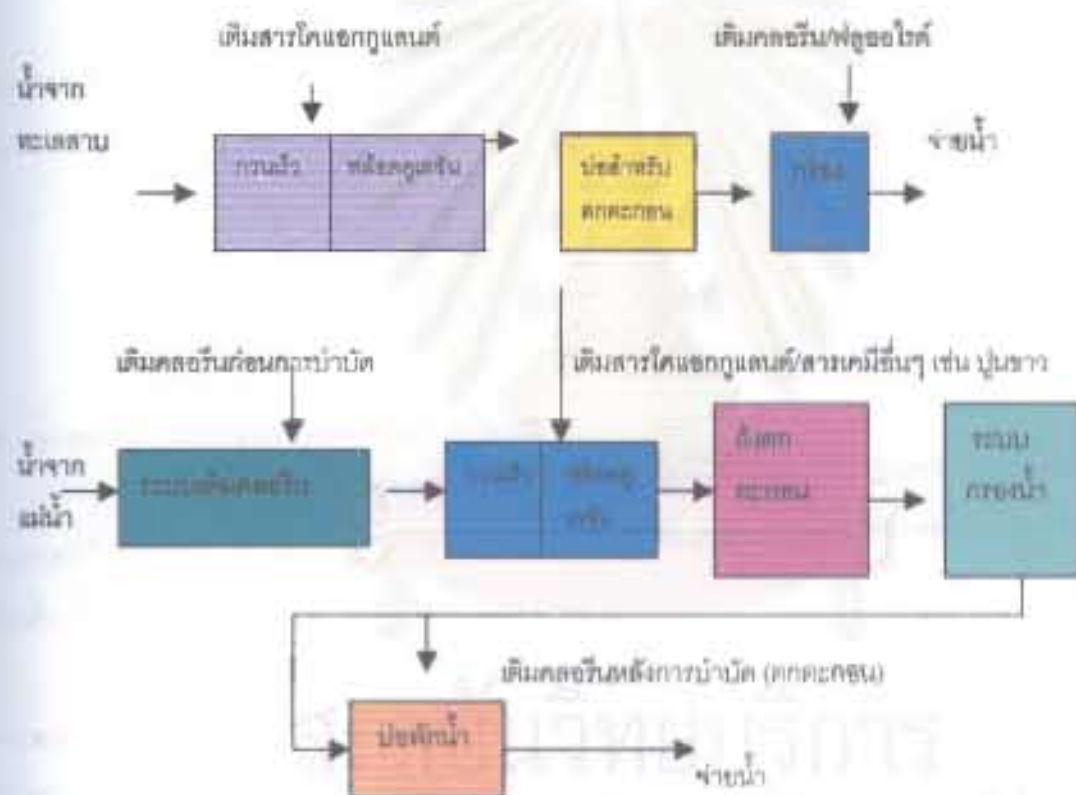
- 1) ผลิตน้ำสะอาดเพื่อใช้ในการอุปโภคได้โดยปลอดภัย (Safe and wholesome)

- 2) ผลิตน้ำให้พอกับความต้องการของผู้ใช้น้ำ (Adequate quantity)
- 3) ใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ และพร้อมที่จะจ่ายน้ำให้แก่ผู้ต้องการใช้น้ำได้อย่างทั่ว

ถึง (Readily available to the users)

การปรับปรุงคุณภาพน้ำประปา จะประกอบด้วยสารเคมี (Coagulants)

ทำให้ตะกอนรวมตัว การตกตะกอน (Sedimentation) และการกรอง (Filtration) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 รูปแบบของระบบประปาดำรงแหล่งน้ำผิวดิน

ที่มา : โทมัสและคณะ(2534)



### การสร้างตะกอน (Coagulant)

ระบบประปามักนิยมใช้สารเคมีเหล่านี้มาเป็นสารสร้างตะกอน

- 1) สารส้ม (Alum or Aluminum sulphate)  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$
- 2) เพอร์ริซัลเฟต ( $Fe_2SO_4$ )
- 3) เพอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ )
- 4) เพอร์ริกซัลเฟต ( $Fe_2(SO_4)_3$ )

นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเร่งให้ตกตะกอน (Coagulant Aid) เช่น ปูนขาว (Lime) แอกติเวตเต็ดซิลิกา (Activated Silica) ดังได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 2.1.5 และยังมีการเติมสารฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เช่น คลอรีน ไอโอดีนและโบรมีน เป็นต้น

### การตกตะกอน (Sedimentation)

หลังการสร้างตะกอนแล้ว จะมีการปล่อยให้ตกตะกอน สำหรับการตกตะกอนในระบบการทำน้ำประปาแบ่งได้เป็น 4 แบบ ดังนี้ คือ

1) การตกตะกอนของอนุภาคแบบโดด (Discrete Setting) เป็นการตกตะกอนอนุภาคที่มีปริมาณความเข้มข้นน้อย เกิดเป็นอิสระไม่ขึ้นต่อกัน เช่น การตกตะกอนของกรวดทราย เป็นต้น

2) การจมตัวของกลุ่มตะกอน (Flocculant Setting) เป็นลักษณะของการตกตะกอนเบาซึ่งอาจจะเป็นสารแขวนลอยของอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในน้ำ และการตกตะกอนของฟล็อกสารส้ม หรือฟล็อกที่เกิดจากการสร้างตะกอนอื่นในน้ำประปา

3) การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น เป็นลักษณะการตกตะกอนเมื่อมีตะกอนแขวนลอยมาก ทำให้ตะกอนส่วนบนทับถมตะกอนที่อยู่ส่วนล่างเกิดการอัดตัวของตะกอนขึ้น ลักษณะการเกิดตะกอนแบบนี้จะเกิดขึ้นภายหลังการตกตะกอนแบบทั้งสามข้างต้นเกิดขึ้นแล้ว

### การกรอง (Filtration)

การกรองเพื่อให้สารแขวนลอยต่างๆที่ยังคงหลงเหลืออยู่ถูกกำจัดออกจากน้ำและทำให้น้ำสะอาดและพร้อมที่จะนำไปใช้ในการอุปโภคบริโภค โดยการกรองแบ่งตามลักษณะการใช้

งานได้ 2 แบบ ดังนี้ ถังกรองช้า (Slow Sand Filter), ถังกรองเร็ว (Rapid Sand Filter) และถังกรองภายใต้ความดัน (Pressure Filter)

ดังนั้น กากตะกอนจากระบบประปา (Sludge) จะประกอบด้วยสารสร้างตะกอน (Coagulant) สารตกตะกอนร่วม (Coagulant Aid) และสารเคมีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection)

### 2.2.3 เศษยางพาราของโรงงานน้ำยางข้น (Lutoid)

เศษยางพาราของโรงงานน้ำยางข้น (Lutoid) มีลักษณะเป็นตะกอน โดยเป็นของแข็งที่เป็นส่วนประกอบในน้ำยางสดและจะถูกแยกออกจากการปั่นในการผลิตน้ำยางข้น มีลักษณะเป็นสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน มี Mg และ P เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ

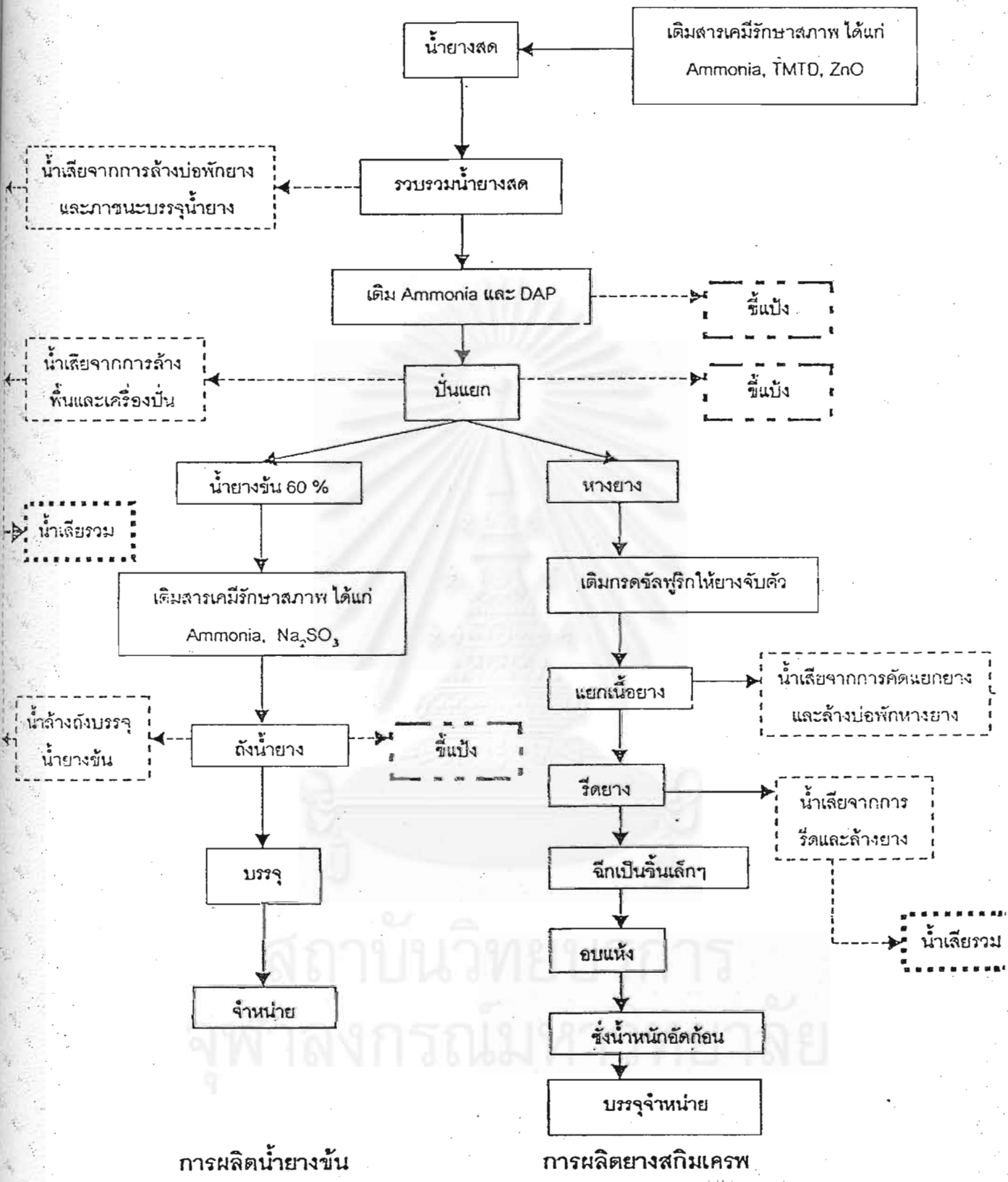
#### แหล่งกำเนิดของเสียและอัตราการเกิด

จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น วิธีผลิตที่สำคัญ คือ กระบวนการปั่น ซึ่งมีการเติมสารเคมีในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะสารเคมีที่เติมในน้ำยางสดก่อนการปั่นแยก ได้แก่ Ammonia (ในรูปสารละลาย) , Tetramethyl Triuram Disulfide (TMTD), Zinc Oxide และ Diammonium Phosphate (DAP) เพื่อรักษาคุณภาพน้ำยาง และเพื่อทำให้แมกนีเซียมตกตะกอนก่อนการปั่นโดยมีการฟอรัมตะกอน ดังนี้



แหล่งกำเนิดเศษยางพาราของโรงงานน้ำยางข้นแสดงดังในรูปที่ 2.8

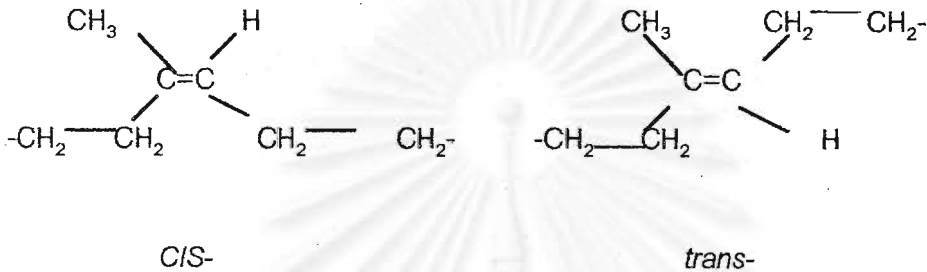
ปริมาณเศษยางพาราของโรงงานน้ำยางข้น (Lutoid) ที่เกิดขึ้นอยู่ระหว่าง 0.7-500 ตันต่อเดือนหรือคิดเป็นอัตราการเกิดต่อน้ำยางข้นที่ผลิตได้ในสัดส่วนระหว่าง 0.07 ตันต่อน้ำยางข้น 1 ตัน เศษยางพาราของโรงงานน้ำยางข้นที่เกิดขึ้นเป็นของเสียที่มีความเข้มข้นสูง ในทางปฏิบัติ โรงงานจะนำของเสียดังกล่าวไปทิ้งหรือบางแห่งจะนำไปถมที่หรือฝังกลบ ในปัจจุบันได้มีการนำบางโรงงานนำไปเป็นปุ๋ยใส่สวนปาล์มน้ำมัน



รูปที่ 2.8 กระบวนการผลิตและจุดกำเนิดของเสียจากการผลิตนํ้ายางข้นและยางสีกิมเครพ

### วิธีการผลิตยางประเภทต่างๆ

น้ำยางสด ( Fresh latex) สามารถแยกได้เป็น 3 ส่วนหลักๆ โดยการปั่นด้วยความเร็วสูง ได้แก่ ส่วนบนที่เป็นสีขาว เรียกว่า ส่วนเนื้อยาง ส่วนของเหลวที่เรียกว่า ซีรัม และส่วน Lutoid ส่วนเนื้อยางเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นพวก cis-1,4-polyisoprene (ประมาณ 99%) โดยส่วนที่เป็นเนื้อยางนี้จะเคลือบด้วยชั้นที่เป็นโปรตีนและฟอสโฟลิปิด



ส่วนซีรัมซึ่งเป็นส่วนใหญ่มักจะเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ ประกอบด้วยกรดอะมิโน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ และเกลือของสารอินทรีย์ เป็นต้น และส่วนล่างสุดประกอบด้วยส่วนที่เป็นอนุภาคของลูทอยด์ (Lutoid Particles: ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น) เป็นส่วนมาก ส่วนที่เรียกว่า อนุภาคของ Frey-Wyssling ลักษณะเป็นผลึกสีเหลืองมีคาโรทีนอยด์เป็นองค์ประกอบ ภายในประกอบด้วย ไมโตรคอนเดรียและไรโบโซม เป็นต้น

จากน้ำยางสดที่ได้จากสวนยาง จะต้องเติมสารเคมีป้องกันน้ำยางจับตัวซึ่งจะทำให้ยางไม่มีเสถียรภาพ ได้แก่ Zinc Oxide (ZnO) Sodium pentachlorophenate (SPP) Tetramethyl thiuram disulfide (TMTD) Ammonia (NH<sub>3</sub>) และ Boric acid เป็นต้น แล้วจึงผ่านตะแกรงขนาด 80 mesh ลงสู่ถังรวมและนำตัวอย่างน้ำยางทดสอบหาปริมาณน้ำยางแห้ง ซึ่งต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 จากนั้นจะมีการตรวจสอบปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยาง แล้วเติม Diammonia phosphate เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของแมกนีเซียมและสิ่งสกปรกต่างๆ โดยตะกอนเหล่านี้จะถูกแยกออกจากน้ำยางก่อนนำไปผลิตน้ำยางข้น แล้วจึงทำการปั่นแยกน้ำยาง น้ำยางจะถูกแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนน้ำยางซึ่งมีเนื้อยางอยู่ประมาณ 60 % และส่วนที่เป็นหางน้ำยางซึ่งมีเนื้อยางอยู่ประมาณ 4% จากนั้นส่วนที่เป็นน้ำยางข้นจะนำไปเติมสารละลายแอมโมเนียมลอรเรต และแอมโมเนียอีกครั้งหนึ่ง เพื่อรักษาสภาพน้ำยางก่อนบ่มน้ำยางประมาณ 15-30 วัน จึงจะจำหน่ายได้ (ฐิตินารถ, 2543)

## 2.2.4 กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง

กาว (Adhesive) เป็นวัสดุเพื่อใช้เป็นตัวเชื่อมประสานวัสดุต่างๆ เราสามารถแบ่งกาวเป็น 2 ประเภทใหญ่ได้ ดังนี้

1) กาวธรรมชาติ เป็นกาวที่นิยมใช้มานานแล้ว มักเป็นกาวที่ได้มาจากพืชและสัตว์ เช่น กาวจากแป้ง ได้แก่ มันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และกาวจากโปรตีน ได้แก่ กาวจากหนังสัตว์ กาวจากนม และกาวจากเลือด

2) กาวสังเคราะห์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เทอร์โมเซตติง แอดฮีทีฟ (Thermosetting Adhesive) เป็นกาวชนิดที่แข็งตัวเมื่อถูกความร้อน ได้แก่ กาวฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์ กาวเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นต้น และเทอร์โมพลาสติก แอดฮีทีฟ (Thermoplastic Adhesive) เป็นชนิดที่ไม่แข็งตัวเมื่อถูกความร้อน แต่กลับอ่อนตัวเมื่อถึงจุดที่เรียกว่า Critical Point เช่น กาวพอลิไวนิลอะซิเตต เป็นต้น

กาวลาเท็กซ์เป็นกาวที่เกิดจากการกระจายของโพลิเมอร์ในน้ำด้วยขบวนการอิมัลชันโพลิเมอร์ไรเซชัน (Emulsion Polymerization) ซึ่งเป็นขบวนการที่ทำให้โพลิเมอร์ที่ได้อยู่ในรูปอิมัลชัน คือ มีลักษณะเป็นอนุภาคเล็กๆ กระจายอยู่ในน้ำ ขนาดของอนุภาคนี้เล็กมาก มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10-3 มิลลิเมตร แต่ยังเป็นอนุภาคของแข็งที่กระจายอยู่ในน้ำ จึงทำให้มีลักษณะขุ่นขาวตลอดเวลา ขบวนการอิมัลชันโพลิเมอร์ไรเซชัน มีหลายขั้นตอนด้วยกัน ขั้นตอนแรกเป็นการผสมกันระหว่างโมโนเมอร์ (Monomers) น้ำ สารลดแรงตึงผิว (Emulsifier หรือ Surfactant) และบัฟเฟอร์ (Buffer) ทำให้โมโนเมอร์กระจายตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ ผสมอยู่ในน้ำ ซึ่งเรียกลักษณะนี้ว่า อิมัลชัน ขั้นตอนนี้ยังไม่เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน ขั้นตอนต่อไปเป็นการเติมสารเร่งปฏิกิริยาทำให้โมโนเมอร์เกิดปฏิกิริยากลายเป็นโพลิเมอร์แขวนลอยอยู่ในน้ำ กาวลาเท็กซ์มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดแต่กาวลาเท็กซ์จากอุตสาหกรรมทำกาวยางเป็นชนิดโพลิไวนิลอะซิเตตอิมัลชัน ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่ที่สำคัญประกอบด้วยไวนิลอะซิเตต

สำหรับของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตกาวลาเท็กซ์นั้นจะถูกนำไปบำบัดด้วยโคแอกกูแลนต์ คือ สารส้ม (Alum) โพลิเมอร์ประจุลบชนิด โพลีอะครีลาไมด์ (Polyacrelamide) และปูนขาว ( $\text{CaO}/\text{Ca(OH)}_2$ ) เพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง แล้วนำไปทิ้งยังลานตากตะกอนเพื่อนำไปกำจัดต่อไป

### 2.3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การนำของเสียมาใช้ประโยชน์นั้นกำลังได้รับความสนใจในปัจจุบัน และมีการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีเพื่อนำของเสียดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ เช่น มีการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของเถ้าลอยเพื่อเป็นข้อมูลเพื่อนำเถ้าลอยมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ต่อไป

Dogan O *et al.* (2001) ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติธาตุปริมาณน้อยในตัวอย่างเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าประเทศตุรกี และใช้เทคนิค X-ray fluorescence (XRF) พบว่า เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าดังกล่าวประกอบด้วยธาตุหายาก 5 ชนิด ได้แก่ Nd, Ba, Mo, Sr และ As ซึ่งมีประโยชน์ในการนำไปเป็นพื้นฐานในการนำเถ้าลอยไปใช้ประโยชน์ ไม่ว่าจะเป็นการนำไปทำเป็นซีเมนต์, บำบัดน้ำเสีย, ผลิตภัณฑ์เซรามิกและการเล่นแร่แปรธาตุ

Langnese and Dzombak (1993) พบว่ามีการนำ Ash Sedimentation Pond ในโรงงานไฟฟ้าที่อาศัยพลังงานถ่านหินในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อเป็นขั้นตอนหนึ่งของการบำบัดน้ำภายในโรงไฟฟ้าที่อาศัยพลังงานจากถ่านหินในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อเป็นขั้นตอนหนึ่งของการบำบัดน้ำภายในโรงไฟฟ้าที่มีการเจือปนของโลหะ โดยอาศัยปฏิกิริยาการดูดซับและการตกตะกอนร่วมของเถ้าลอย Iron Oxyhydroxide ภายใต้ภาวะที่มีการกวนน้อยที่สุด (Weak Mixing Condition) รวมทั้งมีการเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ เพื่อส่งเสริมการดูดซับบน Iron Oxyhydroxide การทดลองนี้ใช้เถ้าลอยเป็นตัวควบคุมความเป็นกรด-ด่าง (pH) และเน้นการกำจัดอะลูมิเนียมแมงกานีส และอาร์เซนิกในน้ำ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าควรควบคุมความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำก่อนเข้าระบบบำบัดให้อยู่ในช่วง 8-8.5 จะทำให้แมงกานีสที่มีในน้ำลดลง 2 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร และที่ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 8.5 จะทำให้ความเข้มข้นของแมงกานีสน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร และที่ความเป็นกรด-ด่าง (pH) นี้การเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของแมงกานีสที่เหลือในน้ำ แต่กรณีที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) น้อยกว่า 7.5 จะพบว่ามีค่าความเข้มข้นของแมงกานีสเหลืออยู่ในน้ำสูงมากขึ้น ส่วนผลการทดลองของอะลูมิเนียมจะให้ผลใกล้เคียงกับแมงกานีส ต่างกันตรงที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ใกล้เคียงกับ 7 จะทำให้มีความเข้มข้นของอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำต่ำสุด คือ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

รุจิรัตน์ ภากรศิลป์ (2542) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมยางด้วยวิธีทางเคมีและการประยุกต์ใช้ในการเพาะเห็ด ซึ่งทำการศึกษาบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางชั้น

โดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ตกตะกอนอนุภาคยางและเกลือของสารอนินทรีย์ด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ แอนไอออนิกพอลิเมอร์และแคทไอออนิกพอลิเมอร์ และทำการประยุกต์ใช้น้ำซีรัมที่แยกได้จากน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นมาเพาะเห็ดนางฟ้า พบว่า เมื่อเติมน้ำซีรัม 2-10% ผสมกับซีลี้อย่างพาราจะให้ผลผลิตสูงกว่าสูตรอาหารพื้นฐานในการเพาะเห็ดนางฟ้า ( ซีลี : น้ำ = 100 : 20 ) ถึง 25 % และเมื่อใช้น้ำซีรัม 3% และรำ 5 % จะให้ผลผลิตสูงอย่างมีนัยสำคัญประมาณ 30 % เมื่อเทียบกับสูตรอาหารปกติ (สูตรอาหารพื้นฐาน+ รำ 5% + ยูเรีย 0.3%) อีกทั้งปริมาณสังกะสีในดอกเห็ดมีค่าเฉลี่ย 60 มก./กิโลกรัมอาหาร ซึ่งต่ำกว่ากำหนดคือ 100 มก./กิโลกรัมอาหาร จึงสรุปได้ว่าสามารถประยุกต์ใช้น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางชั้นส่วนที่เป็นซีรัมในการเพาะเห็ดนางฟ้าได้

สำหรับการตกตะกอนด้วยสารตกตะกอน (Coagulant) และสารช่วยตกตะกอนร่วมกับสารส้ม (Coagulant Aid) มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง ดังนี้

ศิริรัตน์ (2532) ทำการศึกษาการนำดินขาวมาใช้เป็นตัวช่วยตกตะกอนเพื่อลดปริมาณอลูมิเนียมตกค้าง การทดลองพบว่า ดินขาวสามารถลดปริมาณอลูมิเนียมตกค้างในน้ำที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยสารส้มได้ ซึ่งประสิทธิภาพในการลดปริมาณอลูมิเนียมตกค้างขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความขุ่นของน้ำดิบ และปริมาณดินขาว โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสมซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 5.5-6.5 และสามารถลดความขุ่นได้ดีเมื่อความขุ่นมีค่ามากกว่า 20 NTU ขึ้นไป ส่วนปริมาณดินขาวที่เหมาะสมคือ 50 มก./ล. จากสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าว สามารถลดปริมาณอลูมิเนียมตกค้างได้ถึงร้อยละ 70-80 แต่ถ้าต้องการให้อลูมิเนียมตกค้างลดลงมากกว่าร้อยละ 90 แล้วก็ต้องเติมดินขาวลงไปถึง 100มก/ล. สำหรับลักษณะการเติมดินขาวในการตกตะกอนไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการลดปริมาณอลูมิเนียมตกค้าง

คณิต ม่วงศิริ (2537) ศึกษาการกำจัดความขุ่นในน้ำ โดยการสร้างเม็ดตะกอนโดยโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์และใช้โพลีเมอร์แอนไอออน, โพลีเมอร์นอนไอออน และโพลีเมอร์แคทไอออนเป็นโคแอกกูแลนต์เอด โดยได้แปรผันค่าพีเอชของปฏิกิริยาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น ตัวแปรควบคุมที่ศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 1,3,5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเร็วน้ำไหลขึ้น 40 เซนติเมตรต่อนาที ตัวแปรอิสระคือ พีเอช 7 ค่าได้แก่ 5,5.5,6,6.5 ,7,7.5 และ 8 ทำการเก็บตัวอย่างทุกชั่วโมงเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อหาค่าความขุ่นตกค้างในน้ำ ขนาด

และความเร็วในการจมตัวของเม็ดตะกอนที่ระดับบนสุดของชั้นเม็ดตะกอน พบว่า 1. โพลีอะลูมินัมคลอไรด์อาศัยกลไกคอลลอยด์ และทำลายประจุไฟฟ้าในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ที่ค่าพีเอชต่ำ และอาศัยโครงสร้างโมเลกุลที่ใหญ่เกาะยึดอนุภาคคอลลอยด์ที่ค่าพีเอชสูง ในขณะที่โพลีเมอร์แอนไอออนอาศัยกลไกการต่อเชื่อมด้วยโพลีเมอร์ในการสร้างตะกอน โพลีเมอร์นอนไอออนอาศัยกลไกการเชื่อมต่อผสมกับการทำลายประจุ ส่วนโพลีเมอร์แคทไอออนอาศัยประจุบวกในการลดศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์ และกลไกการต่อเชื่อมด้วยโพลีเมอร์ในการสร้างตะกอน 2. พีเอชไม่มีอิทธิพลต่อความเร็วในการสร้างเม็ดตะกอน , ความสูงของชั้นเม็ดตะกอน แต่มีอิทธิพลต่อขนาดเม็ดตะกอนอยู่บ้างเล็กน้อย แต่ไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน 3. พีเอชมีอิทธิพลต่อปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำ ซึ่งปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำมีค่าต่ำเมื่อพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-7.0

ประชุม ชำนาญ (2533) นำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์อะลูมินัมมาศึกษาขั้นต้น เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการนำกลับสารอะลูมินัม สำหรับการเตรียมเป็นสารโคแอกกูแลนต์อะลูมินัมซัลเฟตและโซเดียมอะลูมิเนต ด้วยวิธีการใช้กรดซัลฟูริก และวิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์มาทำปฏิกิริยากับอะลูมินัมตามลำดับ พบว่า ช่วงความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสมในการนำกลับควรน้อยกว่า 1.25 สำหรับวิธีการใช้กรด และควรมากกว่า 12.5 สำหรับการใช้ด่าง โดยสามารถนำกลับอะลูมินัมได้ประมาณร้อยละ 70-90 และ 40-65 ของปริมาณอะลูมินัมที่มีอยู่ในของแข็งทั้งหมดตามลำดับ เมื่อนำสารโคแอกกูแลนต์ที่นำกลับมาทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นโดยใช้ตัวอย่างน้ำดิบจากจุดสูบน้ำลำเลของการประปานครหลวง ริมแม่น้ำเจ้าพระยา อ.เมือง จ.ปทุมธานี พบว่า สารโคแอกกูแลนต์นำกลับจากวิธีการใช้กรดซัลฟูริก สามารถกำจัดความขุ่นจาก 33 NTU ให้เหลือต่ำกว่า 5 NTU ได้ โดยใช้สารโคแอกกูแลนต์ในการนำกลับ 1.64 มก. ในรูปของอะลูมินัมต่อลิตรของตัวอย่างน้ำรวม (หรือ 20,23 มก./ล. ในรูปของสารส้มน้ำ) และถ้ามีการควบคุมความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วง 5.5-6.5 ก็สามารถลดปริมาณสารโคแอกกูแลนต์นำกลับในรูปของอะลูมินัมให้เหลือเพียง 0.88 มก./ล. ของตัวอย่างน้ำรวม (หรือ 10.85 มก./ล. ในรูปสารส้มน้ำ) ส่วนสารโคแอกกูแลนต์นำกลับจากวิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถกำจัดความขุ่นจาก 33 NTU ให้เหลือต่ำกว่า 5 NTU โดยใช้สารนำกลับ 4.5 มิลลิกรัม และ 3.15 มิลลิกรัมในรูปของอะลูมินัมต่อลิตรของตัวอย่างน้ำรวม สำหรับการทดลองที่ไม่คุมความเป็นกรด-ด่างและคุมความเป็นกรด-ด่างตามลำดับ หนึ่งค่าใช้จ่ายในการนำกลับสารโคแอกกูแลนต์ด้วยวิธีการใช้กรดซัลฟูริกและวิธีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ มีค่าเท่ากับ 513 และ 226 บาทต่อลูกบาศก์เมตรของสารโคแอกกูแลนต์นำกลับตามลำดับ



อัจฉรี ศิริวงศ์ (2539) ศึกษาถึงความคงตัวและการเกาะกลุ่มกันของซิลิกาซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำ โดยโพลีเมอร์และสารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้เป็นตัวควบคุมขนาดของซิลิกา ขนาดของกลุ่มซิลิกาสามารถวัดได้โดยใช้ ไดนามิค ไลท์ สแกตเตอริง (Dynamic Light Scattering) ตัวแปรในการศึกษา ได้แก่ สารละลายอิเล็กโทรไลต์, แรงเฉือน, น้ำหนักโมเลกุลของโพลีเมอร์ และความยาวของส่วน ไฮโดรคาร์บอนของสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวที่เลือกใช้คือ CTAB (Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide) ซึ่งเป็นสารจำวนแชนท์ไอออน จากการทดลองพบว่า CTAB มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมขนาดของกลุ่มซิลิกา สำหรับซิลิกาความเข้มข้น 7,000 พีพีเอ็ม ในน้ำพบว่าเมื่อใช้ CTAB ความเข้มข้น 0-10 ppm : ขนาดของกลุ่มซิลิกาจะเพิ่มเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CTAB 100 ppm : กลุ่มของซิลิกาจะรวมตัวและได้ขนาดที่ใหญ่ที่สุด 100-1,000 ppm : กลุ่มของซิลิกาจะเล็กลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CTAB นอกจากความเข้มข้นแล้ว แรงที่กระทำต่อระบบก็มีความสำคัญเช่นกัน ถ้าแรงที่ให้แก่ระบบมากเช่น ระบบที่มีการกวนอย่างรุนแรง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างซิลิกาจะถูกทำลาย หรืออีกนัยหนึ่งคือ ทำให้ซิลิกาไม่เกิดการรวมตัว โพลีอัคริลเอมาย (Polyacrylamide) ถูกเลือกเป็นตัวแทนสำหรับโพลีเมอร์ จากการศึกษา พบว่า โพลีเมอร์นี้มีประสิทธิภาพต่ำในการควบคุมขนาดของซิลิกา แต่จากการทดลองในส่วนของโพลีเมอร์ ทำให้พบว่าความหนืดมีส่วนสำคัญ และต้องนำมาพิจารณาในการ ควบคุมขนาดของซิลิกาด้วย

Cohen (1958) ทำการศึกษาโดยใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์ 3 ชนิด ซึ่ง 2 ชนิดเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุลบและโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุบวก อีกชนิดหนึ่งเป็นโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่มีประจุซึ่งเป็นสารที่ได้มาจากธรรมชาติที่มีส่วนผสมของดินเหนียว พบว่าโพลีอิเล็กโทรไลต์ทั้ง 3 ชนิด มีประสิทธิภาพเป็นตัวช่วยตกตะกอน แต่ใช้ในปริมาณที่แตกต่างกัน เมื่อเติมโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่มีประจุที่ความเข้มข้น 0.05-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งก่อนและหลังการเติมสารส้มพบว่าไม่มีผลต่อคุณภาพการตกตะกอน

R.K. Pandit (1965) ได้ทำการศึกษาถึงการใช้นำ้ขาวโผดเป็นตัวช่วยในการตกตะกอนโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจะศึกษาถึงปริมาณที่เหมาะสมในการใช้แบ่งเป็นตัวช่วยในการตกตะกอนของน้ำ ซึ่งใช้ร่วมกับสารส้ม โดยใช้น้ำจากทะเลสาบ vitar ซึ่งเป็นแหล่งน้ำสำหรับชุมชนในเมืองบอมเบย์ ในการทดลองใช้ปริมาณสารส้ม 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลองแล้วพบว่าเป็นค่าที่เหมาะสม เมื่อไม่ได้ใช้ร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนจากผลการทดลอง เมื่อทำจาร์เทสต์แล้วปล่อยให้ตกตะกอนที่เวลา 10, 20 และ 30 นาที พบว่าเมื่อใช้แบ่งในปริมาณต่างๆ (1-3 มิลลิกรัมต่อลิตร) จะมีผลทำให้อัตราการตกตะกอนเพิ่มมากขึ้นและทำให้ความขุ่นลดมากขึ้นด้วย แต่ถ้าใช้มากกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลจะไม่เป็นตามนี้ เนื่องจากการทดลองดังกล่าวใช้น้ำขาว ดังนั้นจึงเกิดการสลาย

ของแข็งเป็นน้ำตาลและให้ค่า BOD และ COD เพิ่มขึ้น และเมื่อมีการทดลองใช้ Permanganate Oxygen Demand ในเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าไม่มีการเพิ่มขึ้นของค่า BOD และ COD ดังกล่าว การใช้โพลิเมอร์เป็นสารโคแอกกูแลนต์ ส่งผลดีเนื่องจากจะทำให้เกิดสลัดจ์ (Sludge) น้อย และสลัดจ์ที่ได้จะสามารถแยกออกจากน้ำได้ง่าย ตามคำกล่าวของ Kavamura(1976)



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 ขั้นตอนการวิจัย

- 3.1.1 การเตรียมกากของเสียอุตสาหกรรม (Preparation Industrial Solid Waste)
- 3.1.2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของกากของเสียอุตสาหกรรม (Industrial Solid Waste) ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ เถ้าลอย (Fly ash) , เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้น, กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง และกากตะกอนของระบบทำน้ำประปา (Sludge)
- 3.1.3 ตรวจสอบหาประจุของโคแอกกูแลนต์ จากกากของเสียอุตสาหกรรม
- 3.1.4 การทดสอบประสิทธิภาพการเป็นโคแอกกูแลนต์ (Coagulant) และสารช่วยสร้างตะกอน เมื่อเทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว
- 3.1.5 ประเมินค่าใช้จ่ายในการจัดทำกากของเสียอุตสาหกรรมเป็นโคแอกกูแลนต์เทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว

#### 3.2 วัสดุดิบและสารเคมี

##### 3.2.1 กากของเสียอุตสาหกรรม (Industrial Solid Waste)

กากของเสียอุตสาหกรรมที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ ได้แก่ เถ้าลอย , เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้น , กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา และกากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากกลุ่มบริษัทโคเจเนอเรชั่น(COCO), บริษัทอินเตอริวิเบอรัลเทคโนโลยี จำกัด , และบริษัท ซันเนต อินเตอร์ จำกัด ตามลำดับ ทำการเตรียมกากของเสียอุตสาหกรรมให้อยู่ในรูปที่เหมาะสม แล้วนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น ดังนี้

วัตถุประสงค์	วิธีการ	สารเคมีและอุปกรณ์
1. คุณสมบัติทางกายภาพ	SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ( Scanning Electron Microscope: SEM)
2. คุณสมบัติทางเคมี	ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี	เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) ทำการย่อย (Digest) ด้วยกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และ 30% $\text{H}_2\text{O}_2$
	องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคเอกซเรย์สเปกโทรสโกปี	เครื่องเอกซเรย์สเปกโทรสโกปี ( X-ray Fluorescence Spectroscopy :XRFS)
3. ประจุของโคแอกกูแลนต์	ซีต้าโพแทนเชียล	เครื่องซีต้า โพแทนเชียล มิเตอร์
4. ประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์และสารช่วยสร้างตะกอนกับสารส้ม	จาร์เทสต์ (Jar Test)	-เครื่องจาร์เทสต์ -บีกเกอร์ -น้ำอุ่นสังเคราะห์ -สารส้ม -กากของเสียอุตสาหกรรม -NaOH, $\text{HNO}_3$ -Turbidity Meter และ pH Meter

สถาบันนวัตกรรมการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 3.2.2 สารเคมี

ลำดับ	สารเคมี	คุณสมบัติ
1.	Nitric Acid 65% ( $\text{HNO}_3$ )	Analytical Reagent Grad
2.	Hydrochloric Acid 37%(HCL)	Analytical Reagent Grad
3.	Sodium Hydroxide (NaOH)	Analytical Reagent Grad
4.	Sodium bicarbonate ( $\text{NaHCO}_3$ )	Analytical Reagent Grad
5.	30% Hydrogen Peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )	Analytical Reagent Grad
6.	Alum Sulfate ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ )	Analytical Reagent Grad

## 3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือการวิจัย

ลำดับ	อุปกรณ์และเครื่องมือการวิจัย	ยี่ห้อ:รุ่น
1.	pH Meter	Horiba : F13
2.	เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)	JEOL : JSM 5410 LV
3.	เครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer	Philips model : PW 2400
4.	เครื่องจาร์เทสต์ (Jar Test)	Compose : MT04, DVUS75W1
5.	เครื่องวัดความขุ่น (Turbidimeter)	Hach : 2100A
6.	ตะแกรงร่อน	ENDECOTT : SISTEEL
7.	กระดาษกรอง เบอร์ 42	Whatman
8.	เครื่องชั่งไฟฟ้า	HM-300: AN
9.	เตาเผา	Femance: 3-1750 /VULCAN!
10.	เตาอบ	Mermert
11.	เครื่องเติมอากาศ	
12.	อุปกรณ์และเครื่องแก้วทั่วไป	

### 3.4 วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1 เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของกากของเสียอุตสาหกรรมทั้ง 4 ชนิด

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	พารามิเตอร์ต่างๆ	ช่วงที่ทำการศึกษา
1.	pH	5-9
2.	ความขุ่น (Turbidity)	50,100,200,300 NTU
3.	ปริมาณโคแอกกูแลนต์	50,100,200,300,400 มก./ล.

#### 3.4.1 การเตรียมการทดลอง

##### 3.4.1.1 การเตรียมกากของเสียอุตสาหกรรม

นำกากของเสียอุตสาหกรรม ได้แก่ เศษยางพาราของโรงงานน้ำยางข้น, กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง และกากตะกอนของระบบผลิตน้ำประปา (Sludge) เผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ  $400^{\circ}\text{C}$  -  $500^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที (ส่วนเถ้าลอย (Fly Ash) ไม่ต้องทำการเผาเนื่องจากผ่านขั้นตอนการเผาที่อุณหภูมิสูงมาแล้วในกระบวนการเกิดเถ้าลอย) หลังจากนั้นนำมาแช่ในน้ำกลั่นทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อทำความสะอาด แล้วกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ เพื่อได้น้ำออกจากอนุภาคกากของเสียอุตสาหกรรมดังกล่าวซึ่งมีขนาดเล็ก อบให้แห้ง และนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 90 Mesh เพื่อคัดขนาดอนุภาคให้เท่ากัน

### 3.4.1.2 การเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์

น้ำขุ่นสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองจะใช้น้ำขุ่นที่สังเคราะห์จากดินคาโอลิน สาเหตุที่เลือกดินชนิดนี้ เนื่องจากดินคาโอลินเป็นแร่ดินที่พบมากในแหล่งน้ำส่วนใหญ่ในประเทศไทย ระดับความขุ่นที่ใช้ในการวิจัย คือ 50, 100, 200, และ 300 NTU เนื่องจากขนาดอนุภาคที่อยู่ในช่วงของอนุภาคคอลลอยด์มีขนาด 0.001 ถึง 1 ไมครอน ดังนั้น เพื่อให้ได้ขนาดของอนุภาคของน้ำขุ่นสังเคราะห์อยู่ในช่วงอนุภาคคอลลอยด์ จึงต้องทำการคัดขนาดของอนุภาค โดยปล่อยให้อนุภาคดินคาโอลินตกตะกอนในน้ำนิ่งตามเวลา และความลึกที่ประมาณได้จากสมการทั่วไปของการตกตะกอนแบบโดด (Discrete Setting) ที่ประยุกต์จากกฎของสโตค (Stoke's Law) ตามสมการที่ 3.1 ดังนี้

$$V_s = g(P_s - P)d^2 \quad (18) \quad (3.1)$$

- เมื่อ  $V_s$  คือ ความเร็วในการจมตัวแบบอิสระของอนุภาค, ม./วินาที<sup>2</sup>  
 $g$  คือ อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, ม./วินาที<sup>2</sup>  
 $P_s$  คือ ความหนาแน่นของอนุภาค, กก. (มวล) / ลบ.ม.  
 $P$  คือ ความหนาแน่นของน้ำ, กก.(มวล) / ลบ.ม.  
 $d$  คือ ขนาดของอนุภาค, ม.  
 คือ ความหนืดของน้ำ, นิวตัน-วินาที / ตร.ม.

ในกรณีของดินคาโอลินซึ่งมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.38 ก็คือ ความหนาแน่น 2,380 กก. (มวล) ต่อ ลบ.ม. เมื่อแทนค่าในสมการ จะได้ความเร็วในการจมตัวเท่ากับ  $8.45 \times 10^{-7}$  เมตร / วินาที หรือ 0.3 เมตร / ชั่วโมง. เมื่อให้เวลาจมตัว 48 ชั่วโมง อนุภาคที่ลอยอยู่ในระดับ 14.4 เซนติเมตร จากผิวน้ำ จะมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน

การเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์ (ดังรูป 3.1 และ 3.2) สามารถเตรียมได้ดังนี้ (อัศวิน, 2539)

- 1) นำดินคาโอลินผสมกับน้ำ แล้วกวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อให้อนุภาคดินกระจายอย่างทั่วถึง
- 2) เติมนโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) ให้มีความเข้มข้น 100 มก./ล. แล้วเติมอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (สุชาติ, 2526)
- 3) ปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

- 4) ดูดน้ำออกด้วยวิธีกาลักน้ำ โดยเริ่มดูดจากตำแหน่งที่ลึกจากผิวน้ำเท่ากับ 14.4 เซนติเมตร
- 5) เจือจางน้ำชุนสังเคราะห์ด้วยน้ำประปา จนกระทั่งได้ความชุนตามต้องการ

นำน้ำชุนสังเคราะห์ที่เตรียมได้มาปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำชุนสังเคราะห์ให้อยู่ในช่วง 5-9 ด้วยกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ )



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์จากดินคาโอลิน



สถาบันวิทยบริการ

รูปที่ 3.2 น้ำดื่มสะอาด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและเคมีของกากของเสียอุตสาหกรรม

#### 3.4.2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Analysis)

โดยการนำกากของเสียอุตสาหกรรมทั้ง 4 ชนิด มาวิเคราะห์ขนาดและรูปร่างของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM) เพื่อหาขนาดและรูปร่างของอนุภาค (รายละเอียดในภาคผนวก ก)

#### 3.4.2.2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Analysis)

โดยการนำกากของเสียอุตสาหกรรมทั้ง 4 ชนิด มาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน (Atomic Absorption) ซึ่งทำการเตรียมสารละลายเพื่อวัดปริมาณโลหะหนักตามวิธี ASTM 3050 (รายละเอียดในภาคผนวก ข) และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-ray fluorescence (รายละเอียดในภาคผนวก ค)

### 3.4.3 การตรวจสอบประจุของโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียอุตสาหกรรม

โดยการนำกากของเสียอุตสาหกรรมทั้ง 4 ชนิดมาตรวจสอบประจุของโคแอกกูแลนต์ด้วยเครื่องซีต้าโพเทนเชียล (Zeta Potential) ดังรูป 3.3 ซึ่งทำการเตรียมดังนี้

1) นำกากของเสียอุตสาหกรรมมาเติมน้ำที่ปราศจากไอออน (Deionized water) เพื่อให้กากของเสียอุตสาหกรรมดังกล่าวแขวนลอยอยู่ในน้ำที่ปราศจากไอออน (Deionized water) และปราศจากการรบกวนของไอออนอื่นๆ

2) นำหลอดจีดยาขนาด 30 ซีซี ดูดสารที่เตรียมไว้แล้วฉีดเข้าเครื่อง

3) ผลการวิเคราะห์จะแสดงเป็นค่าประจุ (mV)

4) เมื่อต้องการเปลี่ยนชนิดของกากของเสียอุตสาหกรรมให้ฉีดล้างให้สะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) โดยดูจากค่าประจุในเครื่องว่ามีค่าเท่ากับศูนย์



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดประจุของคอลลอยด์ (Zeta Potential)

#### 3.4.4 การทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์และสารช่วยสร้างตะกอนกับสารส้ม

การนำสารโคแอกกูแลนต์จากกถากรองเดี่ยวอุตสาหกรรมที่เตรียมได้มาทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์และสารช่วยสร้างตะกอนกับสารส้ม เปรียบเทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว โดยวิธีจาร์เทสต์ (Jar Test) ดังรูปที่ 3.5 ตามวิธีการของ ASTM1993 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เตรียมน้ำร่วนสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองปริมาณ 1,000 มล. ลงในถ้วยทดลอง

- 3) ปรับเครื่องกวนให้มีความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการกวนช้า 20 นาที
- 4) หยุดเครื่องกวนและตั้งถ้วยทดลองทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 20 นาที
- 5) วิเคราะห์ส่วนใส เพื่อหาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) กับความขุ่นที่เหลืออยู่ (Residual Turbidity) ด้วยเครื่องวัดความขุ่นดังรูปที่ 3.4
- 6) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ 1-5 เปลี่ยนชนิดของโคแอกกูแลนต์และความขุ่นของน้ำ ขุ่นสังเคราะห์เปรียบเทียบกับการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ ดังรูปที่ 3.4
- 7) นำผลการทดลองที่ได้มาหาค่าเปอร์เซ็นต์ความขุ่นที่เหลือ (%Residual Turbidity) /ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น (% Removal Turbidity) ดังสมการที่ 3.3

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความขุ่นที่เหลือ} = \frac{\text{ค่าความขุ่นเริ่มต้น} - \text{ค่าความขุ่นหลังตกตะกอน}}{\text{ค่าความขุ่นเริ่มต้น}} \times 100 \quad (3.3)$$

(%ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น)

- 8) พล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นที่เหลืออยู่ (Residual Turbidity) กับปริมาณโคแอกกูแลนต์ (Coagulant Dosage) และความเป็นกรด-ด่าง (pH)

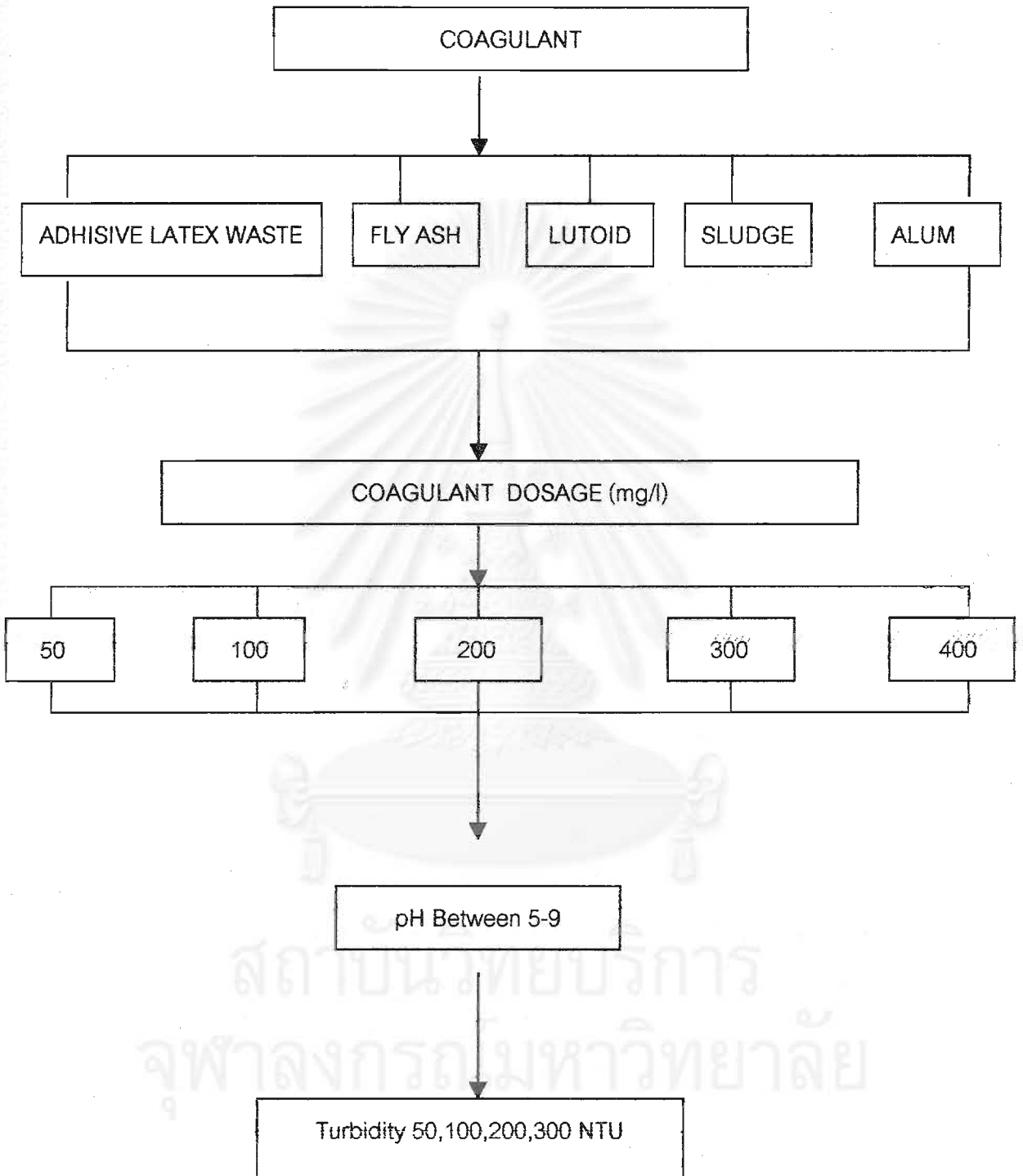
เนื่องจากการทำจาร์เทสต์สามารถทำได้พร้อมๆ กัน 6 ใบ ใน 1 ชุด ในการทดลองชุดหนึ่งนั้นจะมีตัวแปรอิสระตัวแปรเดียว คือปริมาณโคแอกกูแลนต์ ดังนั้น ใน 1 ชุด จึงมีการแปรเปลี่ยนค่าปริมาณการใช้โคแอกกูแลนต์ทั้งหมด 5 ค่าและเป็นแบลงค์ (Blank) 1 ค่า จากการทดสอบด้วยวิธีการดังกล่าวทำให้ทราบถึงปริมาณความขุ่นที่เหลืออยู่ซึ่งสามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของกากของเสียอุตสาหกรรมแต่ละชนิด ความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์และสารช่วยสร้างตะกอนกับสารส้ม รวมทั้งกลไกการตกตะกอนทางเคมีที่เกิดขึ้นในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ในน้ำขุ่น เพื่อประยุกต์ใช้กากของเสียอุตสาหกรรมดังกล่าวในงานด้านการบำบัดน้ำเสียต่อไป



รูปที่ 3.4 ชุดเครื่องมือการประเมินประสิทธิภาพการเป็นโคแอกกูแลนต์  
ด้วยวิธีจาร์เทสต์ (Jar Test)



รูปที่ 3.5 เครื่องมือวัดความขุ่น (Turbidimeter)



รูปที่ 3.6 แผนงานวิจัยเพื่อประเมินความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของกากของเสีย  
อุตสาหกรรม

### 3.4.5 ประเมินค่าใช้จ่ายในการจัดทำกากของเสียอุตสาหกรรมเป็นโคแอกกูแลนต์ เทียบกับการใช้สารส้ม

หลังจากทำการทดสอบประสิทธิภาพของการใช้กากของเสียอุตสาหกรรมเป็นโคแอกกูแลนต์และสารช่วยสร้างตะกอนกับสารส้มแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือนำผลการศึกษาในขั้นต้นมาทำการประเมินต้นทุนในการลดความขุ่นของน้ำ และเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำกากของเสียอุตสาหกรรมมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment) ซึ่งจะพิจารณาจากค่าไฟฟ้าในการเตรียมกากของเสียอุตสาหกรรมดังกล่าวด้วยวิธีเผา อบ เปรียบเทียบกับการนำสารส้มมาใช้ในการรูปของบาท/กิโลกรัมน้ำดิบต่อไป

ค่าใช้จ่ายในการเตรียมโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียอุตสาหกรรม พิจารณาจาก

- ค่าพลังงานไฟฟ้า : ใช้ในการเผากากของเสียอุตสาหกรรมที่อุณหภูมิ 400-500 °C
- ค่าอบ : เพื่อให้กากของเสียอุตสาหกรรมแห้งหลังการกรองสูญญากาศ

การคำนวณค่าใช้จ่ายทำให้ทราบถึงความเป็นไปได้ในการนำกากของเสียอุตสาหกรรมดังกล่าวไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายและแนวคิดในการนำกากของเสียไปใช้ประโยชน์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การศึกษาค่าเตรียมโคแอกกูแลนต์ของกากของเสียอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียเป็นการศึกษาสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและเคมีของกากของเสียอุตสาหกรรม 4 ชนิด ได้แก่ เถ้าลอย (Fly ash) , เศษยางพาราของโรงงานน้ำยางข้น, กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง และกากตะกอนของระบบทำน้ำประปา (Sludge) และภาวะที่เหมาะสมในการเป็น โคแอกกูแลนต์ ดังนี้ ปริมาณโคแอกกูแลนต์ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของกากของเสียอุตสาหกรรมทั้ง 4 ชนิด โดยพิจารณาประสิทธิภาพในการลดความขุ่น (% Residual Turbidity) รวมทั้งทำการศึกษาเปรียบเทียบกับสารส้ม (Alum) ซึ่งเป็นโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้ในการบำบัดความขุ่นในน้ำ

#### 4.1 ลักษณะสมบัติทั่วไปของกากของเสียอุตสาหกรรมทั้ง 4 ชนิด

##### 1) เถ้าลอยจากกลุ่มบริษัทโคเจเนอเรชั่น COCO

เถ้าลอย (Fly Ash)	คุณสมบัติ
Appearance	ผงละเอียด, สีเทา, รูปร่างกลม
Particle Size	90 Mesh
Moisture Content	3%

##### 2) เศษยางพาราของโรงงานน้ำยางข้น (Rubber Waste, Lutoid) ของบริษัท อินเตอร์รีบเบอร์ลาเท็กซ์ จำกัด

เศษยางพาราของโรงงานน้ำยางข้น (Rubber Waste, Lutoid)	คุณสมบัติ
Appearance	ของแข็งสีขาว/เหลืองอ่อน
Moisture Content	40%

## 3) กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง

กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง	คุณสมบัติ
Appearance	เป็นเม็ดสีเทา
Particle Size	90 Mesh

## 4) กากตะกอนของระบบทำน้ำประปา

กากตะกอนของระบบทำน้ำประปา	คุณสมบัติ
Appearance	ของแข็งสีน้ำตาลอ่อน
Particle Size	90 Mesh

## 4.2 การเตรียมกากของเสียอุตสาหกรรม (Preparation Industrial Solid Waste)

การศึกษาในขั้นตอนนี้เป็นการเตรียมกากของเสียอุตสาหกรรมให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการเป็นโคแอกกูแลนต์ โดยกากของเสียอุตสาหกรรมที่เตรียมได้มีลักษณะดังรูปที่ 4.1-4.4 ทั้งนี้ การนำไปเผาที่ 400 °C (ยกเว้นเถ้าลอย) เพื่อไล่สารอินทรีย์ในกากของเสียอุตสาหกรรมซึ่งจะป้องกันการเกิดภาวะเน่าเสียในน้ำที่ได้รับการบำบัด

ตารางที่ 4.1 แสดงแหล่งที่มาของกากของเสียอุตสาหกรรม

ประเภทกากของเสียอุตสาหกรรม (Waste)	ลักษณะที่เห็นด้วยตา
เถ้าลอย	ผงละเอียด, สีเทา
เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยาง	ของแข็งสีขาว, เหลืองอ่อน
กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง	เม็ดสีเทา
กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา	ของแข็งสีน้ำตาลอ่อน



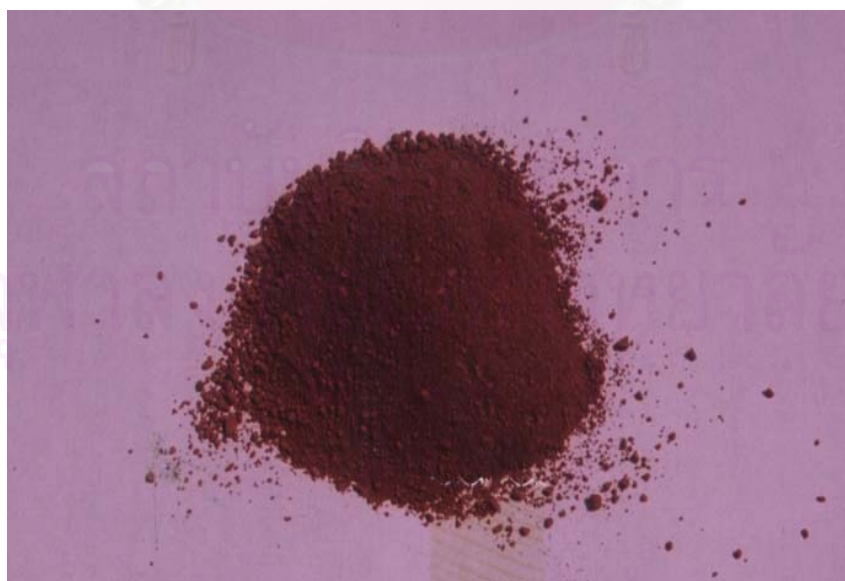
รูปที่ 4.1 ลักษณะของเถ้าลอย (Fly Ash)



รูปที่ 4.2 ลักษณะของเศษยางพาราของโรงงานน้ำยางข้น



รูปที่ 4.3 ลักษณะของกากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง



รูปที่ 4.4 ลักษณะของกากตะกอนของระบบทำน้ำประปา (Sludge)

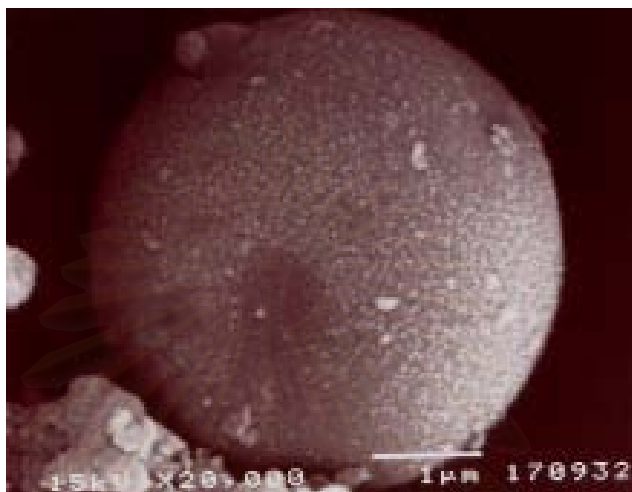
### 4.3 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของกากของเสียอุตสาหกรรม

#### 4.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพของกากของเสียอุตสาหกรรม

กากของเสียอุตสาหกรรมที่นำมาศึกษา ได้มาจากแหล่งต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.2 การศึกษากากของเสียดังกล่าวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM) พบว่า เถ้าลอย (Fly Ash) มีลักษณะเป็นเม็ดกลม ซึ่งเป็นรูปร่างที่พบได้ในเถ้าลอยโดยทั่วไปนั้นมี 3 ลักษณะ คือ ลักษณะค่อนข้างกลมหรือเกือบกลม, ลักษณะเป็นรูพรุน ซึ่งมีน้ำหนักเบาและลอยน้ำได้ และลักษณะที่มีรูปร่างไม่แน่นอนสำหรับการนำเถ้าลอยไปใช้ประโยชน์นั้นในปัจจุบันเถ้าลอยที่ผลิตได้ต่อวันมีปริมาณค่อนข้างสูง หากสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้ จะเป็นการเพิ่มรายได้ของหน่วยงาน แต่หากว่าไม่สามารถใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ได้แล้วจะเป็นภาระในการกำจัดทิ้งซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ นอกจากนี้บริเวณที่นำไปทิ้งจะทำประโยชน์อะไรไม่ได้ อันเป็นการสูญเสียพื้นที่ส่วนนั้นกากของเสียอุตสาหกรรมก่อนเผาและหลังเผามีลักษณะแตกต่างกันดังนี้ กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาและกากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยางก่อนการเผามีลักษณะเป็นแผ่นๆ โครงสร้างแน่นเรียบ แตกต่างจากหลังเผาที่โครงสร้างมีการแตกเป็นรูพรุน ทำให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้นในการจับกับอนุภาคของ  $Al^+$  ในสารส้ม และเพิ่มโอกาสในการสัมผัสกับอนุภาคของคอลลอยด์ในน้ำอีกด้วย ส่วนเศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบก่อนเผาไม่มีการแตกออกของโครงสร้าง เมื่อเผาแล้วจะมีรูพรุนเกิดขึ้นเช่นกัน

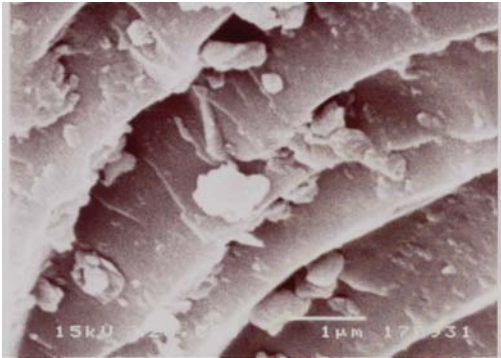
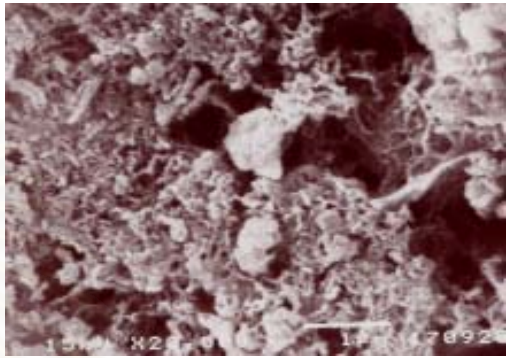

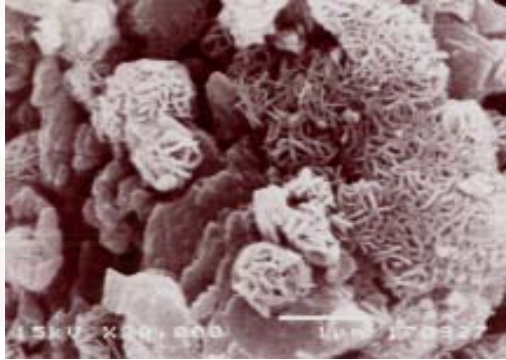
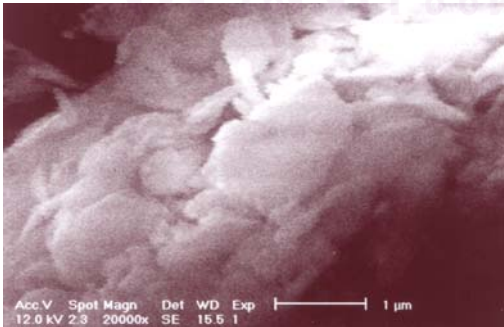
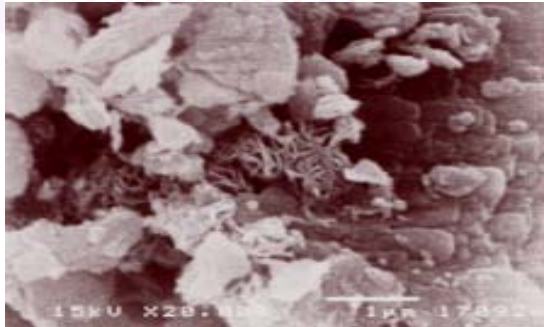
ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของกากของเสียอุตสาหกรรม

กากของเสียอุตสาหกรรม (Waste)	ความหนาแน่น (กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	สี
เถ้าลอย	1.04	เทา
เศษยางพาราของโรงงานน้ำยางชั้น	0.53	ขาว, เหลืองอ่อน
กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง	0.53	เทา
กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา	1.3	น้ำตาลอ่อน



รูปที่ 4.5 ภาพถ่าย SEM ของเถ้าลอย (Fly Ash) กำลังขยาย 20,000 เท่า

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก่อนเผา	หลังเผา
 <p>รูปที่ 4.6 ภาพถ่าย SEM ของกากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง กำลังขยาย 20,000 เท่า</p>	 <p>รูปที่ 4.7 ภาพถ่าย SEM ของกากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง กำลังขยาย 20,000 เท่า</p>
 <p>รูปที่ 4.8 ภาพถ่าย SEM เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้น กำลังขยาย 7,500 เท่า</p>	 <p>รูปที่ 4.9 ภาพถ่าย SEM เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้น กำลังขยาย 20,000 เท่า</p>
 <p>รูปที่ 4.10 ภาพถ่าย SEM ของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา กำลังขยาย 20,000 เท่า</p>	 <p>รูปที่ 4.11 ภาพถ่าย SEM ของกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา กำลังขยาย 20,000 เท่า</p>

#### 4.3.2 คุณสมบัติทางเคมีของกากของเสียอุตสาหกรรม

จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของกากของเสียอุตสาหกรรม ทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบในกากของเสียอุตสาหกรรม ซึ่งค่าปริมาณโลหะหนักที่ทำการวัดคือ Fe, Cd, Cu, Zn, Ni, Pb และ Hg ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเฉลี่ย

โลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์	ตัวอย่าง							
	เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น		เถ้าลอย		กากตะกอนของระบบผลิตน้ำประปา		กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง	
	mg /L	%*	mg /L	%*	mg /L	%*	mg /L	%*
Fe	3.46	0.034	6.52	0.065	5.50	0.055	4.87	0.048
Cu	1.37	5	1.16	0.011	1.02	0.010	0.78	0.078
Zn	4.15	0.014	1.95	0.020	0.08	0.0008	0.96	0.096
Ni	ND.	0.042	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.
Pb	0.40	ND.	0.67	0.067	0.02	0.0002	0.05	0.005
Hg	ND.	0.040	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.
Cd	0.13	ND. 0.010	ND	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.

หมายเหตุ : เมื่อใช้กากของเสียอุตสาหกรรมในปริมาณ 10 กรัม เพื่อนำมาย่อย (Digest)

แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrometry (AAS)

%\* หมายถึง เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของกากของเสียอุตสาหกรรม

ND. หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากมีปริมาณน้อยมากเกินกว่าความสามารถของเครื่องจะทำการตรวจวัด

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยวิธี X-ray fluorescence



ชนิดของธาตุองค์ประกอบที่ทำการวิเคราะห์	องค์ประกอบ(% โดยน้ำหนัก)			
	เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้น	เถ้าลอย	กากตะกอนของระบบผลิตน้ำประปา	กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง
Na <sub>2</sub> O	ND.	0.41	0.40	0.59
MgO	21.17	1.33	1.07	0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07	25.59	32.47	20.45
SiO <sub>2</sub>	0.69	42.17	54.50	44.32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	34.78	0.09	0.20	0.15
SO <sub>3</sub>	ND.	4.48	0.30	2.06
Cl	ND.	ND.	ND.	0.05
K <sub>2</sub> O	1.32	0.67	2.16	1.46
CaO	0.15	14.48	1.43	11.53
TiO <sub>2</sub>	ND.	1.49	0.71	0.07
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ND.	ND.	0.02	0.08
MnO	0.02	0.04	0.07	ND.
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	4.38	6.66	0.72
NiO	ND.	0.03	ND.	ND.
CuO	ND.	0.01	ND.	ND.
ZnO	0.36	ND.	-	ND.
SrO	ND.	0.03	-	ND.
ZrO <sub>2</sub>	ND.	0.02	-	ND.
Rb	0.02	ND.	-	ND.
L.O.I.	41.40	4.82	-	ND.

หมายเหตุ : L.O.I(Loss of ignition) คือ ค่าร้อยละของน้ำหนักที่สูญหายเนื่องจากการเผา

: ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้ คำนวณค่าให้อยู่ในรูป Oxide ของธาตุนั้นๆ

: ตัวอย่างผ่านการเผาที่ 1000 °C

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence) สำหรับการตกตะกอนทางเคมีซึ่งมีองค์ประกอบของธาตุสำคัญที่เหมาะสมต่อการเป็นโคแอกกูแลนต์ คือ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  และ  $\text{SiO}_2$  นั้น พบว่า กากตะกอนจากระบบทำน้ำประปามีปริมาณ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  มากที่สุด คือ 32.47 % รองลงมาคือเถ้าลอยและกากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง ซึ่งมีปริมาณ 25.59% และ 20.45% ตามลำดับ ในขณะที่เศษยางพาราของโรงงานน้ำยางชั้นมีปริมาณ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  น้อยมาก ส่วนปริมาณ  $\text{SiO}_2$  ในกากตะกอนจากระบบทำน้ำประปามากที่สุดคือ 54.50% เนื่องจากกากตะกอนจากระบบทำน้ำประปามีดินเหนียวปนอยู่ซึ่งองค์ประกอบหลักของดินเหนียวจะเป็นซิลิกา (Si) รองลงมาคือ กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยางและเถ้าลอยมี 44.32% และ 42.17% ตามลำดับ โดยเถ้าลอยจะมีปริมาณ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  น้อยกว่า  $\text{SiO}_2$  ครึ่งหนึ่ง และผลรวมร้อยละของออกไซด์  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$  และ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  มากกว่า 70 ปริมาณ CaO จะสูง 14.48% จัดเป็นเถ้าลอยชนิดซับบิโทมินัสและลิกไนต์ ซึ่งเถ้าลอยชนิดดังกล่าวจะมีปริมาณ CaO ประมาณ 15-35 % (กรกฎ ,2531)

#### 4.4 การตรวจสอบประจุของโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียอุตสาหกรรม

จากการตรวจสอบประจุของกากของเสียอุตสาหกรรมด้วยเครื่องซีต้าไซส์เซอร์ (Zeta Sizer) พบว่ามีค่าประจุเป็นลบ ซึ่งค่าประจุแสดงในตารางที่ 4.5 ดังนี้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าประจุของกากของเสียอุตสาหกรรม

ชนิดของกากของเสียอุตสาหกรรม	Zeta potential (mV)
สารส้ม	20.0
เถ้าลอย	-30.2
กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง	-21.2
กากตะกอนจากระบบทำน้ำประปา	-20.5
เศษยางพาราของโรงงานน้ำยางชั้น	-23.5

#### 4.5 การประเมินความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์และสารช่วยสร้างตะกอนจากกากของเสียอุตสาหกรรมเปรียบเทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว

เป็นการนำเอาสารโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียอุตสาหกรรมที่เตรียมได้ มาทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์และสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้ม เปรียบเทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว โดยวิธีจาร์เจสต์ตามวิธี ASTM (1993) เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ คือ ชนิดของโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ได้แก่ สารส้ม และสารละลายกากของเสียอุตสาหกรรมทั้ง 4 ชนิด , ความขุ่นของน้ำสังเคราะห์ที่เตรียมจากดินคาโอลิไนท์ ที่ระดับความขุ่น 50,100,200 และ 300 NTU เนื่องจากช่วงความขุ่นดังกล่าวเป็นความขุ่นในช่วงของอนุภาคคอลลอยด์ , ค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 5-9 ดังที่ได้กล่าวอย่างละเอียดแล้วในบทที่ 3 มีผลการทดลองดังนี้

##### 4.1 เมื่อไม่ใช้โคแอกกูแลนต์ในการตกตะกอน

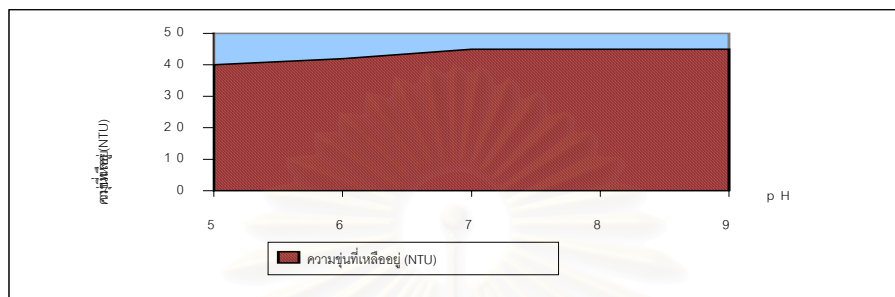
ผลการทดลองเมื่อไม่ใช้โคแอกกูแลนต์ในการตกตะกอน ที่ความขุ่นเริ่มต้น 50,100,200 และ 300 NTU พบว่า ความขุ่นที่เหลืออยู่มีค่าสูงในทุกๆความเป็นกรด-ด่าง แต่ยังคงตกตะกอนได้บ้างเนื่องจากดินคาโอลิไนท์ก็มีคุณสมบัติในการตกตะกอนความขุ่นได้บ้าง และการที่อนุภาคคอลลอยด์เข้ามาสัมผัสกันในระหว่างการกวนช้า และการตกตะกอน ซึ่งยังไม่สามารถลดความขุ่นได้ดีมากนัก หรือแทบจะไม่มีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นเลย ดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.12

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

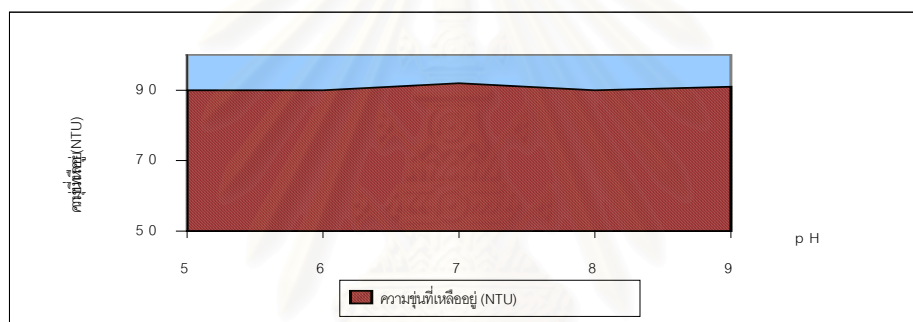
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อไม่  
ใช้สารโคแอกกูแลนต์ในการตกตะกอน

ความขุ่นเริ่มต้น (NTU)	pH	ความขุ่นที่เหลืออยู่ (NTU)	% ประสิทธิภาพ ในการกำจัดความขุ่น
50	5	40	20
	6	42	16
	7	45	10
	8	45	10
	9	45	10
100	5	90	10
	6	90	10
	7	92	8
	8	90	10
	9	91	9
200	5	190	5
	6	185	7.5
	7	185	7.5
	8	195	2.5
	9	185	7.5
300	5	300	0
	6	280	6.7
	7	290	3.3
	8	285	5
	9	300	0

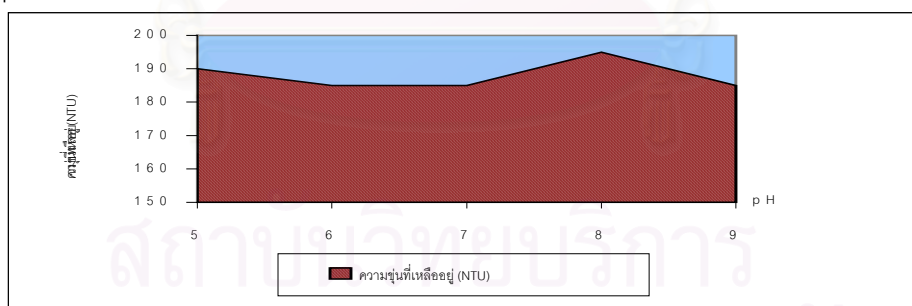
ก) ความขุ่นเริ่มต้น 50 NTU



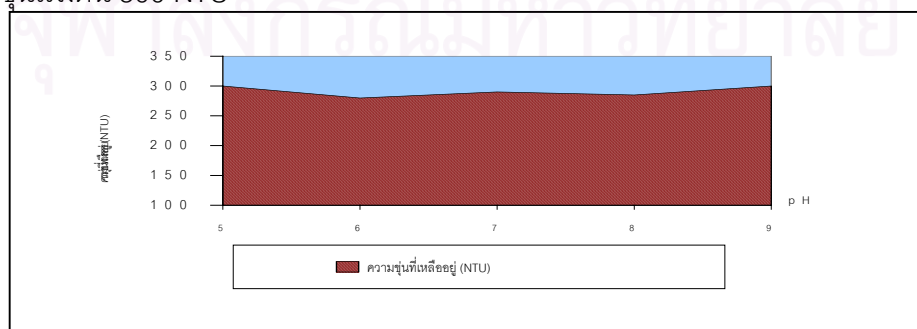
ข) ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU



ค) ความขุ่นเริ่มต้น 200 NTU



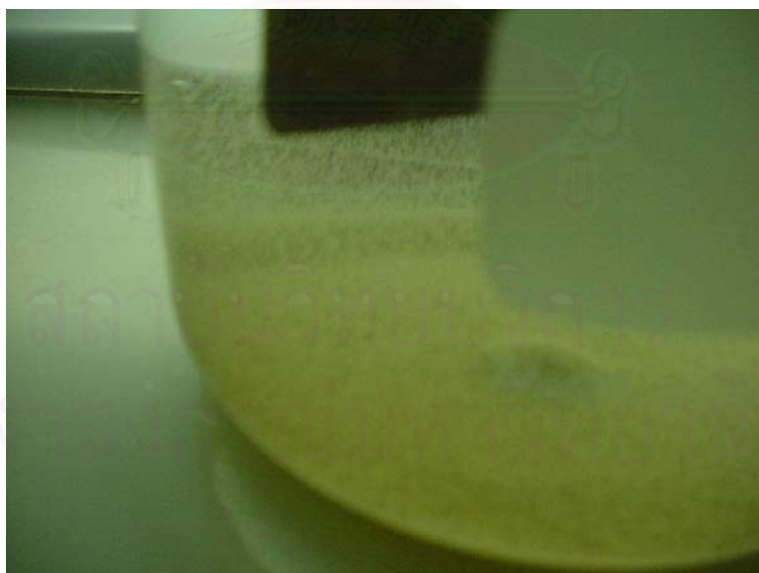
ง) ความขุ่นเริ่มต้น 300 NTU



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นที่เหลืออยู่ (NTU) กับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เมื่อไม่ใช้โคแอกกูแลนต์ในการตกตะกอน (Control)

#### 4.5.2 การใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว

ผลการทดลองเมื่อใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว พบว่าที่ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU ปริมาณความเข้มข้น 50 มก./ล. ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 7-8 ให้ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงสุดคือ 99% ( ดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.10,4.11) สำหรับกลไกในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ของสารส้มประกอบด้วยกลไกหลัก 2 ประการ คือ กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุและกลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ด้วยผลึกหรือกลไกการตกตะกอนแบบกวาด (Sweep Coagulation) หนึ่ง ในการทำโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มของน้ำธรรมชาติส่วนใหญ่มีกลไกแบบ Sweep Coagulation เป็นกลไกหลัก โดยอาจมีกลไกแบบดูดติดผิวหรือจะทำลายประจุเป็นกลไกร่วมซึ่งมีบทบาทน้อยกว่า (มันสิน,2538)

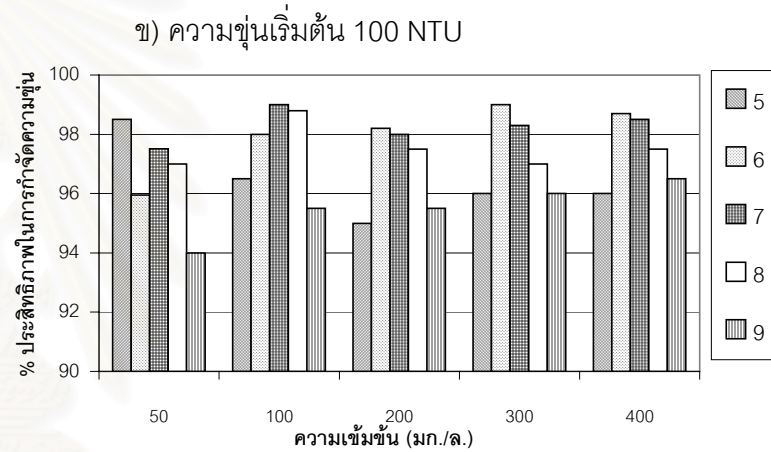
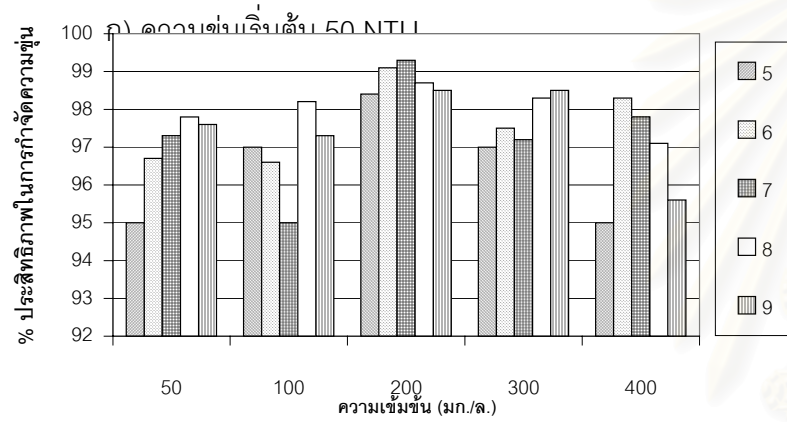


รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะฟลอคที่เกิดจากการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์

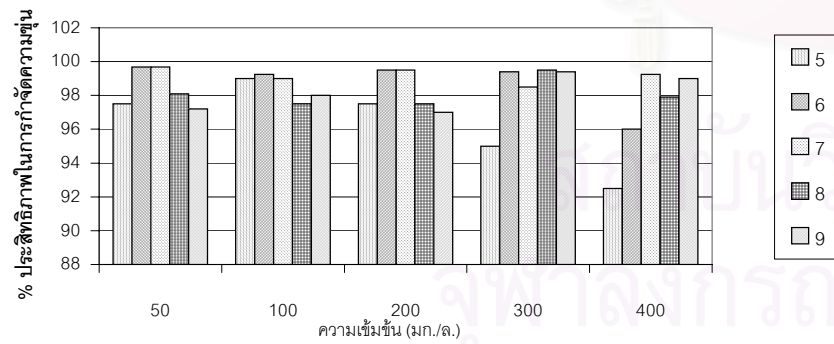
ตารางที่ 4.7 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์

ความขุ่นของ น้ำดิบสังเคราะห์ (NTU)	พีเอช	ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น(%)				
		ปริมาณโคแอกกูแลนต์ (มก./ล.)				
		50	100	200	300	400
50	5	94	86	96	86	89
	6	98.4	<b>98</b>	98.8	93	95
	7	95	<b>97.4</b>	86	97.6	97.4
	8	97	<b>98</b>	84	97.4	82
	9	97	<b>98</b>	83	97	84
100	5	98.5	96.5	95	96	96
	6	96	<b>98</b>	98.2	99	98.7
	7	97.5	<b>98</b>	98	98.3	98.5
	8	97	<b>98.8</b>	97.5	97	97.5
	9	94	95.5	95.5	96	96.5
200	5	97.5	<b>97.5</b>	97.5	95	92.5
	6	98	<b>97.75</b>	99.5	99.4	96
	7	98	<b>98.5</b>	99.5	98.5	99.25
	8	98.1	<b>97.5</b>	97.5	99.5	97.9
	9	97.2	<b>98</b>	97	99.4	97
300	5	95	97	<b>98.4</b>	97	95
	6	96.7	96.6	<b>98.5</b>	97.5	98.3
	7	97.3	95	<b>98.67</b>	97.2	97.8
	8	97.8	98.2	<b>98.7</b>	98.3	97.1
	9	97.6	97.3	<b>98.5</b>	98.5	95.6

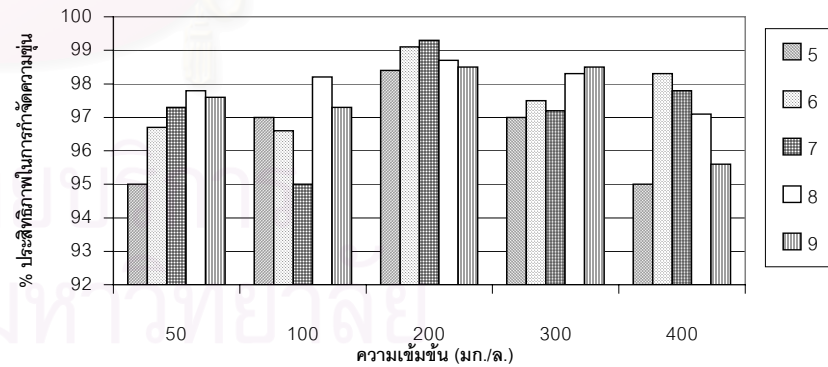
หมายเหตุ: ส่วนที่แรเงาแสดงประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดความขุ่น



ค) ความขุ่นเริ่มต้น 200 NTU



ง) ความขุ่นเริ่มต้น 300 NTU



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับความเข้มข้นเมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์



#### 4.4.3 การใช้กากของเสียอุตสาหกรรมเป็นโคแอกกูแลนต์ (Industrial Solid Waste)

จากผลการทดลอง พบว่า การใช้กากของเสียอุตสาหกรรมเป็นโคแอกกูแลนต์สามารถลดความขุ่นได้ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นจะแปรผันตามความขุ่นเริ่มต้น ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น ชนิดของกากของเสียอุตสาหกรรม ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของน้ำดิบจะมีค่าสูงกว่าร้อยละ 50 เมื่อความขุ่นของน้ำดิบอยู่ระหว่าง 100-200 NTU และค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 6-8 โดยปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่เหมาะสมมีค่าเป็น 100 มก./ล. ไม่แตกต่างกันทุกกากของเสียอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถสรุปความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของกากของเสียอุตสาหกรรมชนิดต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.7-4.10 และรูปที่



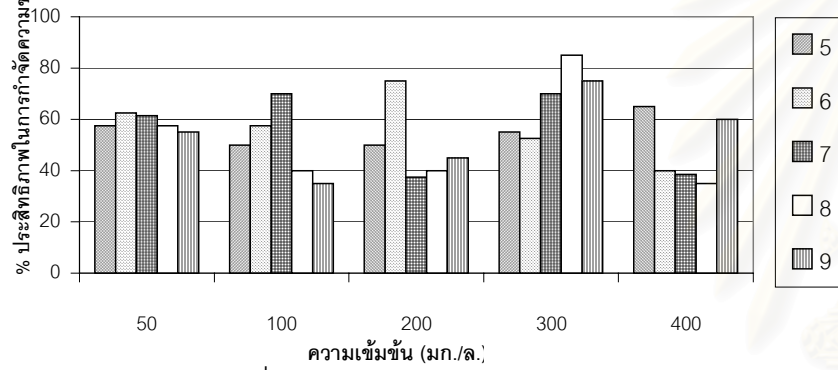
รูปที่ 4.15 ลักษณะของน้ำขุ่นหลังตกตะกอนเมื่อใช้กากของเสียอุตสาหกรรมเป็นโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้ถ้ำลอยเป็นโคแอกกูแลนต์

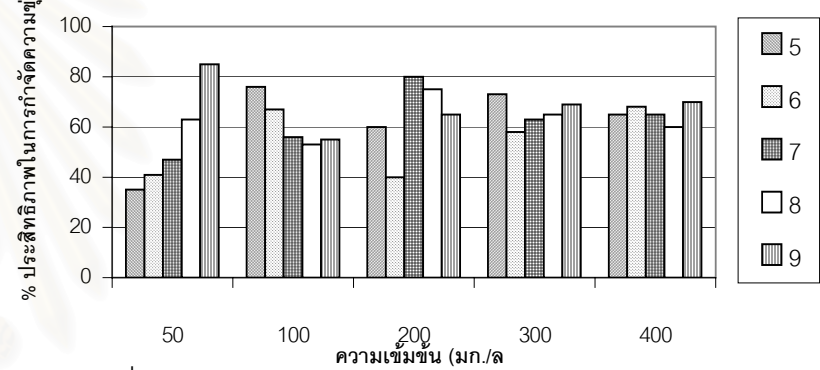
ความขุ่นของ น้ำดิบสังเคราะห์ (NTU)	พีเอช	ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น(%)				
		ปริมาณโคแอกกูแลนต์ (มก./ล.)				
		50	100	200	300	400
50	5	32	46	50	56	20
	6	40	40	<b>66</b>	64	40
	7	46	50	44	44	40
	8	50	26	22	30	56
	9	40	20	60	20	60
100	5	35	<b>76</b>	60	73	65
	6	41	67	40	58	68
	7	47	56	80	63	65
	8	63	53	75	65	60
	9	85	55	65	69	70
200	5	57.5	50	50	55	65
	6	62.5	57.5	<b>75</b>	52.5	40
	7	61.5	70	37.5	70	38.5
	8	57.5	40	40	85	35
	9	55	35	45	75	60
300	5	50	<b>66.6</b>	60	66.6	66.6
	6	40	63.3	33.3	63.6	50.6
	7	58.3	46.6	63.3	16.6	53.3
	8	43.3	23.3	36.6	30	60
	9	50	16.6	26.6	23.3	16.6

หมายเหตุ: ส่วนที่แรเงาแสดงประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดความขุ่น

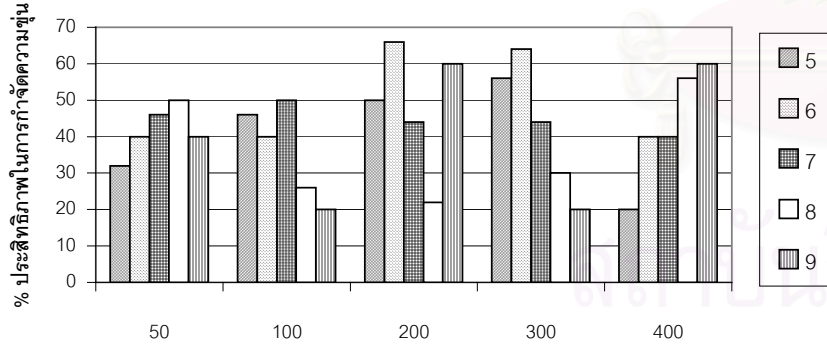
ก) ความขุ่นเริ่มต้น 50 NTU



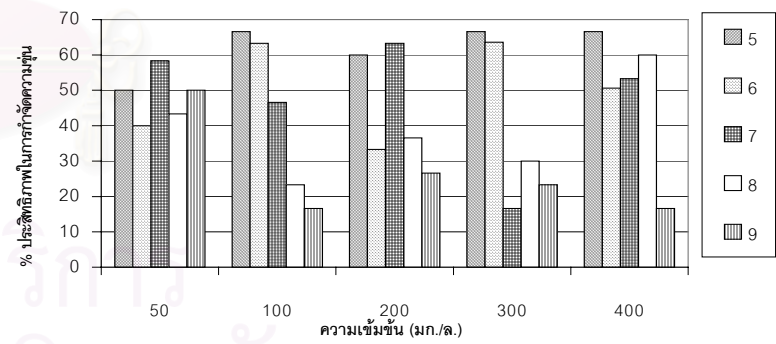
ข) ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU



ค) ความขุ่นเริ่มต้น 200 NTU



ง) ความขุ่นเริ่มต้น 300 NTU

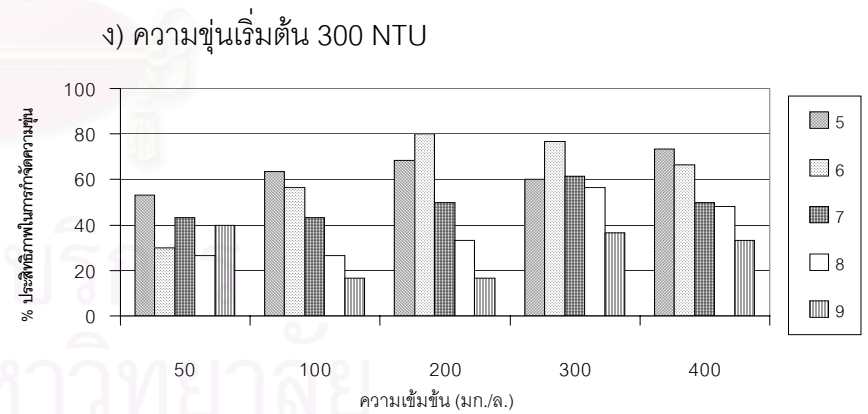
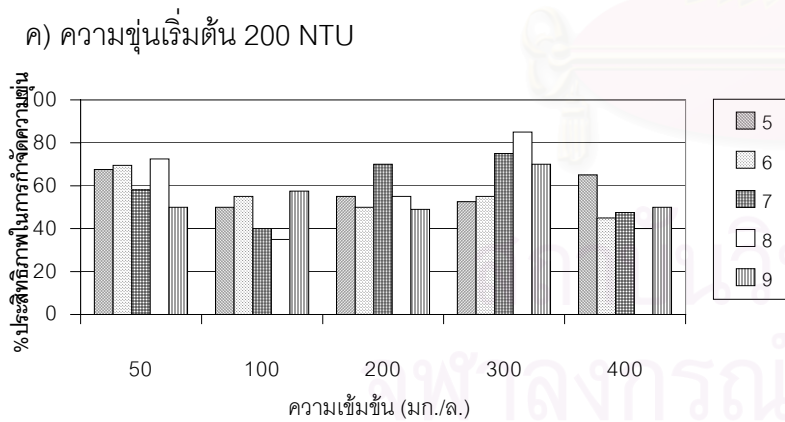
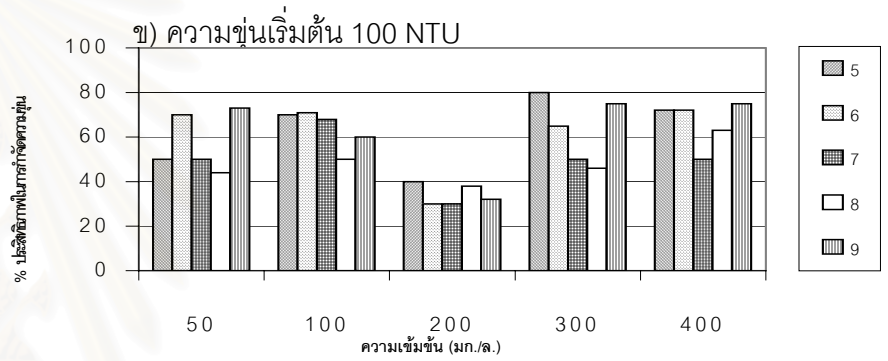
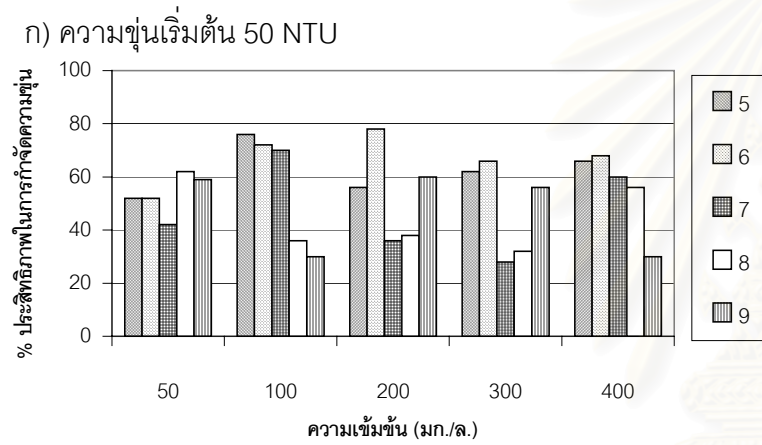


รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับความเข้มข้นเมื่อใช้ถ้ำลอยเป็นโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ 4.9 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำ  
 กาวยาง เป็นโคแอกกูแลนต์

ความขุ่นของ น้ำดิบสังเคราะห์ (NTU)	พีเอช	ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น(%)				
		ปริมาณโคแอกกูแลนต์ (มก./ล.)				
		50	100	200	300	400
50	5	52	76	56	62	66
	6	52	72	78	66	68
	7	42	70	36	28	60
	8	62	36	38	32	56
	9	59	30	60	56	30
100	5	50	70	40	80	72
	6	70	71	30	65	72
	7	50	68	30	50	50
	8	44	50	38	46	63
	9	73	60	32	75	75
200	5	67.5	75	55	52.5	65
	6	69.5	55	50	55	45
	7	58	40	70	75	47.5
	8	72.5	35	55	50	40
	9	50	57.5	40	70	50
300	5	53.3	63.6	68.3	60	73.3
	6	30	56.6	80	76.6	66.6
	7	43.3	43.3	50	61.6	50
	8	26.6	26.6	33.3	56.6	48.3
	9	40	16.6	16.6	36.6	33.3

หมายเหตุ: ส่วนที่แรเงาแสดงประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดความขุ่น

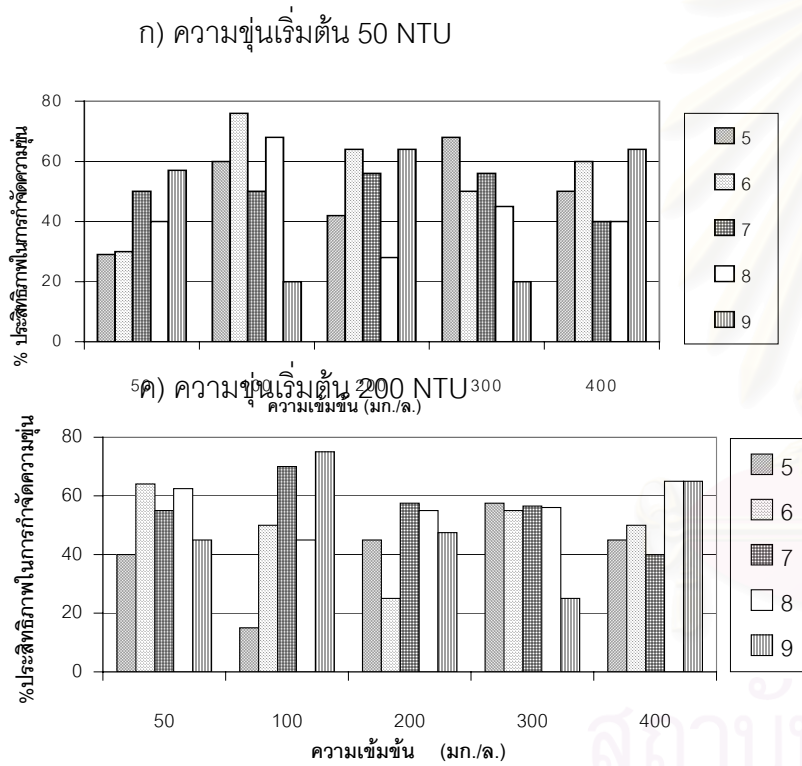


รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับความเข้มข้นเมื่อใช้กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยางเป็นโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ 4.10 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้กากตะกอนจากระบบทำน้ำประปาเป็นโคแอกกูแลนต์

ความขุ่นของ น้ำดิบสังเคราะห์ (NTU)	พีเอช	ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น(%)				
		ปริมาณโคแอกกูแลนต์ (มก./ล.)				
		50	100	200	300	400
50	5	29	60	42	68	50
	6	30	76	64	50	60
	7	50	50	56	56	40
	8	40	68	28	45	40
	9	57	20	64	20	64
100	5	51	80	60	55	65
	6	73	70	70	60	60
	7	55	69	70	70	55
	8	45	50	62	45	50
	9	70	60	68	55	60
200	5	40	15	45	57.5	45
	6	64	50	25	55	50
	7	55	70	57.5	56.5	40
	8	62.5	45	55	56	65
	9	45	75	47.5	25	65
300	5	26.6	60	67.3	60	40
	6	33.3	43.3	58.3	43.3	30
	7	66.6	50	66.6	33.3	33.3
	8	46.6	23.3	50	33.3	60
	9	40	26.6	33.3	30	53.3

หมายเหตุ: ส่วนที่แรเงาแสดงประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดความขุ่น



รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับความเข้มข้นเมื่อใช้กากตะกอนจากระบบทำน้ำประปาเป็นโคแอกกูแลนต์

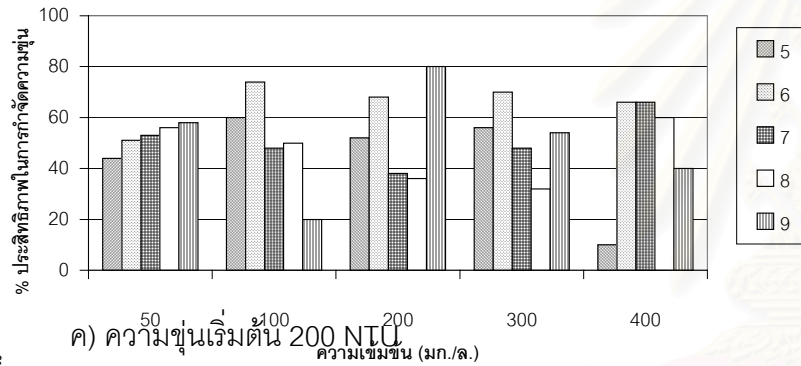
ตารางที่ 4.11 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นเป็นโคแอกกูแลนต์

ความขุ่นของ น้ำดิบสังเคราะห์ (NTU)	พีเอช	ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น(%)				
		ปริมาณโคแอกกูแลนต์ (มก./ล.)				
		50	100	200	300	400
50	5	44	60	52	56	10
	6	51	74	68	70	66
	7	53	48	38	48	66
	8	56	50	36	32	60
	9	58	20	80	54	40
100	5	46	44	35	72	70
	6	60	68	50	71	60
	7	47	73	45	65	70
	8	60	65	60	55	62
	9	78	70	60	59	64
200	5	37.5	15	40	45	51
	6	65	40	37.5	30	40
	7	70	39	60	77.5	50
	8	67.5	25	25	86.5	42.5
	9	56.5	22.5	39.5	40	75
300	5	26.6	40	66.6	50	56.6
	6	33.3	40	75	58.3	33.3
	7	66.6	33	60	30	63.3
	8	46.6	20	36.6	36.6	50
	9	40	16.6	33.3	33.3	55

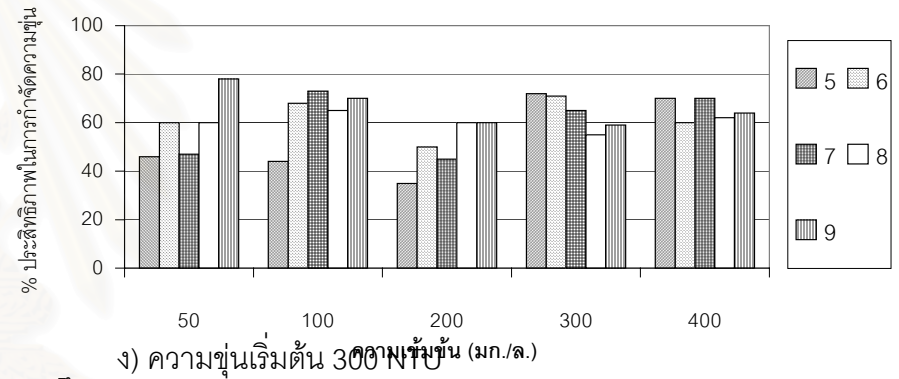
หมายเหตุ: ส่วนที่แรเงาแสดงประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดความขุ่น



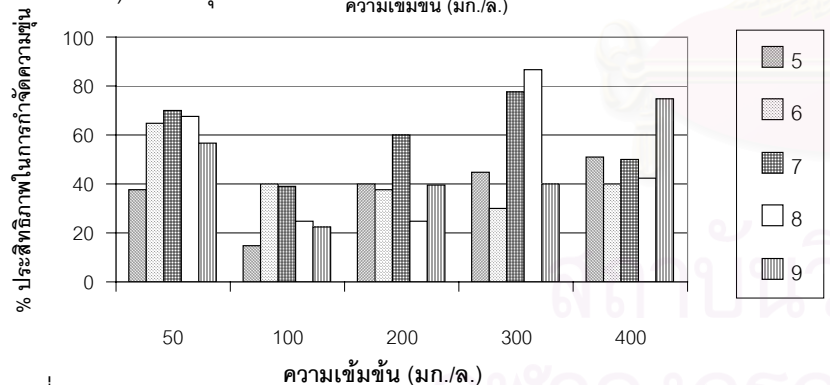
ก) ความขุ่นเริ่มต้น 50 NTU



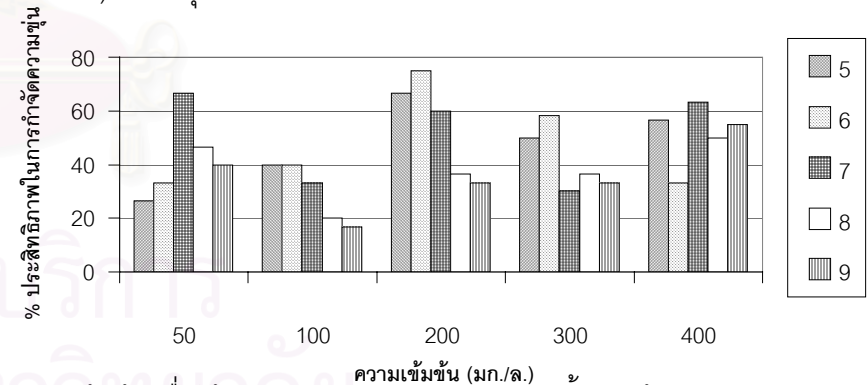
ข) ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU



ค) ความขุ่นเริ่มต้น 200 NTU



ง) ความขุ่นเริ่มต้น 300 NTU



รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นกับความเข้มข้นเมื่อใช้เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น เป็นโคแอกกูแลนต์

- เมื่อใช้ถ้ำลอยเป็นโคแอกกูแลนต์สามารถกำจัดความขุ่นได้ดี เมื่อน้ำดิบมีความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 6 ค่าความขุ่นที่เหลืออยู่เป็น 20 NTU คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น 80 %

- เมื่อใช้กากของเสียอุตสาหกรรมทำกายางเป็นโคแอกกูแลนต์สามารถกำจัดความขุ่นได้ดี เมื่อน้ำดิบมีความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมเป็น 6 ค่าความขุ่นที่เหลืออยู่เป็น 29 NTU คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น 71 %

- เมื่อใช้กากตะกอนของระบบทำน้ำประปาเป็นโคแอกกูแลนต์ สามารถกำจัดความขุ่นได้ดี เมื่อน้ำดิบมีความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU ที่ความเป็นกรด-ด่าง คือ 5-6 โดยสามารถลดความขุ่นได้ถึง 20-30 NTU คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น 70-80 %

- เมื่อใช้เศษยางพาราของโรงงานน้ำยางชั้นเป็นโคแอกกูแลนต์ สามารถกำจัดความขุ่นได้ดี เมื่อน้ำดิบมีความขุ่น 200 NTU และค่าความเป็นกรด-ด่างคือ 7 แต่โดยภาพรวมแล้วค่าประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่เหมาะสมเป็น 100 NTU สามารถลดความขุ่นได้ถึง 78 %

นอกจากนี้ยังพบว่าค่าประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของกากของเสียอุตสาหกรรมจะต่ำ คืออยู่ในช่วง 20%-60% ที่ความขุ่นของน้ำดิบเป็น 50 NTU และจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อความขุ่นของน้ำดิบเพิ่มขึ้นเนื่องจากการใช้โพลีเมอร์กับน้ำที่มีความขุ่นต่ำโอกาสสัมผัสกันระหว่างอนุภาคจะมีน้อย ดังนั้นการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคจึงน่าจะเกิดกลไกการเกิดหย่อมประจุไฟฟ้า แต่เนื่องจากกากของเสียอุตสาหกรรมที่นำมาใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ในครั้งนี้มีประจุเป็นลบ จึงไม่น่าจะเกิดกลไกดังกล่าว รวมทั้งประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสามารถเกิดได้ดีตั้งแต่ 100 NTU ขึ้นไป นั่นเป็นเพราะกลไกเกิดสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาค จะได้ผลดีเมื่อความขุ่นของน้ำดิบเพิ่มขึ้น เป็นเพราะละลายอิสระที่เหลือของโพลีเมอร์สามารถยึดกับอนุภาคที่เหลือได้มากขึ้น ทำให้กลไกการกลับคืนเสถียรภาพเกิดขึ้นได้น้อยลง แต่ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นยังคงต่ำอยู่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.5.4 เมื่อใช้กากของเสียอุตสาหกรรมเป็นสารช่วยสร้างตะกอน(Coagulant Aid) ร่วมกับสารส้ม

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.11-4.14 พบว่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นจะน้อยที่สุด เมื่อความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นเป็น 7 ตามหลักการที่กล่าวไว้ว่าระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม คือ 6-7 ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเข้าใกล้ความเป็นกลาง สารประกอบ  $Al(OH)_3$  ซึ่งเป็นของแข็งจะเกิดขึ้นมากกว่า อีออนอื่นๆ ( $Al^{+3}$ ,  $Al(OH)^{+2}$ ,  $Al_8(OH)_{20}^{+4}$  และ  $Al(OH)_4^-$ ) อย่างไรก็ตาม การตกผลึกอาจเกิดขึ้นในอัตราช้ามากเมื่อใช้สารส้มน้อย เนื่องจากไม่มีการชักนำ (Seed) ดังนั้นในทางปฏิบัติจะต้องมีสารส้มไม่น้อยกว่า 30 มก./ล. ในการทดลองครั้งนี้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเป็น 50 มก./ล. จึงมีผลึก  $Al(OH)_3$  เกิดขึ้นในอัตราเร็วพอสมควร ด้วยเหตุนี้การทำโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มให้กับน้ำจึงควรให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำขุ่นสังเคราะห์มีค่าเป็นกลางหรือกรดเล็กน้อย น้ำไม่ควรมีความเป็นกรด-ด่างต่ำมาก เพราะ  $Al^{+3}$  จะไม่ดูดติดผิวอนุภาคคอลลอยด์ ดังนั้นแม้ว่าจะมีประจุบวกมากก็ไม่ดีเหมือนอีออนคอมเพล็กซ์อื่นที่มีประจุน้อยกว่า แต่ดูดติดผิวอนุภาคได้ และน้ำไม่ควรมีความเป็นกรด-ด่างสูง เนื่องจากจะได้อีออนที่มีประจุลบ ซึ่งไม่มีประโยชน์ในการทำโคแอกกูเลชันให้กับคอลลอยด์ซึ่งมีประจุลบเช่นกัน

ตารางที่ 4.12 ความขุ่นหลังการตกตะกอนเมื่อใช้สารส้มร่วมกับกากของเสียอุตสาหกรรมร้อยละ 30,50 และ 70 ของปริมาณที่เหมาะสมเมื่อความขุ่นเริ่มต้นเป็น 100 NTU

ความขุ่นของน้ำดิบ สังเคราะห์ (NTU)	ปริมาณสารส้ม (มก./ล.)	pH	ชนิดของสารช่วยสร้างตะกอน	ความขุ่นหลังการตกตะกอน(NTU)		
				30%	50%	70%
100	50	6	Fly Ash	2.0	3.0	1.5
			Sludge	2.5	4.5	5.6
			Lutoid	18	14.4	23
			Adhesive latex waste	3.6	3.5	7.2
		7	Fly Ash	2.0	2.5	3.0
			Sludge	3.0	3.5	3.8
			Lutoid	14.0	13.6	16.3
			Adhesive latex waste	6.5	2.5	3.5
		8	Fly Ash	4.5	3.5	4.4
			Sludge	7.0	9.0	8.9
			Lutoid	15.2	18.8	18.0
			Adhesive latex waste	3.5	4.0	4.5

หมายเหตุ : Fly Ash หมายถึง เถ้าลอย

Sludge หมายถึง กากตะกอนจากระบบทำน้ำประปา

Lutoid หมายถึง เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้น

Adhesive latex waste หมายถึง กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง

หมายเหตุ : ส่วนที่แรเงาแสดงค่าความขุ่นที่ต่ำสุดหลังการตกตะกอน

30% คือ ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นสารช่วยสร้างตะกอน 70 มก./ล. และสารส้ม 30 มก./ล.

50% คือ ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นสารช่วยสร้างตะกอน 50 มก./ล. และสารส้ม 50 มก./ล.

70% คือ ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นสารช่วยสร้างตะกอน 30 มก./ล. และสารส้ม 70 มก./ล.

ตารางที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มร่วมกับกากของเสียอุตสาหกรรมร้อยละ 30,50 และ 70 ของปริมาณที่เหมาะสมเมื่อความขุ่นเริ่มต้นเป็น 100 NTU

ความขุ่นของน้ำดิบ สังเคราะห์ (NTU)	ปริมาณสารส้ม (มก./ล.)	pH	ชนิดของสารช่วยสร้างตะกอน	% ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น		
				30%	50%	70%
100	50	6	Fly Ash	98	97.0	98.5
			Sludge	97.5	95.5	94.4
			Lutoid	82.0	85.6	87.0
			Adhesive latex waste	96.4	96.5	92.8
		7	Fly Ash	98.0	98.5	97.0
			Sludge	97.0	96.5	96.2
			Lutoid	86.0	86.4	83.7
			Adhesive latex waste	97.2	97.5	96.5
		8	Fly Ash	95.5	96.5	95.6
			Sludge	93.0	91.0	91.1
			Lutoid	94.8	81.2	82.0
			Adhesive latex waste	96.5	96.0	95.5

หมายเหตุ : Fly Ash หมายถึง เถ้าลอย

Sludge หมายถึง กากตะกอนจากระบบทำน้ำประปา

Lutiod หมายถึง เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้น

Adhesive latex waste หมายถึง กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง

ส่วนที่แรเงาแสดงประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงที่สุดหลังการตกตะกอน

30% คือ ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นสารช่วยสร้างตะกอน 70 มก./ล. และสารส้ม 30 มก./ล.

50% คือ ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นสารช่วยสร้างตะกอน 50 มก./ล. และสารส้ม 50 มก./ล.

70% คือ ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นสารช่วยสร้างตะกอน 30 มก./ล. และสารส้ม 70 มก./ล.

ตารางที่ 4.14 ความขุ่นหลังตกตะกอนเมื่อใช้สารส้มร่วมกับกากของเสียอุตสาหกรรมร้อยละ 30,50 และ 70 ของปริมาณที่เหมาะสมเมื่อความขุ่นเริ่มต้นเป็น 200 NTU

ความขุ่นของน้ำดิบ สังเคราะห์ (NTU)	ปริมาณสารส้ม (มก./ล.)	pH	ชนิดของสารช่วยสร้างตะกอน	ความขุ่นหลังการตกตะกอน(NTU)		
				30%	50%	70%
200	50	6	Fly Ash	10.0	13.5	15.0
			Sludge	11.5	15.0	17.0
			Lutoid	22.0	27.0	29.0
			Adhesive latex waste	11.0	14.0	16.0
		7	Fly Ash	9.0	8.0	10.5
			Sludge	15.5	10.0	12.0
			Lutoid	19.0	15.0	17.0
			Adhesive latex waste	11.0	9.0	11.0
		8	Fly Ash	20.0	19.5	20.5
			Sludge	22.0	24.0	28.0
			Lutoid	26.0	28.0	22.0
			Adhesive latex waste	21.0	22.0	28.5

หมายเหตุ : Fly Ash หมายถึง ถ่านลอย

Sludge หมายถึง กากตะกอนจากระบบทำน้ำประปา

Lutoid หมายถึง เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้น

Adhesive latex waste หมายถึง กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง

ส่วนที่แรเงาแสดงค่าความขุ่นที่ต่ำสุดหลังการตกตะกอน

30% คือ ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นสารช่วยสร้างตะกอน 70 มก./ล. และสารส้ม 30 มก./ล.

50% คือ ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นสารช่วยสร้างตะกอน 50 มก./ล. และสารส้ม 50 มก./ล.

70% คือ ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นสารช่วยสร้างตะกอน 30 มก./ล. และสารส้ม 70 มก./ล.

ตารางที่ 4.15 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มร่วมกับกากของเสียอุตสาหกรรม ร้อยละ 30,50 และ 70 ของปริมาณที่เหมาะสมเมื่อความขุ่นเริ่มต้นเป็น 200 NTU

ความขุ่นของน้ำดิบ สังเคราะห์ (NTU)	ปริมาณสารส้ม (มก./ล.)	pH	ชนิดของสารช่วยสร้างตะกอน	%ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น		
				30%	50%	70%
200	50	6	Fly Ash	95.0	93.25	92.5
			Sludge	94.25	92.5	91.5
			Lutoid	89.0	86.5	85.5
			Adhesive latex waste	94.5	93.0	92.0
		7	Fly Ash	95.5	96.0	94.75
			Sludge	92.25	95.0	94.0
			Lutoid	90.5	92.5	91.5
			Adhesive latex waste	94.5	95.5	94.5
		8	Fly Ash	90.0	90.25	89.75
			Sludge	89.0	88.0	86.0
			Lutoid	87.0	86.0	89.0
			Adhesive latex waste	89.5	89.0	85.75

หมายเหตุ : Fly Ash หมายถึง เถ้าลอย

Sludge หมายถึง กากตะกอนจากระบบทำน้ำประปา

Lutoid หมายถึง เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้น

Adhesive latex waste หมายถึง กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง

ส่วนที่แรเงาแสดงประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงที่สุดหลังการตกตะกอน

30% คือ ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นสารช่วยสร้างตะกอน 70 มก./ล. และสารส้ม 30 มก./ล.

50% คือ ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นสารช่วยสร้างตะกอน 50 มก./ล. และสารส้ม 50 มก./ล.

70% คือ ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นสารช่วยสร้างตะกอน 30 มก./ล. และสารส้ม 70 มก./ล.

เมื่อพิจารณาความสามารถในการเป็นสารช่วยสร้างตะกอนแล้วนั้น กากของเสียอุตสาหกรรมดังกล่าวได้เตรียมโดยการเผา (Activated) และด้วยองค์ประกอบปริมาณธาตุ พบว่ามีปริมาณซิลิกา (Si) อยู่จึงอาจกล่าวได้ว่ากากของเสียอุตสาหกรรมดังกล่าวเป็นสารช่วยสร้างตะกอนกับสารสัมพันธ์ที่เรียกว่า แอ็กทิเวตเต็ดซิลิกา(Activated Silica) นั่นเอง จากปริมาณซิลิกาในกากของเสียอุตสาหกรรมมีค่าแตกต่างกันดังนี้

-เถ้าลอยมี  $\text{SiO}_2$  42.17% by wt

-กากตะกอนจากระบบทำน้ำประปามี  $\text{SiO}_2$  54.50% by wt

-กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง มี  $\text{SiO}_2$  44.32 % by wt

ส่วนเศษยางพาราของโรงงานน้ำยางชั้นนั้นปริมาณ  $\text{SiO}_2$  น้อยมากจึงเป็นแอ็กทิเวตเต็ดซิลิกา (Activated Silica) ที่ไม่ดี

นอกจากนี้กากของเสียอุตสาหกรรมที่นำมาใช้เป็นสารช่วยสร้างตะกอนกับสารสัมพันธ์นี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นแตกต่างกันจากค่าความขุ่นหลังตกตะกอน พบว่า ลำดับในการกำจัดความขุ่นของกากของเสียอุตสาหกรรมเป็นดังนี้ เถ้าลอย>กากตะกอนจากระบบประปา,กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง >เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น โดยประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเป็นดังนี้ คือ 98%, 97.2%,97% และ 86% ตามลำดับ และปริมาณที่เหมาะสมของสารช่วยสร้างตะกอนจากกากของเสียอุตสาหกรรม คือ 50% ซึ่งหมายถึง ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นสารช่วยสร้างตะกอน 50 มก./ล. และสารสัมพันธ์ 50 มก./ล.เนื่องจากถ้าเป็น 30% ก็จะใช้ปริมาณสารสัมพันธ์มากขึ้นแม้ประสิทธิภาพในการกำจัดจะเพิ่มขึ้นก็ตาม ส่วนที่ 70%นั้นจะมีแนวโน้มของประสิทธิภาพในการกำจัดลดลง สำหรับความสามารถในการเป็นสารช่วยสร้างตะกอนนั้น เถ้าลอยกับกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาใกล้เคียงกัน แต่เถ้าลอยจะมีขนาดของฟลอคใหญ่และมีเสถียรภาพมากกว่า เนื่องจากค่าซีต้าโพแทนเซียลต่ำคือ -30 จึงติดกับอนุภาคของสารสัมพันธ์ซึ่งเป็นบวกได้ดีกว่ากากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา ซึ่งมีค่าซีต้าโพแทนเซียล -20.5 นั่นเอง



#### 4.6 การประเมินค่าใช้จ่ายในการจัดทำกากของเสียอุตสาหกรรมเป็นโคแอกกูแลนต์เทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว

การจัดทำโคแอกกูแลนต์และสารช่วยสร้างตะกอนกับสารส้มจากกากของเสียอุตสาหกรรมนั้น ต้องมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการจัดทำสารโคแอกกูแลนต์และสารช่วยสร้างตะกอนจากกากของเสียอุตสาหกรรมเทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว

กากของเสียอุตสาหกรรมที่นำมาทำเป็นโคแอกกูแลนต์ได้มาจากส่วนที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมและระบบบำบัดน้ำเสีย ถ้ำลอยเป็นกากของเสียที่นำมาใช้เป็นโคแอกกูแลนต์และสารช่วยสร้างตะกอนกับสารส้มโดยไม่ผ่านการเผา จึงไม่มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ามาเกี่ยวข้อง ส่วนกากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง ,กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา และเศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน โดยการเผาที่ 400 °C เป็นเวลา 30 นาที และอบที่ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสำหรับการเตรียมกากของเสียอุตสาหกรรมดังกล่าว จะมาจาก

- ค่าพลังงานในการเผา : การเผาใช้เตาเผาเยื่อ Fernance รุ่น 3-1750 ซึ่งมีกำลังไฟฟ้าของเตาเผาเป็น 3,100 วัตต์ หรือ 3.1 กิโลวัตต์ ( จากตารางค่าไฟฟ้าประเภทที่ 6 : ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร ในภาคผนวก ฉ) อัตราค่าไฟฟ้าคิดเป็น 1.357 บาท / ชั่วโมง เผาเป็นเวลา 30 นาที คิดเป็น 0.6785 บาท
- ค่าพลังงานในการอบ : การอบใช้เตาอบที่มีกำลังไฟฟ้า 2,800 วัตต์ คิดเป็น 2.8 กิโลวัตต์  
(จากตารางค่าไฟฟ้าประเภทที่ 6 : ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร ในภาคผนวก ฉ) อบที่ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อัตราค่าไฟฟ้าคิดเป็น 1.357 บาท/ ชั่วโมง

ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่ใช้ในการเตรียมเป็น 200 กรัม ดังนั้น อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเตรียมกากของเสียอุตสาหกรรม คิดเป็น

พลังงานที่ใช้ในการเผา	0.6785 บาท /การเผา 1 ครั้ง 200 กรัม
พลังงานที่ใช้ในการอบ	1.3570 บาท /การเผา 1 ครั้ง 200 กรัม
รวมเป็นค่าใช้จ่ายทั้งหมด	2.0485 บาท/ การเผา 1 ครั้ง 200 กรัม

การเผาหนึ่งครั้งในเตาเผาและเตาอบสามารถเตรียมได้ถึง 800 กรัม (จำนวนภาชนะบรรจุที่ใช้ในการเผา 4 ใบ) ดังนั้น การเตรียมโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง , กากตะกอนจากระบบทำน้ำประปา และเศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้น จะมีค่าใช้จ่ายในการเตรียมเท่ากับ  $(2.0485/4) \times 5 = 2.5606$  บาท/กิโลกรัม ~ 2.5 บาท/กิโลกรัม สำหรับ ส่วนเถ้าลอยไม่มีค่าใช้จ่ายในการเตรียม สารส้มจะคิดในราคา 6 บาท/กิโลกรัม ทั้งนี้ไม่คิดค่าแรงในการจัดทำสารโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียอุตสาหกรรม ทั้งนี้ เถ้าลอยจึงเหมาะในการนำไปจัดทำเป็นสารตกตะกอนรวมกับสารส้ม เนื่องจากราคาถูก เพราะไม่มีค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมและเป็นการนำของเสียมาใช้ประโยชน์ ส่วนกากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง, กากตะกอนจากระบบทำน้ำประปา และเศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้น ยังมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว แต่ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพด้วย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการใช้กากของเสียอุตสาหกรรมเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอ็ด มีผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1) กากของเสียอุตสาหกรรม (เถ้าลอย, กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง, กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา และเศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้น) เป็นโพลิเมอร์ประจุลบ เนื่องจากองค์ประกอบของธาตุในกากของเสียอุตสาหกรรมดังกล่าวเป็นซิลิกา (Si) ซึ่งแสดงอำนาจเป็นลบ จึงเหมาะที่จะนำไปเป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ดร่วมกับสารส้ม เพื่อเพิ่มเป้าสัมผัสให้สารส้มสามารถจับกับอนุภาคคอลลอยด์ได้ดีขึ้น

2) ในการทดลองใช้กากของเสียอุตสาหกรรมเป็นโคแอกกูแลนต์พบว่า สามารถลดความขุ่นได้ดีในช่วงความขุ่น 100-200 NTU และเมื่อความขุ่นเป็น 300 NTU ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นจะลดลง ที่พีเอช 6-8 แต่ยังไม่สามารถลดความขุ่นได้คุณภาพที่ดีพอ และค่าความขุ่นตกค้างอยู่ในช่วง 20-100 NTU (ยกเว้นที่ความขุ่น 300 NTU) สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมีค่าประมาณร้อยละ 30-85 ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของกากของเสียอุตสาหกรรมเป็นดังนี้ เถ้าลอยมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเป็นร้อยละ 76 ที่ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU, กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง (TOA) มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเป็นร้อยละ 80 ที่ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU ,กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเป็นร้อยละ 80 ที่ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU และเศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้นเป็นร้อยละ 72 มีดังนั้นกากของเสียอุตสาหกรรมจึงไม่เหมาะที่จะนำมาทำเป็นโคแอกกูแลนต์ตามลำพัง

3) ในการทดลองใช้กากของเสียอุตสาหกรรมเป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ดร่วมกับสารส้ม พบว่าสามารถลดปริมาณการใช้สารส้มลงได้ 50 เปอร์เซ็นต์ และฟลอคมีขนาดใหญ่ ตกตะกอนได้ง่ายและรวดเร็ว รวมทั้งค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนที่ได้จะมีค่าต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว คือ เท่ากับ 1.0-8.5 NTU ซึ่งหมายความว่าสามารถทำให้น้ำขุ่นหลังตกตะกอนมีค่าความขุ่นลดลงน้อยกว่า 10 NTU รวมทั้งประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นยังสูงถึงร้อยละ 82-99 โดยเถ้าลอยมีประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ดสูงสุด รองลงมา คือ กากของเสีย

จากอุตสาหกรรมทำกาวยาง และกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา มีค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเป็น 98.5, 97.5 และ 96.5 ตามลำดับ ส่วนเศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นนั้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นไม่ดี และไม่เหมาะนำมาเป็นสารตกตะกอนในน้ำ

4) กากของเสียอุตสาหกรรมแต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการกำจัดความขุ่นมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นแตกต่างกัน พบว่า ถ้ำลอย, กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นดี เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของธาตุ  $Al_2O_3$  และ  $SiO_2$  ส่วนกากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง ซึ่งมีโพลีเมอร์ประจุลบ (Anionic Polymer) เป็นองค์ประกอบอยู่ รวมทั้งมีปูนขาว ซึ่งเป็นสารช่วยในการปรับสภาพที่เหมาะสมในการตกตะกอน ส่วนกากตะกอนจากระบบประปาและเศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นนั้นยังมีประสิทธิภาพไม่ดีพอและไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการกำจัดความขุ่น โดยเฉพาะเศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นที่มีโอกาสทำให้น้ำมีความขุ่นมากขึ้น และเสถียรภาพของคอลลอยด์หลังการตกตะกอนยังสูงขึ้นอีกด้วย

5) การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการจัดทำสารโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียอุตสาหกรรมเทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว พบว่า สารส้มซึ่งเป็นสารสร้างตะกอนในน้ำนั้น จะคิดในราคา 6 บาทต่อกิโลกรัม ส่วนถ้ำลอยไม่มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการจัดทำจึงควรพิจารณานำมาจัดทำเป็นโคแอกกูแลนต์นำมาจัดทำเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอ็ด นอกจากนี้จากการคำนวณพลังงานในการเตรียมกากของเสียอุตสาหกรรม กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยาง, กากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา และเศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นนั้น มีค่าใช้จ่ายคิดเป็น 2.5 บาทต่อกิโลกรัม นับว่ามีราคาถูกกว่าการใช้สารส้มอย่างเดียว และเป็นทางเลือกในการจัดการของเสียได้อีกทาง รวมทั้งนำของเสียไปใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงความสามารถในการนำกากของเสียอุตสาหกรรมมาใช้ในการกำจัดความขุ่น โดยนำกากของเสียอุตสาหกรรมมาทดสอบการเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอ็ด ,ความเป็นกรด-ด่าง (pH) รวมไปถึงชนิดของโคแอกกูแลนต์ จะเห็นได้ว่าการใช้กากของเสียอุตสาหกรรมเป็นโคแอกกูแลนต์นั้นจะให้ผลดีที่ความขุ่นค่อนข้างสูง (ไม่เกิน

300NTU) ดังนั้นจึงควรนำไปใช้งานกับน้ำที่มีความขุ่นค่อนข้างสูง และถ้าจะนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียอย่างมีประสิทธิภาพควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในบางกรณี ได้แก่

- 1) ศึกษาถึงการใช้โคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดกับน้ำเสียจริงที่มีความขุ่นสูง โดยอาจใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม
- 2) เปรียบเทียบการเติมโคแอกกูแลนต์เอดจากกากของเสียอุตสาหกรรมก่อนและหลังการเติมสารส้มในขั้นตอนการกวนเร็ว เนื่องจากการเติมโคแอกกูแลนต์เอดก่อนหรือหลังการกวนเร็วมีผลต่อการรวมตัวกันของโคแอกกูแลนต์เอดกับสารส้ม
- 3) ศึกษาถึงวิธีการเตรียมกากของเสียอุตสาหกรรมด้วยวิธีอื่นๆ เช่น การใช้ตัวทำละลายต่างกัน, อุณหภูมิต่างกัน เป็นต้น เพื่อเลือกวิธีการเตรียมกากของเสียอุตสาหกรรมที่เหมาะสม และประหยัดค่าใช้จ่าย รวมไปถึงความสะดวกในการใช้งานต่อไป
- 4) ศึกษาถึงปริมาณสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และปริมาณสารอื่นๆ ที่เหลือตกค้างในน้ำ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ทั้งในแง่ของผลกระทบทางตรงและทางอ้อมเมื่อนำไปใช้งานในระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อนำกากของเสียอุตสาหกรรมดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กรกฎ วิจิตรพงศ์. 2531. การใช้ถ้ำลอยในการปรับปรุงความสามารถทำงานได้ของคนกรีตสด. วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต (วิศวกรรมศาสตร์) สาขาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิราพร สมนาวรรณ. 2533. การคัดเลือกวัสดุธรรมชาติ เป็นสารโคแอกกูแลนต์. วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต(วิศวกรรมศาสตร์) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐนารด ประสมศรี.2536. โคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดจากเมล็ดมะขาม. วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต(วิศวกรรมศาสตร์) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ฐิตินารด ศรีสุวรรณ.2543. การเตรียมยางคอมพาวด์จากยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยไวโนลเอซิเตด. วิทยาลัยวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์) สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เบญญา ไสร้จ่าภินันท์. 2536. โคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดจากเมล็ดมะขาม. วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต.(วิศวกรรมศาสตร์) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประชุม ชำนาญ .2533. การนำกลับอะลูมิเนียมจากกากตะกอนอะลูมิเนียม. วิทยาลัยวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต .(วิทยาศาสตร์) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เพ็ญประกาย สิบศิริ. 2539. การกำจัดสีน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมโดยวิธีตกตะกอนด้วยเบนโทไนต์. วิทยาลัยวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- มันสิน ตันตุลเวศม์.2538. วิศวกรรมประปา เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ ก.วิวรรธการณ.
- แม่น อมรสิทธิ์และอมร เพชรสม. 2535. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ.
- รุจิรัตน์ ภากรศิลป์. 2542. การบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมด้วยวิธีทางเคมีและการประยุกต์ใช้ในการเพาะเห็ด. วิทยาลัยวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ( เทคโนโลยีทางชีวภาพ) สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ . บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิศว จักรไพศาล. 2536. ผลกระทบของซีเมนต์ลอยในปฏิกิริยาของโซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อการอัดคอนกรีต.

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมศาสตร์) สาขาวิศวกรรมโยธา. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุชาติ สถิตยัมนัน. 2526. เทคนิคการไตเตรตคอลลอยด์ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมศาสตร์) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุพีระ สัตดาชยากร. 2532. การศึกษาการใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวช่วยตกตะกอนร่วมกับสารส้มในการลดความขุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขานามัยสิ่งแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

ศิริรัตน์ คงมนต์. 2532. การศึกษาการลดปริมาณอนุมูลอิสระในดินขาวเป็นตัวช่วยในการตกตะกอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อัจริ ศิริวงศ์. 2538. ความคงตัวและการเกาะกลุ่มกันของซิลิกาที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์) สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อัศวิน กิตติชัชวาล. 2536. โคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดจากโคโตแซน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมศาสตร์) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ภาษาอังกฤษ

- Alumimum in Drinking water.1992. Asian Water & Sewage.March(34).
- American Society for Testing and Materials.1993. Annaul Book of ASTM Standards Water and Environment Technology.11.02 :750-753.
- American Society for Testing and Material.1993.Annual Book of ASTM standards water and Environment Technology.11.02:750-758.
- Cohen JM.,Rourke GA,wood watd RL.1958.Natural and Synthetic Polyelectrolyles as coagulant Aid.J.AWWA.50:463-478
- Cox,C.R.1964.Operation and control of Water treatment Process.Who-Monograph.
- Dogan O,Simsek O,Ertugrul M,Kobyas M.2001.X-ray Fluorescence spectrometry analysis of Trace element in flyash Samples of Yenikoy Thermal Power Plants. INSTRUMENTATION SCIENCE TECHNOLOGY.29(5)433-439.
- Kawamura S.1976.Consideration on Improving Flocculation.J.AWWA.14:328-336.
- Lagnese,K.M.,and Dzombak,D.A.1993.Use of Sedimentation Ponds for Removal of Metals from Ash Transport water,.Envi prog.4:246-254.
- Pandit RK.1965.Starch as a coagulant Aid in Water Treatment.Env.Hlth.7:39-43.
- Vostrcil J.,Juracka.1976.F.commercial Organic Flocculants. Noyes Data corporation. United states.1-10.
- Weber”,WJ.Jr. 1972 .Physicochemical Process for water Quality Control . 1<sup>st</sup> ed. Wiley-Inter science.
- [Http:// www.Authur D.Little.Inc\(10/Noc/2002\)](http://www.Authur D.Little.Inc(10/Noc/2002))
- [Http:// www.Zeta-meter.com/5min.pdf.\(10/Nov/2002\)](http://www.Zeta-meter.com/5min.pdf.(10/Nov/2002))
- [Http:// smico.com/pdf/mat\\_density\\_grac\\_angle.pdf\(12/Dec/2002\)](http://smico.com/pdf/mat_density_grac_angle.pdf(12/Dec/2002))



## ภาคผนวก

ผนวก ก คือ Scanning Electron Microscope

ผนวก ข คือ ขั้นตอนการเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์ ปริมาณโลหะหนักในกากของเสียอุตสาหกรรมตาม ASTM 3050 ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน สเปกโทรสโกปี ( Atomic Absorption Scopy,AAS)

ผนวก ค คือ X-ray Fluorescence Spectroscopy (ARFS)

ผนวก ง คือ Zeta Potential Report

ผนวก จ คือ ตารางแสดงความชุ่มหลังตกตะกอน

ผนวก ฉ คือ แสดงค่าไฟฟ้า : ส่วนราชการและองค์กรไม่แสวงหา กำไร

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

### Scanning Electron Microscope (SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope หรือ SEM) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาลักษณะและวิเคราะห์รายละเอียดโครงสร้างขนาดเล็กของวัตถุ เนื่องจากมีกำลังขยายสูงกว่ากล้อง optical Microscope ทั่วไป ในปัจจุบันเครื่อง SEM ได้ถูกพัฒนาให้มีกำลังขยายสูงขึ้น เพื่อขยายขอบเขตความสามารถในการทำงานจนในปัจจุบันนี้สามารถศึกษาโครงสร้างที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรได้ นอกจากนี้ได้นำเครื่อง Wavelength Dispersive Spectrometer (WDS) หรือ เครื่อง Energy Dispersive Spectrometry (EDS) มาประกอบเข้ากับเครื่อง SEM เพื่อให้สามารถทำการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของสารตัวอย่างได้จากบริเวณที่ต้องการศึกษาจริง โดยการวิเคราะห์สามารถทำได้ทั้งแบบ qualitative และ quantitative

#### หลักการทำงานของเครื่อง SEM

เครื่อง SEM เมื่อพิจารณาตามหลักการทำงานของเครื่องสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบ คือ

1. ระบบการผลิตลำอิเล็กตรอน
2. ระบบการจับและถ่ายทอดสัญญาณ
3. ระบบสร้างภาพ

ในระบบการสร้างลำอิเล็กตรอนจะถูกสร้างขึ้นในส่วนประกอบของเครื่อง ที่เรียกว่า ปืนอิเล็กตรอน (Electron gun) ในปืนอิเล็กตรอนจะประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆมีไส้หลอด (filament) ส่วนมากใช้โลหะทังสเตนต่ออยู่กับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ทำหน้าที่เป็นขั้วคาโทด Wehnelt cap ทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด เมื่อให้ความต่างศักย์เข้าไปสูงเกินกว่าค่า work function ของโลหะทังสเตนอิเล็กตรอนจากไส้หลอดจะหลุดออกมาแล้ววิ่งไปยังขั้วแอโนด โดยวิ่งผ่าน Wehnelt cap หรือ Grip cap ที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมให้อิเล็กตรอนวิ่งออกจากขั้วคาโทดเป็นลำผ่านไปยังขั้วแอโนด จากนั้นอิเล็กตรอนจะถูก Condense ให้เป็นลำโดยอิเล็กตรอนเลนส์ ซึ่งจะทำหน้าที่เป็น condenser lens เพื่อบังคับให้อิเล็กตรอนวิ่งไปยังชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์ทดสอบ

เมื่ออิเล็กตรอนวิ่งชนวัตถุที่นำมาทดสอบจะเกิดปฏิกิริยาต่างๆขึ้น โดยพลังงานส่วนหนึ่งของอิเล็กตรอนจะสูญเสียไปเป็นพลังงานความร้อน และที่เหลือจะทำให้เกิดสัญญาณต่างๆ ตามความลึกของอิเล็กตรอนที่กระทบกับวัสดุ

## การเตรียมสารตัวอย่าง

ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสารและข้อมูลที่ต้องการ การเตรียมที่สำคัญได้แก่

- สารตัวอย่างผง : สามารถกระจายผลบน stud โดยตรงหรืออัดผงเป็นก้อน ก่อนก็ได้
- พื้นผิวที่ขัดแล้ว : ทำได้โดยขัดด้วยกระดาษ SiC แล้วขัดต่อด้วยผงขัดที่ละเอียด เช่น diamond paste แต่รายละเอียดโครงสร้างขนาดเล็กจะสามารถเห็นได้ ต่อเมื่อนำพื้นผิวที่ขัดแล้วไปผ่านกระบวนการ etching ด้วยความร้อน หรือเคมี

พื้นผิวที่หัก (Fracture surface) ปกติเตรียมจากการทดสอบค่าทางกล

- ข้อสังเกต : ดังที่กล่าวแล้วเมื่ออิเล็กตรอนชนสารตัวอย่างจะเกิด Ses และ BSEs ซึ่งจะมีประจุบางส่วนเหลืออยู่บนสารตัวอย่างและไหลลงสู่สายดินถ้าสารตัวอย่างนั้นนำไฟฟ้า ถ้าสารตัวอย่างนั้นไม่นำไฟฟ้าจะเกิดศักย์ไฟฟ้าบนสารตัวอย่าง ซึ่งอาจสูงพอจนเป็นเสมือนกระจกอิเล็กตรอน (electron mirror) สะท้อนลำอิเล็กตรอนออกจากสารตัวอย่างไปสู่ผนังทางเดินอิเล็กตรอน

ดังนั้นเพื่อป้องกันกระบวนการนี้ จึงควรเคลือบสารตัวอย่างที่ไม่นำไฟฟ้าด้วยทองคำไฟต์หรือแพลทินัม-พัลเลเดียม ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง SEM ขึ้นอยู่กับชนิดของสารตัวอย่าง

สารตัวอย่างผง

- รูปร่าง จะได้รูปร่างต่างๆของอนุภาค เช่น รูปร่างทรงกลม วงรี เกล็ด หรืออื่นๆ
- ขนาด จะได้ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาค

พื้นผิวที่ขัดแล้ว

- ขนาดรูเปิด รูเปิดและรูปร่างซึ่งจะแสดงถึงระดับความหนาแน่นของสารตัวอย่าง
- ขนาดเกรน ขนาดเกรนและการกระจายจะแสดงถึงกระบวนการ sintering และบทบาทของตัวเติม ( additives )
- การกระจายเฟส การแยกและตำแหน่งของเฟสที่สอง (secondary phase) จะแสดงถึงบทบาทและการเข้ากันได้

### พื้นผิวที่หัก

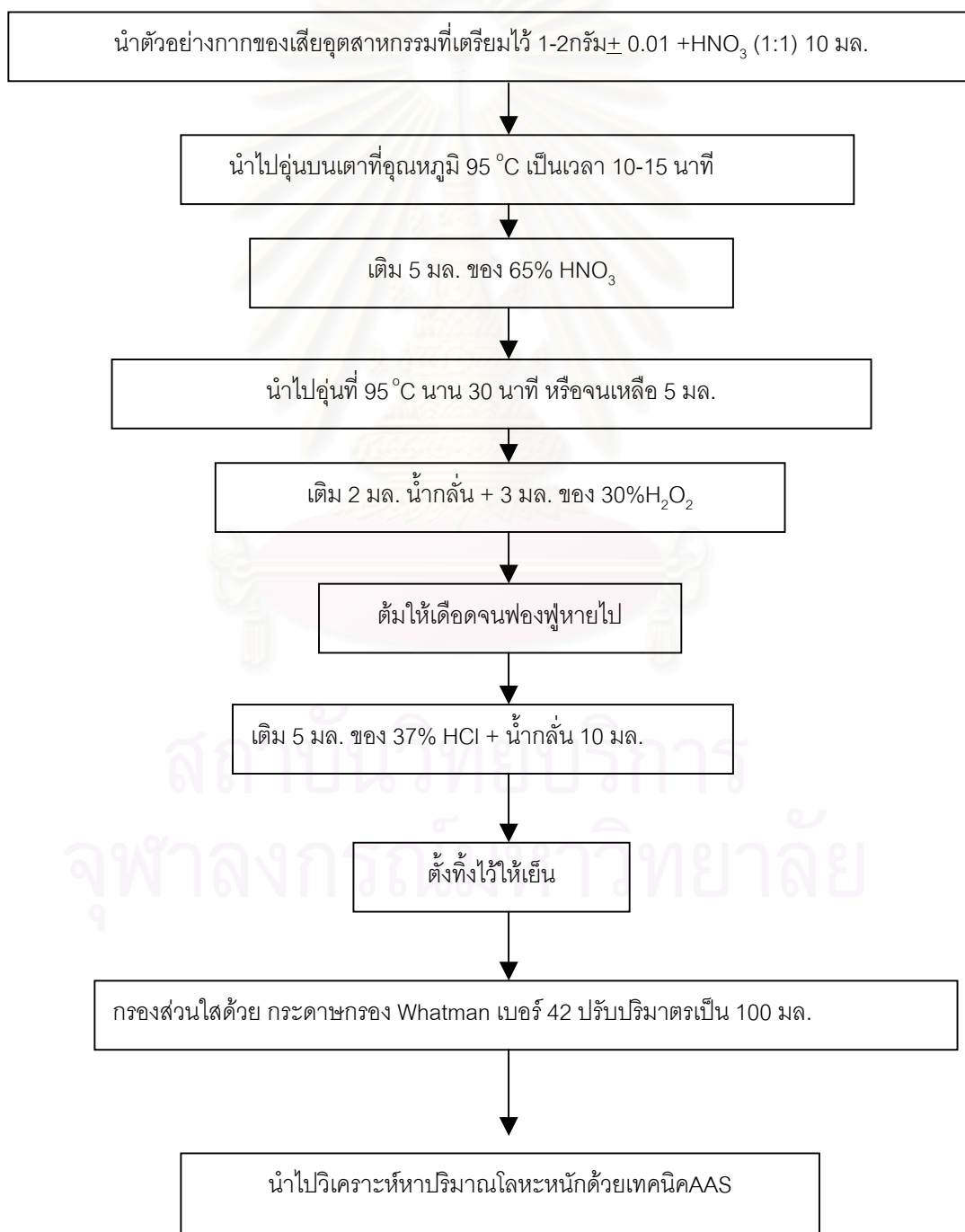
จะได้ข้อมูลรอยแตก ซึ่งอาจเป็นรอยแตกระหว่างแกน (intergrain) หรือรอยแตกผ่านเกรน (intergrain) ซึ่งรอยแตกเหล่านี้มักเกิดจากตำแหน่งที่อ่อนที่สุดในสารตัวอย่าง เช่น ตำแหน่งรูเปิดบริเวณเฟตที่สอง หรือบริเวณที่มีรอยแตกเล็กๆ (microcracks)



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักใน  
กากของเสียอุตสาหกรรมตาม ASTM 3050  
ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี  
(Atomic Absorption Spectroscopy, AAS)



## ภาคผนวก ค

### X-ray Fluorescence Spectroscopy (ARFS)

เมื่อปี ค.ศ. 1895 W.C. Rontgen ได้ค้นพบรังสีเอกซ์ ( X-rays) ซึ่งเป็นสเปกตรัมของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงหนึ่ง มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.1-100 อังสตรอม ( $\text{\AA}$ ) หรือ 0.01-10 nm แต่ที่ใช้ในทางเคมีวิเคราะห์จะอยู่ในช่วง 0.07-0.2 nm รังสีเอกซ์จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์หลายๆ อย่าง

การเกิดอันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับสสารนั้นก่อให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ เช่น เกิดการเปล่งแสงบางชนิด (Emission) การดูดกลืน (Absorption) การกระเจิง (Scattering) หรือเกิดการเลี้ยวเบน (Diffraction) เป็นต้น ปรากฏการณ์เหล่านี้เป็นลักษณะเฉพาะ (Characteristic) ของแต่ละสารที่เราสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีได้ดังนี้ คือ

1. ใช้วิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุต่างๆ ในสาร (Elemental Analysis) ทั้งในเชิงคุณภาพ (Qualitative) และปริมาณ (Quantitative)
2. ใช้ศึกษาหาโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Structure) ซึ่งสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับ
  - การเกิดพันธะเคมี (Chemical Bonding)
3. ใช้ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึก (Crystal Structure) หรือโมเลกุลของสารด้วยการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction)

#### หลักการทำงาน

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRFS นี้มีอยู่ 2 ระบบ คือ

- 1) ระบบที่วัดเป็นความยาวคลื่น (Wavelength Dispersion System)
- 2) ระบบที่วัดเป็นพลังงาน (KeV) (Energy Dispersion System)

#### การเตรียมสารตัวอย่าง (Sample Preparation)

เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทาง XRFS ใช้วิธีเปรียบเทียบสารตัวอย่างกับสารมาตรฐาน ดังนั้น สภาวะต่างๆ ที่ใช้เปรียบเทียบจะต้องเหมือนกัน เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำ เช่น ช่วงของความเข้มข้น ขนาดของอนุภาคความหนาแน่น องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และ Mass Absorption Coefficient เป็นต้น อย่างไรก็ตามวิธีที่ใช้

ในเตรียมสารตัวอย่างนั้นควรจะต้องทำได้รวดเร็ว ราคาถูก ไม่ทำให้สารตัวอย่างมีการปนเปื้อน

หลักการทั่วไปในการเตรียมสารตัวอย่างจะแบ่งออกได้เป็น 3 พวกใหญ่ๆ คือ

- 1) สารตัวอย่างที่สามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยตรง หรืออาจใช้วิธีเตรียมง่ายๆ เช่น นำไปอัดแผ่น หรือขูดผิวได้เลย ได้แก่ สารตัวอย่างที่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน อาจเป็นผง ก้อนโลหะ หรือของเหลว
- 2) สารตัวอย่างที่ต้องมีการเตรียมพอสมควร เช่น สารตัวอย่างที่มีเนื้อไม่เข้ากัน ต้องทำให้เจือจางลง เพื่อลดผลของเมทริกซ์
- 3) สารตัวอย่างที่ต้องมีการเตรียมด้วยวิธีพิเศษ เช่น สารตัวอย่างมีปริมาณจำกัด ต้องการเพิ่มความเข้มข้น ทำให้บริสุทธิ์ก่อนด้วยการแยกเสียก่อน หรือสารตัวอย่างที่เป็นสารกัมมันตรังสี เป็นต้น

ลักษณะและองค์ประกอบต่างๆ ของเครื่อง XRFs

เครื่อง XRFs นั้นโดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่สำคัญ 3 ส่วน ดังแสดงในรูป ค-1 คือ

- 1) X-ray generator ซึ่งประกอบด้วย

X-ray tube

X-ray power controller

High Voltage Transformer

X-ray tube cooling unit

Filter

- 2) Spectrometer ประกอบด้วย

Sample Compartment

Collimators

Analysis Crystals

Goniometer

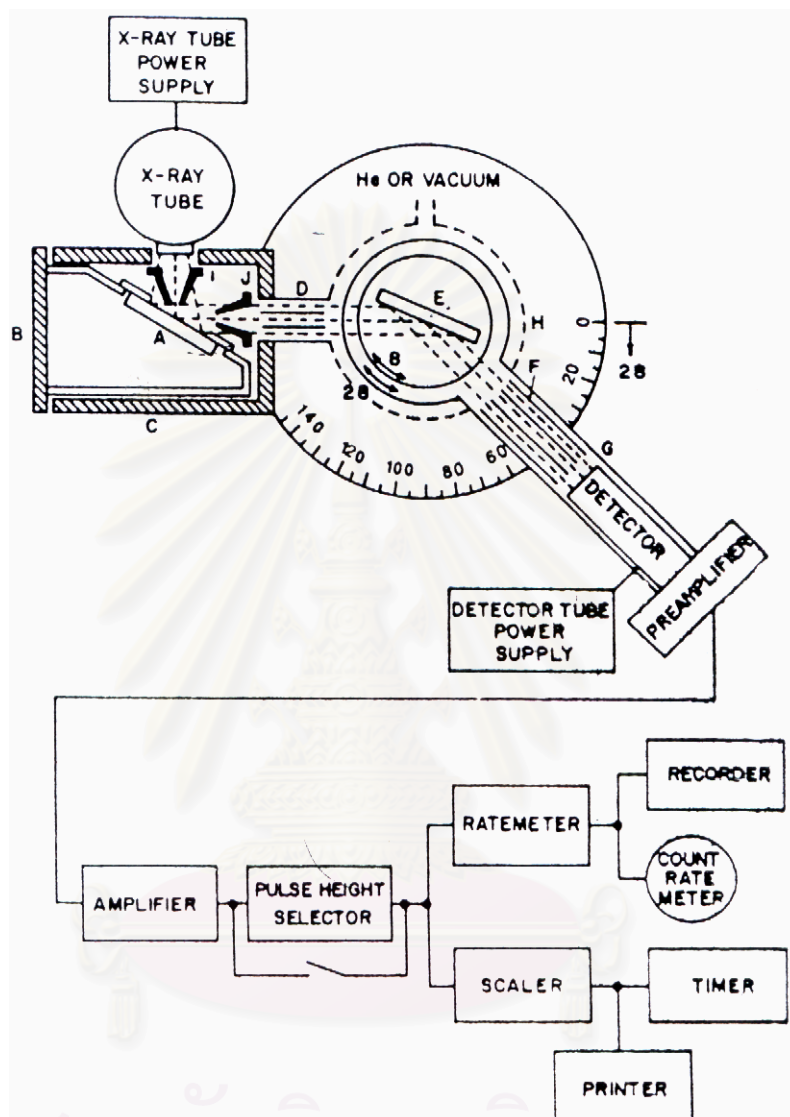
Detectors

- 3) Data Systems

Computer

Printer

Recorder




รูปที่ ค-1 แสดงแผนภาพองค์ประกอบต่างๆ ของเครื่อง XRFS

(A) =Sample (B และ C) = Sample Compartment

(D, F, I และ J) = Collimators (E) = Analysing Crystal (G) =Detector

(H) = Goniometer





ภาคผนวก ง  
Zeta Potential Report

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## Zeta Potential Report

laurate

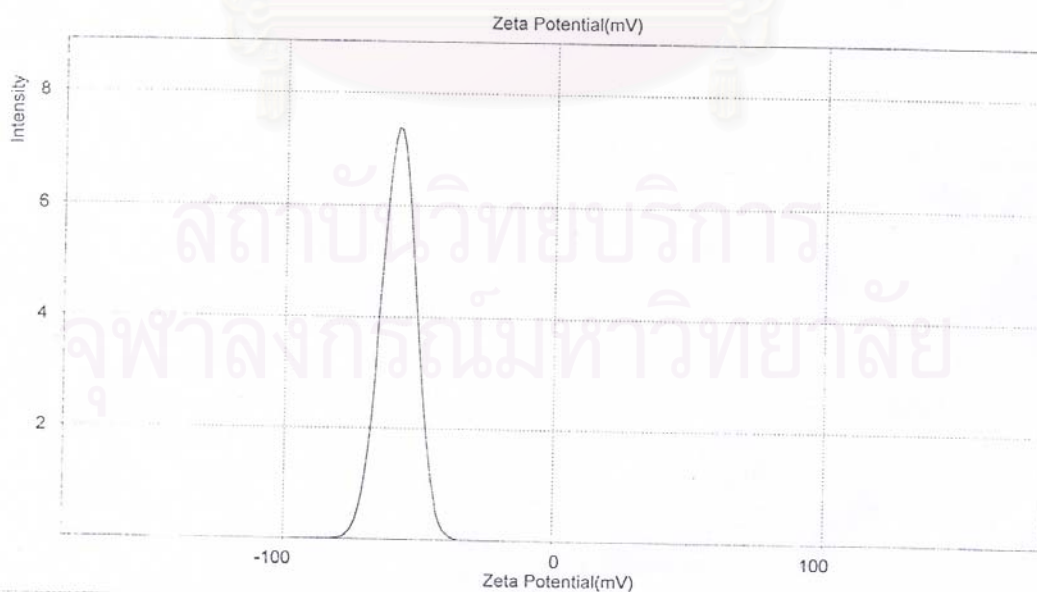
NH4 laurate 2 months

Saad

Sample		System	
Record Number:	data	Instrument Type:	Zetasizer3000
Filename:	Caribation	Temperature (°C):	25.0
File Path :		Count rate (kCps):	1511.5
Dielectric Constant	79.0	Cell Type:	Capillary Flow
pH	9.0	Cell Position (%)	17.00
Viscosity (cP):	0.890	Cell field (V/cm)	29.2
Date (DMY):	14/11/02	Current (mA):	7.6
Time:	12.26.33		

### Result

Zeta Potential (mV):	-57.8	Mobility (umcm/V.s):	-4.540
StDev(mV):	6.4	StDeV (umcm/V.s):	0.499
Conductivity (mS/cm)	2.60	F(ka):	1.50



## Zeta Potential Report

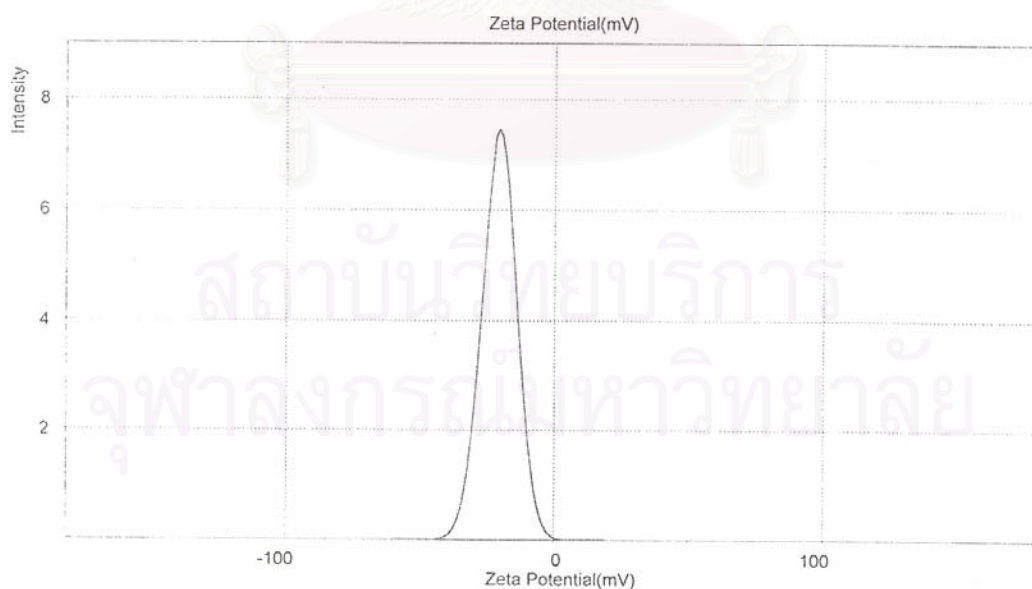
Lutoid

Test1

Sample		System	
Record Number:	data	Instrument Type:	Zetasizer3000
Filename:	Lutoid	Temperature (°C):	25.0
File Path :		Count rate (kCps):	4817.7
Dielectric Constant	79.7	Cell Type:	Capillary Flow
pH	7.82	Cell Position (%)	17.00
Viscosity (cP):	0.890	Cell field (V/cm)	29.2
Date (DMY):	14/11/02	Current (mA):	0.9
Time:	12.26.33		

### Result

Zeta Potential (mV):	-20.5	Mobility (umcm/V.s):	-1.629
StDev(mV):	6.3	StDeV (umcm/V.s):	0.499
Conductivity (mS/cm)	0.32	F(ka):	1.50



## Zeta Potential Report

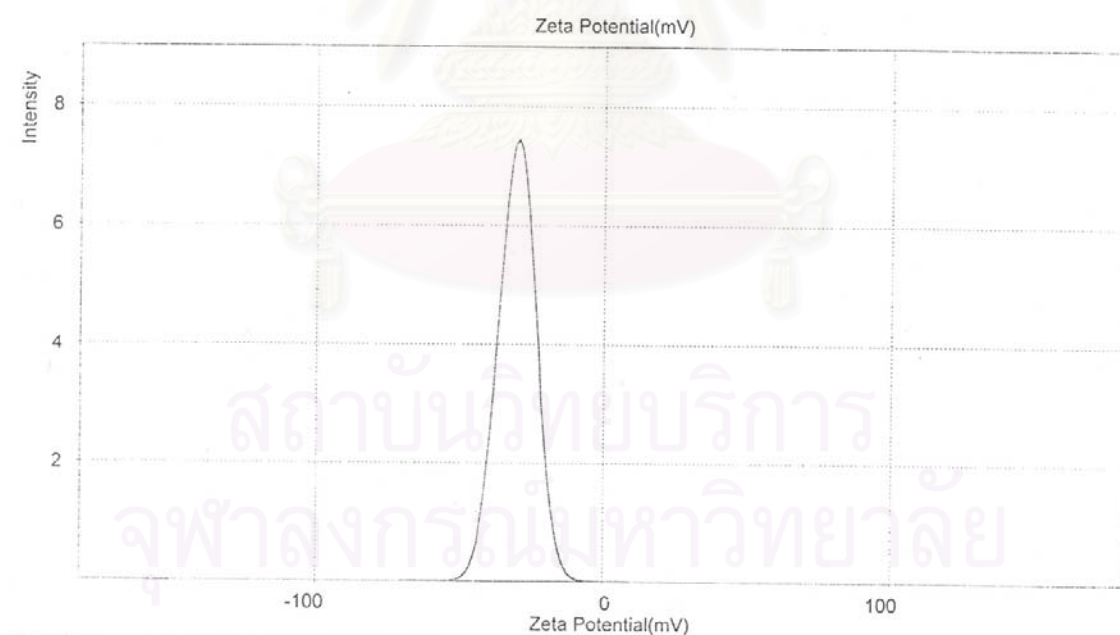
Sample			System
Record Number:	data		Instrument Type: Zetasizer3000
Filename:	Fly ash		Temperature (°C): 25.0
File Path :			Count rate (kCps): 2789.7
Dielectric Constant	79.7		Cell Type: Capillary Flow
pH	8.38		Cell Position (%) 17.00
Viscosity (cP):	0.890		Cell field (V/cm) 29.1
Date (DMY):	14/11/02		Current (mA): 0.6
Time:	16:59:27		

---

### Result

Zeta Potential (mV):	-30.2	Mobility (umcm/V.s):	-2.394
StDev(mV):	6.3	StDeV (umcm/V.s):	0.500
Conductivity (mS/cm)	0.21	F(ka):	1.50

---



## Zeta Potential Report

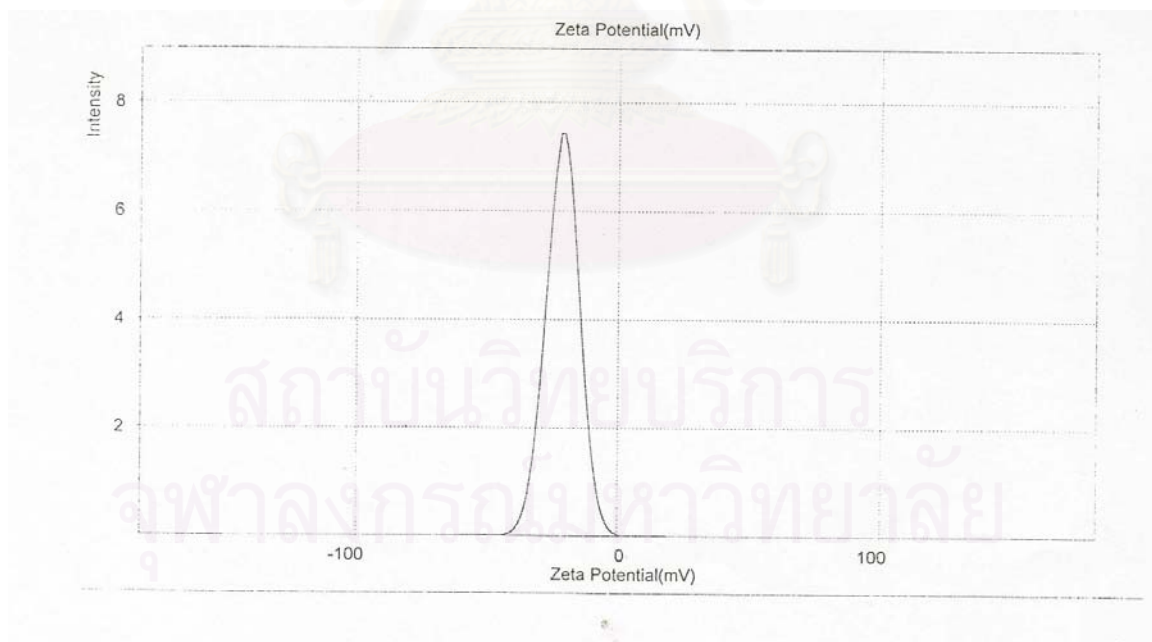
Sample		System	
Record Number:	data	Instrument Type:	Zetasizer3000
Filename:	TOA	Temperature (°C):	25.0
File Path :		Count rate (kCps):	1511.5
Dielectric Constant	79.7	Cell Type:	Capillary Flow
pH	8.03	ell Position (%)	17.00
Viscosity (cP):	0.890	Cell field (V/cm)	29.2
Date (DMY):	14/11/02	Current (mA):	0.6
Time:	16:38:34		

---

### Result

Zeta Potential (mV):	-21.2	Mobility (umcm/V.s):	-1.680
StDev(mV):	6.3	StDeV (umcm/V.s):	0.499
Conductivity (mS/cm)	0.21	F(ka):	1.50

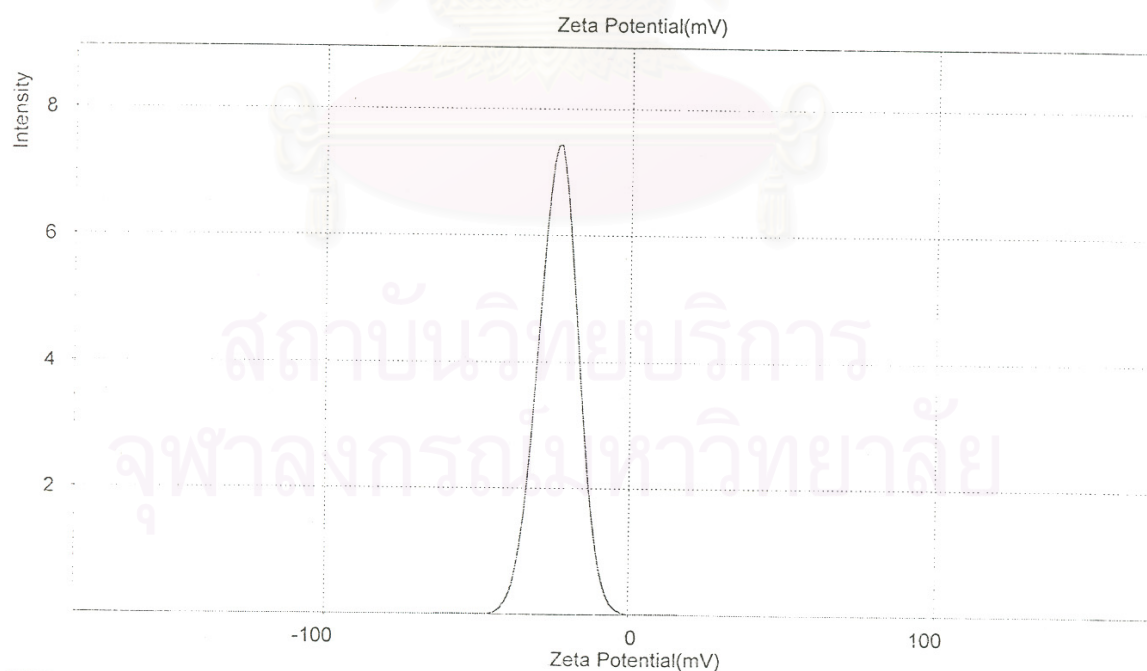
---



## Zeta Potential Report

Sample		System	
Record Number:	data	Instrument Type:	Zetasizer3000
Filename:	Sludge	Temperature (°C):	25.0
File Path :		Count rate (kCps):	1511.5
Dielectric Constant	79.7	Cell Type:	Capillary Flow
pH	9.0	Cell Position (%)	17.00
Viscosity (cP):	0.890	Cell field (V/cm)	29.2
Date (DMY):	14/11/02	Current (mA):	0.5
Time:	16:43:14		

Result			
Zeta Potential (mV):	-23.5	Mobility (umcm/V.s):	-1.864
StDev(mV):	6.4	StDeV (umcm/V.s):	0.499
Conductivity (mS/cm)	0.17	F(ka):	1.50



## ภาคผนวก จ

## ตารางแสดงค่าความขุ่นหลังการตกตะกอน

## 1) ตารางแสดงค่าความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์

ความขุ่นของ น้ำดิบสังเคราะห์ (NTU)	พีเอช	ความขุ่นหลังการตกตะกอน (NTU)				
		ปริมาณโคแอกกูแลนต์ (มก./ล.)				
		50	100	200	300	400
50	5	3.65	7.0	2.0	7.0	5.5
	6	0.8	1.0	0.6	3.5	2.5
	7	2.5	1.3	7.0	1.2	1.3
	8	1.2	1.0	8.0	1.3	9.0
	9	1.5	1.0	8.5	1.5	8.0
100	5	1.5	3.5	5.0	4.0	4.0
	6	2.4	2.0	1.8	1.0	1.3
	7	1.0	1.0	2.0	1.7	1.5
	8	1.5	1.2	2.5	3.0	3.5
	9	1.5	1.5	4.5	4.0	4.5
200	5	5	2.0	5.0	10	15
	6	1.0	1.5	1.0	1.2	8.0
	7	1.0	2.0	1.0	3.0	1.5
	8	3.8	5.0	5.0	1.0	4.2
	9	5.5	4.0	6.0	1.2	2.0
300	5	15	9	4.8	9	15
	6	10	10	2.5	7.5	5.0
	7	8	15	2.0	8.3	6.5
	8	6.5	5.5	3.8	5	8.5
	9	7.0	8.16	4.5	4.5	13

ส่วนที่แรเงาแสดงบริเวณที่มีความขุ่นน้อยที่สุด

## 2) ตารางแสดงค่าความขุ่นเมื่อใช้ถ้ำลอยเป็นโคแอกกูแลนต์

ความขุ่นของ น้ำดิบสังเคราะห์ (NTU)	พีเอช	ความขุ่นหลังการตกตะกอน (NTU)				
		ปริมาณโคแอกกูแลนต์ (มก./ล.)				
		50	100	200	300	400
50	5	34	27	25	22	40
	6	30	30	17	18	30
	7	27	25	28	28	30
	8	25	37	39	35	22
	9	30	40	20	40	20
100	5	61	24	40	27	35
	6	59	33	60	42	32
	7	53	44	20	37	35
	8	37	47	25	35	40
	9	45	45	35	31	30
200	5	85	100	100	90	70
	6	75	85	50	95	120
	7	77	60	125	60	123
	8	85	120	120	30	130
	9	90	130	90	50	80
300	5	150	100	120	100	100
	6	180	110	200	110	148
	7	125	160	110	250	140
	8	170	230	160	210	120
	9	150	250	220	230	250

ส่วนที่แรเงาแสดงบริเวณที่มีความขุ่นน้อยที่สุด



3) ตารางแสดงค่าความขุ่นเมื่อใช้กากของเสียจากอุตสาหกรรมทำกาวยางเป็น  
โคแอกกูแลนต์

ความขุ่นของ น้ำดิบสังเคราะห์ (NTU)	พีเอช	ความขุ่นหลังการตกตะกอน (NTU)				
		ปริมาณโคแอกกูแลนต์ (มก./ล.)				
		50	100	200	300	400
50	5	24	12	22	19	17
	6	24	14	11	17	16
	7	29	15	32	36	20
	8	19.5	32	31	34	22
	9	20.5	35	20	22	35
100	5	50	30	40	20	28
	6	30	29	30	35	28
	7	50	32	30	50	50
	8	56	50	38	54	37
	9	27	45	32	25	25
200	5	65	100	90	95	70
	6	61	90	100	90	110
	7	84	120	60	50	105
	8	55	130	90	30	120
	9	100	85	120	60	100
300	5	140	110	95	120	80
	6	210	130	60	70	100
	7	170	170	150	115	150
	8	220	225	200	130	155
	9	180	250	250	190	200

ส่วนที่แรเงาแสดงบริเวณที่มีความขุ่นน้อยที่สุด

## 4) ตารางแสดงค่าความขุ่นเมื่อใช้กากตะกอนของระบบทำน้ำประปาเป็นโคแอกกูแลนต์

ความขุ่นของ น้ำดิบสังเคราะห์ (NTU)	พีเอช	ความขุ่นหลังการตกตะกอน (NTU)				
		ปริมาณโคแอกกูแลนต์ (มก./ล.)				
		50	100	200	300	400
50	5	35.5	20	29	16	25
	6	35	12	18	25	20
	7	25	25	22	22	30
	8	30	16	36	27.5	30
	9	21.5	40	15	40	18
100	5	49	20	65	45	35
	6	27	30	50	40	40
	7	45	31	55	30	45
	8	55	50	40	55	50
	9	30	40	40	45	40
200	5	120	170	110	85	110
	6	72	100	150	90	100
	7	90	60	85	87	120
	8	75	110	90	20	70
	9	110	50	105	150	40
300	5	130	120	98	120	180
	6	200	170	125	170	210
	7	170	150	100	200	200
	8	250	230	150	200	120
	9	180	220	200	210	140

ส่วนที่แรเงาแสดงบริเวณที่มีความขุ่นน้อยที่สุด

5) ตารางแสดงค่าความขุ่นเมื่อใช้เศษยางพาราของโรงงานผลิตน้ำยางข้นเป็น  
โคแอกกูแลนต์

ความขุ่นของ น้ำดิบสังเคราะห์ (NTU)	พีเอช	ความขุ่นหลังการตกตะกอน (NTU)				
		ปริมาณโคแอกกูแลนต์ (มก./ล.)				
		50	100	200	300	400
50	5	28	20	24	22	45
	6	24.5	13	16	15	17
	7	23.5	26	31	26	17
	8	22	25	32	34	20
	9	21	40	10	23	20
100	5	54	26	33	28	30
	6	51	32	25	29	40
	7	59	27	52	35	30
	8	40	35	50	45	38
	9	22	30	42	31	35
200	5	125	170	120	110	98
	6	70	120	125	120	120
	7	60	122	80	45	100
	8	65	150	150	27	115
	9	80	155	120	120	50
300	5	220	180	100	150	130
	6	200	180	75	125	200
	7	100	200	120	210	110
	8	160	240	190	190	150
	9	180	250	200	200	135

ส่วนที่แรเงาแสดงบริเวณที่มีความขุ่นน้อยที่สุด

## 6) ตารางแสดงค่าความขุ่นเมื่อใช้เศษยางพาราของโรงงานน้ำยางชั้นเป็นโคแอกกูแลนต์

ความขุ่นของ น้ำดิบสังเคราะห์ (NTU)	พีเอช	ความขุ่นหลังการตกตะกอน (NTU)				
		ปริมาณโคแอกกูแลนต์ (มก./ล.)				
		50	100	200	300	400
50	5	28	20	24	22	45
	6	24.5	13	16	15	17
	7	23.5	26	31	26	17
	8	22	25	32	34	20
	9	21	40	10	23	20
100	5	54	26	33	28	30
	6	51	32	25	29	40
	7	59	27	52	35	30
	8	40	35	50	45	38
	9	22	30	42	31	35
200	5	125	170	120	110	98
	6	70	120	125	120	120
	7	60	122	80	45	100
	8	65	150	150	27	115
	9	80	155	120	120	50
300	5	220	180	100	150	130
	6	200	180	75	125	200
	7	100	200	120	210	110
	8	160	240	190	190	150
	9	180	250	200	200	135

ส่วนที่แรเงาแสดงบริเวณที่มีความขุ่นน้อยที่สุด

7) ตารางแสดงประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้เศษยางพาราของโรงงานน้ำยางชั้น เป็นโคแอกกูแลนต์

ความขุ่นของ น้ำดิบสังเคราะห์ (NTU)	พีเอช	ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น(%)				
		ปริมาณโคแอกกูแลนต์ (มก./ล.)				
		50	100	200	300	400
50	5	44	60	52	56	10
	6	51	74	68	70	66
	7	53	48	38	48	66
	8	56	50	36	32	60
	9	58	20	80	54	40
100	5	46	44	35	72	70
	6	60	68	50	71	60
	7	47	73	45	65	70
	8	60	65	60	55	62
	9	78	70	60	59	64
200	5	37.5	15	40	45	51
	6	65	40	37.5	30	40
	7	70	39	60	77.5	50
	8	67.5	25	25	86.5	42.5
	9	56.5	22.5	39.5	40	75
300	5	26.6	40	66.6	50	56.6
	6	33.3	40	75	58.3	33.3
	7	66.6	33	60	30	63.3
	8	46.6	20	36.6	36.6	50
	9	40	16.6	33.3	33.3	55

ส่วนที่แรเงาแสดงบริเวณที่มีความขุ่นน้อยที่สุด

## ภาคผนวก จ

### แสดงค่าไฟฟ้า : ส่วนราชการและองค์กรไม่แสวงหากำไร

ลักษณะการใช้ สำหรับการใช้ไฟฟ้าของส่วนราชการ หน่วยงานตามกฎหมายว่าด้วยระเบียบบริหารราชการส่วนท้องถิ่น ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดต่ำกว่า 1,000 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน และองค์กรที่ไม่ใช่ส่วนราชการแต่มีวัตถุประสงค์ในการให้บริการโดยไม่คิดค่าตอบแทน รวมถึงสถานที่ที่ใช้ในการประกอบศาสนกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง แต่ไม่รวมถึงหน่วยงานรับรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติและสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

#### อัตราปกติ

##### อัตรารายเดือน

	ค่าพลังงานไฟฟ้า บาท/หน่วย	ค่าบริการ บาท/เดือน
1. แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	1.9712	228.17
2. แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	2.1412	228.17
3. แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์		20.00
10 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แรก (หน่วยที่ 1-10)	1.3576	
เกินกว่า 10 หน่วย (หน่วยที่ 11 เป็นต้นไป)	2.4482	

#### อัตราตามช่วงเวลาการใช้ (Time of Use Tariff: TOU Tariff)

	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า บาท/กิโลวัตต์	ค่าพลังงานไฟฟ้า บาท/หน่วย		ค่าบริการ บาท/เดือน
	1*	1*	2*	
1. แรงดัน 69 กิโลโวลต์	74.14	2.1636	1.1726	228.17
2. แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	132.93	2.6950	1.1914	228.17
3. แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	210.00	2.8408	1.2246	228.17

1\* On Peak : เวลา 09.00-22.00 น. วันจันทร์-วันศุกร์

2\* Off Peak : เวลา 22.00-09.00 น. วันจันทร์-วันศุกร์

: เวลา 00.00-24.00 น. วันเสาร์-วันอาทิตย์ และ

ความต้องการพลังงานไฟฟ้า : ความต้องการพลังงานในแต่ละเดือนคือความต้องการไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดรอบเดือนเศษของกิโลวัตต์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวัตต์

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว พิงอร วิไลวงษ์ เกิดเมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2522 ที่จังหวัดเพชรบุรี สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม ในปี พ.ศ. 2543 หลังจากนั้นจึงเข้ารับการคัดเลือกเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2543 และสำเร็จการศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย