

การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ  
Treatment of Wastewater from Paper Box Printing Plant



สินีนานฎ ทิพย์ดอนตรี  
Sineenard Tiptontree

A

เลขหมู่	TDA28๐P๒๖ ๕๖๖ ๒๕๔๓ ๐๖๒
Order Key	28859
Bib Key	177706
	...../...../.....พ.ศ. 2543...../.....

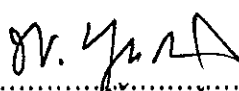
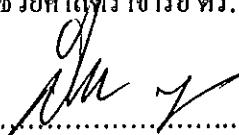
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
Master of Science Thesis in Environmental Management  
Prince of Songkla University

2543

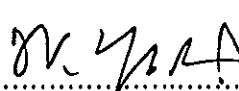

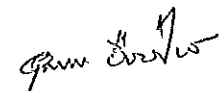
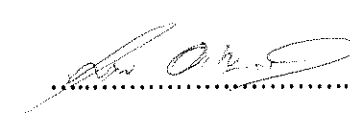
ชื่อวิทยานิพนธ์      การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ  
ผู้เขียน              นางสาวสินีนานุ ทิพย์คนตรี  
สาขาวิชา            การจัดการสิ่งแวดล้อม

---


คณะกรรมการที่ปรึกษา

  
.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษณุ บุญนวล)  
  
.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันหทัย กลิ่นพิกุล)

คณะกรรมการสอบ

  
.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษณุ บุญนวล)  
  
.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันหทัย กลิ่นพิกุล)  
  
.....กรรมการ  
(ดร.อุดมผล พิชนิไพบูลย์)  
  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ อรัญนารด)

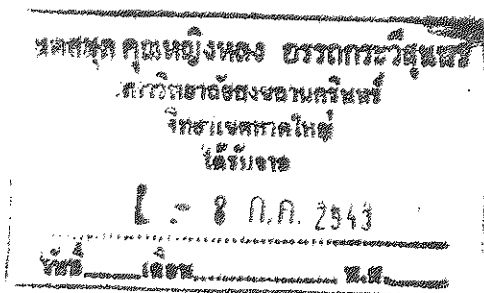
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

  
.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.กาน จันทร์พรหมมา)  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์      การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ  
ผู้เขียน                นางสาวสินีนานฎ พิพย์คนตรี  
สาขาวิชา              การจัดการสิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา            2542

### บทคัดย่อ

น้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ มาจาก 2 แหล่ง คือน้ำล้างเครื่องพิมพ์ ซึ่งมีหมึกพิมพ์เป็นองค์ประกอบ มีค่า COD ประมาณ 6,600 มก./ล และน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟูก ซึ่งมีกากจากแป้งเป็นองค์ประกอบ มีค่า COD ประมาณ 12,000 มก./ล จากการศึกษาพบว่าในการบำบัดน้ำเสียควรแยกจัดการตามที่มาของน้ำเสีย เพราะน้ำเสียทั้ง 2 แหล่ง มีองค์ประกอบแตกต่างกันมาก โดยบำบัดน้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องพิมพ์ด้วยกระบวนการรวมตะกอน และลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย โดยปรับพีเอชมาที่ 5 แล้วใช้สารโพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน หรืออาจใช้การปรับพีเอชมาที่ 5 อย่างเดียว ซึ่งได้ผลไม่ด้อยกว่าการใช้โพลีเมอร์มาก ก็สามารถลดค่า COD ลงเหลือ 600-800 มก./ล คิดเป็นร้อยละ 87-90 ซึ่งยังมีค่าสูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน เมื่อศึกษาการบำบัดขั้นต่อไปโดยวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่าสามารถลดค่า COD ลงได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน แต่ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง สำหรับน้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟูก จากการศึกษาพบว่าไม่สามารถแยกตะกอนโดยการลอยด้วยอากาศละลาย แต่สามารถบำบัดได้โดยปล่อยให้ตกตะกอนในถัง ซึ่งในกระบวนการรวมตะกอน อาจใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน เพื่อให้ตกตะกอนเร็วขึ้น หรือให้ตกตะกอนด้วยตัวเอง ซึ่งต้องใช้ถังตะกอนขนาดใหญ่ขึ้น ทั้งนี้ผลการกำจัดมลสารดีเช่นกัน คือสามารถลดค่า COD เหลือประมาณ 1,800 มก./ล คิดเป็นร้อยละ 85 ซึ่งยังมีค่าสูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน จึงจำเป็นต้องบำบัดด้วยกระบวนการอื่นต่อไป



Thesis Title            Treatment of Wastewater from Paper Box Printing Plant  
Author                    Miss Sineenard Tiptontree  
Major Program        Environmental Management  
Academic Year        2542

### Abstract

Sources of wastewater from the paper box printing plant studied are wash water from two different production lines; a corrugated board manufacturing line and a printing line. The wash water from the printing line contains ink and its COD value is around 6,600 mg/l whereas the wash water from the corrugated board manufacture line contains mainly flour or starch and its COD value is around 12,000 mg/l. It is recommended from the study that treatment for the wastewater from two different sources should be arranged separately due to the fact that their components are very much different. Wash water from the printing line can be treated using flocculation and dissolved air flotation (DAF). Flocculation can be achieved by lower the pH down to 5 followed by addition of cationic polymer. Flocculation by lowering the pH down to 5 alone may be employed since the results are only slightly inferior to the one with polymer addition. The COD of the treated water can be brought down to 600-800 mg/l with around 87-90 % removal but it is still too high to dispose. Further treatment using activated carbon adsorption column can lower the COD down to the value allowable to dispose but the operating cost is quite too high. In case of the wash water from the corrugated board manufacturing line, treatment by DAF is not possible. It has been found, however, that simple treatment by flocculation and sedimentation in a tank can be employed. Flocculation may be either with cationic polymer to speed up the sedimentation or by itself but with a larger tank. The COD removal of 85 % can be achieved with the COD value of treated water of 1,800 mg/l, which is still high and further treatment is necessary.



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำ ข้อคิดเห็น การตรวจและแก้ไขข้อบกพร่อง จาก ศศ.ดร.พิชญ์ บุญนวล ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สันหทัย กลิ่นพิภพ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ ดร.อุคมผล พิษนไพบูลย์ และ ศศ.ดร.มานพ อริญนารถ คณะกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ ที่กรุณาใช้เวลาในการสอบ พร้อมให้คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่อง จนทำให้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ถูกต้องยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ศศ.ดร.สุรพล อารีย์กุล และ อ.กัลยาณี คุปตานนท์ สำหรับคำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่มีให้มาตลอด

ขอขอบคุณ โรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ เอส แพค แอน พรินท์ จำกัด (มหาชน) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณวิรัช นาวิการ และคุณณวัฒน์ พวงงาม ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่าง สำหรับการศึกษาระบาดวิทยา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหะวิทยา และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือ ตลอดจนคำแนะนำในการวิเคราะห์ตัวอย่าง และขอบคุณเพื่อนๆที่มีน้ำใจทุกคน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้มาด้วยดี

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่กรุณาให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ ในครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่น้อง และญาติๆทุกคน และขอบคุณ คุณชัชวาล และ ดร.รัฐนันท์ สุขอุบล สำหรับกำลังใจที่มีให้กันมาตลอด ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สินีนานู ทิพย์คนตรี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(3)
Abstract.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
รายการตาราง.....	(9)
รายการตารางผนวก.....	(11)
รายการภาพประกอบ.....	(15)
รายการภาพประกอบผนวก.....	(19)
บทที่	
1 บทนำ.....	1
บทนำต้นเรื่อง.....	1
การตรวจเอกสาร.....	2
วัตถุประสงค์.....	27
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	27
ขอบเขตการวิจัย.....	27
2 วิธีการวิจัย.....	28
วัสดุ.....	28
อุปกรณ์.....	28
วิธีดำเนินการวิจัย.....	30
3 การศึกษาลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ.....	32
คำนำ.....	32
วัตถุประสงค์.....	32
จุดประสงค์.....	32
วิธีวิจัย.....	32
ผลและวิจารณ์ผล.....	35
บทสรุป.....	39

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 การศึกษาการรวมตะกอนโดยใช้วิธีศึกษาขั้นต้นอย่างง่าย.....	40
คำนำ.....	40
วัตถุประสงค์.....	40
จุดประสงค์.....	40
วิธีวิจัย.....	41
ผลและวิจารณ์ผล .....	44
บทสรุป.....	58
5 การศึกษาวิธีบำบัดน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษด้วยวิธีการรวมตะกอน .....	59
คำนำ.....	59
วัตถุประสงค์.....	59
จุดประสงค์.....	59
วิธีวิจัย.....	61
ผลและวิจารณ์ผล .....	62
- น้ำล้างเครื่องพิมพ์.....	62
- สรุปผล.....	72
- น้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟูก.....	74
- สรุปผล.....	77
- น้ำเสียรวม.....	79
- สรุปผล.....	88
6 การศึกษาผลของความดันในระบบการลอยด้วยอากาศละลาย.....	89
คำนำ.....	89
วัตถุประสงค์.....	89
จุดประสงค์.....	89
วิธีวิจัย.....	89
ผลและวิจารณ์ผล.....	92
บทสรุป.....	94

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
7 การศึกษาระบบบำบัดขั้นต่อไป เพื่อบำบัดให้ได้น้ำที่เข้าเกณฑ์มาตรฐาน .....	95
คำนำ.....	95
วัตถุประสงค์.....	95
จุดประสงค์.....	95
วิธีวิจัย.....	95
ผลและวิจารณ์ผล.....	97
บทสรุป.....	103
8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	104
ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม.....	107
บรรณานุกรม.....	108
ภาคผนวก.....	116
ภาคผนวก ก.....	117
ภาคผนวก ข .....	127
ภาคผนวก ค.....	154
ประวัติผู้เขียน.....	162

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ขนาดของผงต่อนินทรีย์บางชนิด, $\mu\text{m}$ .....	7
1.2 ตัวอย่างผงต่อนินทรีย์.....	8
3.1 ตารางแสดงตัวแปรคุณภาพน้ำและวิธีวิเคราะห์.....	33
3.2 แสดงปริมาณน้ำเสียและลักษณะน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ.....	38
4.1 แสดงเงื่อนไขในการควบคุมกระบวนการรวมตะกอน.....	42
4.2 แสดงการบันทึกผลลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ .....	43
5.1 แสดงการกำจัดมลสารของน้ำล้างเครื่องพิมพ์ เมื่อใช้สารส้ม.....	64
เป็นสารสร้างตะกอนที่พีเอช 5	
5.2 แสดงการกำจัดมลสารของน้ำล้างเครื่องพิมพ์ เมื่อใช้สารส้ม.....	64
เป็นสารสร้างตะกอนที่พีเอช 6	
5.3 แสดงการกำจัดมลสารของน้ำล้างเครื่องพิมพ์ เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์.....	67
เป็นสารสร้างตะกอนที่พีเอช 5	
5.4 แสดงการกำจัดมลสารของน้ำล้างเครื่องพิมพ์ เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์.....	67
เป็นสารสร้างตะกอนที่พีเอช 6	
5.5 แสดงการกำจัดมลสารของน้ำล้างเครื่องพิมพ์ เมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวก.....	70
เป็นสารสร้างตะกอนที่พีเอช 5	
5.6 แสดงการกำจัดมลสารของน้ำล้างเครื่องพิมพ์เมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวก.....	70
เป็นสารสร้างตะกอนที่พีเอช 6	
5.7 ปริมาณและมูลค่าสารเคมี ที่ใช้เป็นสารสร้างตะกอนในกระบวนการรวมตะกอน .....	73
5.8 ปริมาณและมูลค่ากรดซัลฟูริก เข้มข้น 94 % ที่ใช้ในการปรับพีเอช.....	73
ของน้ำล้างเครื่องพิมพ์ 1 ลบ.ม	
5.9 แสดงค่ามลสารที่เหลือ ในชั่วโมงที่ 10 เมื่อใช้สารส้ม 40 มก./ลิตร และ.....	78
โพลิเมอร์ประจุบวก 4 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ที่ พีเอชต่างๆ	
5.10 แสดงค่ามลสารที่เหลือ ในชั่วโมงที่ 10 เมื่อใช้สารส้ม และ .....	78
โพลิเมอร์ประจุบวกปริมาณต่างๆ เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 8	

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
5.11 แสดงการกำจัดมลสารของน้ำเสียรวม เมื่อใช้สารส้ม.....	80
เป็นสารสร้างตะกอนที่พีเอช 5	
5.12 แสดงการกำจัดมลสารของน้ำเสียรวม เมื่อใช้สารส้ม.....	80
เป็นสารสร้างตะกอนที่พีเอช 6	
5.13 แสดงการกำจัดมลสารของน้ำเสียรวม เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์.....	83
เป็นสารสร้างตะกอนที่พีเอช 5	
5.14 แสดงการกำจัดมลสารของน้ำเสียรวม เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์.....	83
เป็นสารสร้างตะกอนที่พีเอช 6	
5.15 แสดงการกำจัดมลสารของน้ำเสียรวม เมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวก.....	86
เป็นสารสร้างตะกอนที่พีเอช 5	
5.16 แสดงการกำจัดมลสารของน้ำเสียรวม เมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวก.....	86
เป็นสารสร้างตะกอนที่พีเอช 6	
6.1 แสดงผลของความดันที่มีต่อการแยกตะกอนของระบบ ลอยตะกอน.....	92
ด้วยอากาศละลาย ที่ความดัน 40, 50, 60 และ 70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว	
7.1 แสดงผลการกำจัดมลสารในน้ำเสียเมื่อผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ที่เวลาต่างๆ.....	99

รายการตารางผนวก

ตารางผนวก	หน้า
1 ช่วงของค่า BOD ที่วัดได้ตามเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างของการเจือจาง.....	119
2 น้ำหนักและความเข้มข้นของน้ำยาเคมีที่ใช้กับขนาดของตัวอย่างต่างๆ.....	123
3 ลักษณะด่านกัมมันต์จากไม้โก่งกาง ของบริษัทคาร์โบกาญจน์.....	126
4 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้สารส้ม ..... 127 เป็นสารสร้างตะกอน สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์	127
5 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้สารส้ม 40 มก./ลิตร ..... 127 ที่พีเอช ต่างๆ สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์	127
6 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ สารส้ม ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร ..... 127 เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6 สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์	127
7 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ สารส้ม ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร ..... 128 เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5 สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์	128
8 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอร์ริคคลอไรด์ ในปริมาณต่างๆ..... 128 เป็นสารสร้างตะกอน สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์	128
9 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอร์ริคคลอไรด์ ในปริมาณ 40 มก./ลิตร..... 128 เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชต่างๆ สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์	128
10 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอร์ริคคลอไรด์ ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร..... 129 เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6 สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์	129
11 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอร์ริคคลอไรด์ ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร..... 129 เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5 สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์	129
12 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ในปริมาณต่างๆ..... 129 เป็นสารสร้างตะกอน สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์	129
13 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ในปริมาณ 4 มก./ลิตร.....130 เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชต่างๆ สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์	130
14 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวกปริมาณ 0-10 มก./ลิตร.....130 เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6 สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์	130

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวก	หน้า
15 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวกปริมาณ 0-10 มก./ลิตร.....	130
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5 สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์	
16 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ในปริมาณต่างๆ ..	131
เป็นสารสร้างตะกอน สำหรับน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟู	
17 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ในปริมาณ 4 มก./ลิตร.....	131
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชต่างๆ สำหรับน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟู	
18 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้สารส้ม ในปริมาณต่างๆ.....	131
เป็นสารสร้างตะกอน สำหรับน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟู	
19 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้สารส้ม ในปริมาณ 40 มก./ลิตร.....	132
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช ต่างๆ สำหรับน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟู	
20 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอร์ริคคลอไรด์ ในปริมาณต่างๆ.....	132
เป็นสารสร้างตะกอน สำหรับน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟู	
21 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอร์ริคคลอไรด์ ในปริมาณ 40 มก./ลิตร.....	132
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชต่างๆ สำหรับน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟู	
22 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้สารส้ม ในปริมาณต่างๆ.....	133
เป็นสารสร้างตะกอน สำหรับน้ำเสียรวม	
23 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้สารส้ม ในปริมาณ 40 มก./ลิตร .....	133
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช ต่างๆ สำหรับน้ำเสียรวม	
24 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ สารส้ม ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร.....	133
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6 สำหรับน้ำเสียรวม	
25 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ สารส้ม ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร.....	134
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5 สำหรับน้ำเสียรวม	
26 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอร์ริคคลอไรด์ ในปริมาณต่างๆ.....	134
เป็นสารสร้างตะกอน สำหรับน้ำเสียรวม	
27 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอร์ริคคลอไรด์ ในปริมาณ 40 มก./ลิตร.....	134
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชต่างๆ สำหรับน้ำเสียรวม	



รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวก	หน้า
28 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอร์ริคคลอไรด์ ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร... ..135 เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6 สำหรับน้ำเสียรวม	
29 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอร์ริคคลอไรด์ ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร..... 135 เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5 สำหรับน้ำเสียรวม	
30 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ในปริมาณต่างๆ..... 135 เป็นสารสร้างตะกอน สำหรับน้ำเสียรวม	
31 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ในปริมาณ 4 มก./ลิตร..... 136 เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชต่างๆ สำหรับน้ำเสียรวม	
32 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวกปริมาณ 0-10 มก./ลิตร.....136 เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6 สำหรับน้ำเสียรวม	
33 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวกปริมาณ 0-10 มก./ลิตร.. ...136 เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5 สำหรับน้ำเสียรวม	
34 แสดงค่าความขุ่นที่เหลือ (NTU) เมื่อใช้สารส้มปริมาณ 40 มก./ลิตร..... 137 เป็นสารสร้างตะกอนที่พีเอชเท่ากับ 5-12	
35 แสดงค่าความขุ่นที่เหลือ (NTU) ที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้สารส้ม 0-100 มก./ลิตร.....137 เป็นสารสร้างตะกอนที่พีเอชเท่ากับ 8	
36 แสดงค่าความขุ่นที่เหลือ (NTU) เมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวก 40 มก./ลิตร.....138 เป็นสารสร้างตะกอนที่พีเอชเท่ากับ 5-12	
37 แสดงค่าความขุ่นที่เหลือ (NTU) ที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวก ปริมาณ..... 138 0-100 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอนที่พีเอชเท่ากับ 8	
38 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่1(น้ำล้างเครื่องพิมพ์)เมื่อใช้สารส้ม..... 139 ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช5	
39 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่1(น้ำล้างเครื่องพิมพ์)เมื่อใช้สารส้ม ..... 140 ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช6	
40 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่1(น้ำล้างเครื่องพิมพ์)เมื่อใช้..... 141 เฟอร์ริคคลอไรด์ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช5	

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวก	หน้า
41 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่1(น้ำล้างเครื่องพิมพ์)เมื่อใช้เฟอริกคลอไรด์ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช6	142
42 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่1(น้ำล้างเครื่องพิมพ์)เมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช5	143
43 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่1(น้ำล้างเครื่องพิมพ์)เมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอนที่พีเอช6	144
44 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่3(น้ำเสียรวม)เมื่อใช้สารส้มปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช5	145
45 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่3(น้ำเสียรวม)เมื่อใช้สารส้มปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช 6	146
46 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่3(น้ำเสียรวม)เมื่อใช้เฟอริกคลอไรด์ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช 5	147
47 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่3(น้ำเสียรวม)เมื่อใช้เฟอริกคลอไรด์ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช 6	148
48 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุด3 (น้ำเสียรวม)เมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช 5	149
49 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่3(น้ำเสียรวม)เมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่ระดับพีเอช เท่ากับ6	150
50 แสดงผลการกำจัดมลสารในน้ำเสีย เมื่อผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ที่เวลาต่างๆ...	151
51 แสดงข้อมูลการออกแบบบ่อนำบัติน้ำเสีย.....	159
52 สรุปขนาดพื้นที่บ่อนำบัติน้ำเสียที่คำนวณได้.....	161

## รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 แสดงกระบวนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก.....	3
1.2 แสดงชนิดของแผ่นกระดาษลูกฟูก.....	4
1.3 แสดงกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก... ..	5
1.4 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารชนิดหนึ่ง.....	15
1.5 แสดงแรงกระทำระหว่างอนุภาค ที่ระยะห่างต่างๆ.....	16
1.6 แสดงกระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลาย.....	20
1.7 แสดงกราฟไบเรคทรู .....	26
2.1 แผนภาพแสดงวิธีการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ.....	31
3.1 แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ.....	34
3.2 แสดงลักษณะน้ำเสียจาก โรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ.....	36
3.3 แสดงลักษณะอนุภาคแป้ง จากน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก หรือน้ำกาบ.....	36
ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ แบบแสงส่องผ่านกำลังขยาย 50 เท่า	
3.4 แสดงภาพรวมคุณภาพน้ำเสีย ณ ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำ.....	39
4.1 แสดงหลอดทดลองขนาด 30 มิลลิลิตร.....	41
4.2 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ.....	43
4.3 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน.....	45
สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์	
4.4 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน.....	47
สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์	
4.5 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน.....	49
สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์	
4.6 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพสำหรับน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก.....	50
4.7 แสดงลักษณะน้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก.....	51
4.8 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนสำหรับน้ำเสียรวม.....	53
4.9 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน.....	55
สำหรับน้ำเสียรวม	

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.10 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน.....	57
สำหรับน้ำเสียรวม	
5.1 แสดงกรวยแยกแบบมีจุกปิด ที่ใช้ในการทดลอง.....	60
5.2 แสดงถังกวน และใบพัดกวนที่ใช้ทดลอง.....	60
5.3 แสดงชุดการทดลองการรวมตะกอน และตกตะกอน .....	62
ของน้ำล้าง เครื่องผลิตกระดาษถูกฟู	
5.4 แสดงผลการกำจัดมลสารเมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน เมื่อค่าความขุ่น.....	65
เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 2831 NTU ครั้งที่ 2 เท่ากับ 2000 NTU ครั้งที่ 3 เท่ากับ	
2500 NTU และ ค่าCOD เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 6550 มก./ลิตร ครั้งที่ 2 เท่ากับ	
7050 มก./ลิตร และ ครั้งที่ 3 เท่ากับ 6300 มก./ลิตร	
5.5 แสดงผลการกำจัดมลสารเมื่อใช้เฟอริริคคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน.....	68
เมื่อค่าความขุ่นเริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 2831 NTU ครั้งที่ 2 เท่ากับ 2000 NTU	
ครั้งที่ 3 เท่ากับ 2500 NTU และ ค่าCOD เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 6550 มก./ลิตร	
ครั้งที่ 2 เท่ากับ 7050 มก./ลิตร และ ครั้งที่ 3 เท่ากับ 6300 มก./ลิตร	
5.6 แสดงผลการกำจัดมลสารเมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน.....	71
เมื่อค่าความขุ่น เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 2831 NTU ครั้งที่ 2 เท่ากับ 2000 NTU	
ครั้งที่ 3 เท่ากับ 2500 NTU และ ค่าCOD เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 6550 มก./ลิตร	
ครั้งที่ 2 เท่ากับ 7050 มก./ลิตร และ ครั้งที่ 3 เท่ากับ 6300 มก./ลิตร	
5.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงพีเอชของตัวอย่างน้ำล้างเครื่องพิมพ์ ปริมาณ 50 มิลลิลิตร.....	73
ที่ถูกดีเตรคด้วยกรดซัลฟูริก 0.1%	
5.8 แสดงค่าความขุ่นที่เหลือ (NTU) ที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้สารส้ม.....	74
ปริมาณ 40 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5-12	
5.9 แสดงค่าความขุ่นที่เหลือ (NTU) ที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้สารส้ม.....	75
ปริมาณ 0-100 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 8	
5.10 แสดงค่าความขุ่นที่เหลือ (NTU) ที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวก.....	76
ปริมาณ 4 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5-12	

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
5.11 แสดงค่าความขุ่นที่เหลือ (NTU) ที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวก.....	76
ปริมาณ 0-10 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 8	
5.12 แสดงผลการกำจัดมลสารเมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน เมื่อ .....	81
ค่าCOD เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 8500 มก./ลิตร ครั้งที่ 2 เท่ากับ 13980 มก./ลิตร ครั้งที่ 3 เท่ากับ 6317 มก./ลิตร และ ค่าความขุ่นเริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 3900 NTU ครั้งที่ 2 เท่ากับ 5825 NTU ครั้งที่ 3 เท่ากับ 3350 NTU	
5.13 แสดงผลการกำจัดมลสารเมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน.....	84
เมื่อค่าCOD เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 8500 มก./ลิตร ครั้งที่ 2 เท่ากับ 13980 มก./ลิตร และครั้งที่ 3 เท่ากับ 6317 มก./ลิตร และค่าความขุ่นเริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 3900 NTU ครั้งที่ 2 เท่ากับ 5825 NTU ครั้งที่ 3 เท่ากับ 3350 NTU	
5.14 แสดงผลการกำจัดมลสารเมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน .....	87
เมื่อค่าCOD เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 8500 มก./ลิตร ครั้งที่ 2 เท่ากับ 13980 มก./ลิตร และครั้งที่ 3 เท่ากับ 6317 มก./ลิตร และค่าความขุ่น เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 3900 NTU ครั้งที่ 2 เท่ากับ 5825 NTU ครั้งที่ 3 เท่ากับ 3350 NTU	
5.15 แสดงน้ำเสียรวม (1) น้ำดิบ (2) ที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอน.....	88
6.1 แสดงแบบจำลองการศึกษาผลของความดัน ในระบบการลอยด้วยอากาศละลาย.....	90
6.2 แสดงชุดการทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	91
6.3 แสดงค่า COD ที่เหลือ ณ ความดันต่างๆ ที่ใช้ในการแยกตะกอน.....	93
ด้วยระบบการลอยตัวด้วยอากาศละลาย เมื่อค่า COD เริ่มต้นของน้ำดิบ ครั้งที่ 1 เท่ากับ 6550 มก./ลิตร และครั้งที่ 2 เท่ากับ 7050 มก./ลิตร	
6.4 แสดงค่าความขุ่นที่เหลือ ณ ความดันต่างๆ ที่ใช้ในการแยกตะกอน.....	93
ด้วยระบบการลอยตัวด้วยอากาศละลาย เมื่อค่าความขุ่นเริ่มต้นของน้ำดิบ ครั้งที่ 1 เท่ากับ 2837 NTU และครั้งที่ 2 เท่ากับ 2000 NTU	
6.5 แสดงน้ำล้างเครื่องพิมพ์ (1) น้ำดิบ (2) น้ำที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอน.....	94
7.1 แบบจำลองการกรองถ่านกัมมันต์ในห้องปฏิบัติการ.....	96
7.2 ชุดการทดลองการกรองถ่านกัมมันต์ในห้องปฏิบัติการ.....	97

## รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
7.3 แสดงลักษณะน้ำที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์.....	.98
7.4 แสดงร้อยละของการลดความขุ่น เมื่อกรองผ่านถ่านกัมมันต์ที่เวลาต่างๆ.....	100
7.5 แสดงร้อยละของการลดCODเมื่อกรองผ่านถ่านกัมมันต์ที่เวลาต่างๆ.....	100
7.6 กราฟแสดงค่า COD ที่เหลือ กับปริมาตรน้ำ (BV).....	102
7.7 กราฟแสดงค่าความขุ่น ที่เหลือ กับปริมาตรน้ำ (BV).....	102
7.8 แสดง กราฟเบรคทھر ระหว่าง $C/C_0(\%)$ ของ COD และความขุ่น กับปริมาตรน้ำ (BV)	102

## รายการภาพประกอบผนวก

ภาพประกอบผนวก	หน้า
1. แสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณของถ่านในคอลัมน์.....	.154
2. แสดงตัวอย่างการคำนวณความสามารถในการดูดซับแบบต่อเนื่อง.....	.157

## บทที่ 1

### บทนำ

#### บทนำด้านเรื่อง

บรรจุภัณฑ์กระดาษ เป็นบรรจุภัณฑ์ประเภทหนึ่งที่เป็นที่คุ้นเคยกันดีในชีวิตประจำวันของเรา และนิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะกล่องกระดาษ ที่มักใช้ในการหีบห่อสินค้ามากที่สุด เพราะมีราคาถูก น้ำหนักเบา มีความแข็งแรงเป็นระเบียบเรียบร้อย สะดวกต่อการบรรจุและขนย้าย อีกทั้งสามารถพิมพ์ข้อความลงกล่องได้ดีกว่าภาชนะประเภทอื่น ในปัจจุบันอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์กระดาษเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญมาก อย่างหนึ่งในประเทศ เพราะนอกจากจะเป็นอุตสาหกรรมที่ผลิตใช้เองในประเทศแล้ว ยังเป็นอุตสาหกรรมที่อาจส่งเสริมให้มีการส่งออกได้อีกด้วย จากข้อมูลการส่งออกต่างประเทศของบรรจุภัณฑ์ เฉพาะกล่องกระดาษ ในปี 2536 เป็น 267.02 ล้านบาท ปี 2537 เป็น 365.99 ล้านบาท และปี 2538 เป็น 462.70 ล้านบาท (กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ อ้างใน ชัชชัย แก้วขจร, 2539) จะเห็นว่าแนวโน้มมูลค่าการส่งออกต่างประเทศมีมากขึ้นตามลำดับ

งานบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ จะมีกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน เริ่มตั้งแต่การนำกระดาษมาผลิตเป็นกระดาษลูกปูก การฉายตัด ( Die cut ) คือตัดเฉพาะส่วนเพื่อขึ้นรูปให้เป็นกล่อง การติดกาว และการพิมพ์ ในกระบวนการพิมพ์เป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งในการผลิตบรรจุภัณฑ์ออกจำหน่าย เนื่องจากส่วนสำคัญของบรรจุภัณฑ์นั้นคือสิ่งพิมพ์ที่พิมพ์อยู่บนบรรจุภัณฑ์นั้นๆ เพื่อแยกแยะชนิด ยี่ห้อ สรรพคุณ วันเวลาการผลิตและวันหมดอายุ ราคาของสินค้า การออกแบบและการพิมพ์จึงเสมือนเป็นการตกแต่งบรรจุภัณฑ์ให้สวยงาม และมีค่ามากขึ้น ซึ่งวิธีการพิมพ์หรือระบบการพิมพ์บรรจุภัณฑ์มีหลายวิธี ( บุญยา วุฒิชญา และวรวรรณ กิรติอตุลย์, 2539) โดยการพิมพ์ทุกวิธี จะต้องใช้หมึกพิมพ์เป็นวัตถุดิบหลัก เพื่อให้เกิดขึ้นตามที่ต้องการ การที่หมึกพิมพ์จะให้สี จะต้องมีส่วนของสารให้สี ซึ่งมีทั้งสารให้สีที่เป็นผงสี (Pigment) และสารที่ให้สีที่เป็นสีย้อม (Dye or dyestuff) ผงสี และ สีย้อมจะกระจายและละลายอยู่ในตัวทำละลาย (Solvent) โดยมีตัวนำ (Vehicle) ช่วยในการยึดเกาะกับพื้นผิว สารให้สีส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบของโลหะหนักอยู่ เช่น สีเหลือง Chrome yellow จะมีตะกั่วและโครเมียมเป็นองค์ประกอบ หรือสีแดง Cadmium red มีแคดเมียมเป็นองค์ประกอบ เป็นต้น



น้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมการพิมพ์กล่องกระดาษ เกิดได้จาก 2 จุดใหญ่ๆ คือน้ำเสียที่เกิดจากน้ำล้างตีนเครื่องพิมพ์ และน้ำเสียที่เกิดจากน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก จะเห็นว่าน้ำเสียที่ผ่านอุตสาหกรรมการพิมพ์กล่องกระดาษ จะมีสารให้สีและกาวปนเปื้อนอยู่ เป็นจำนวนมาก น้ำเสียที่เกิดขึ้นอาจก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากน้ำทิ้ง ที่มีส่วนประกอบของหมึกพิมพ์ ซึ่งแม้จะมีปริมาณไม่มากเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมอื่น ที่ใช้น้ำในกระบวนการผลิตโดยตรง แต่น้ำเสียที่มีน้ำหมึกเป็นองค์ประกอบอาจมีสารเคมีเป็นพิษ สามารถทำลายสิ่งแวดล้อมสิ่งมีชีวิตในน้ำตลอดจนมีผลต่อมนุษย์ได้ (Zollinger, 1987 ; Layla and Rawi, 1988 and Ellenhorn and Barceloux, 1988) อีกทั้งน้ำเสียยังมีกาว ซึ่งมีแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก น้ำเสียที่ปล่อยออกมา จะมีการย่อยสลายของแป้ง จึงทำให้น้ำมีกลิ่นเหม็นอีกด้วย

เนื่องจากสีที่ผ่านมากับน้ำเสียอยู่ในรูปของอนุภาคแขวนลอย (เขาวเรศ อายุวัฒน์ และคณะ, 2536) ดังนั้น ถ้าสามารถแยกเอาอนุภาคเหล่านี้ออกไปได้ส่วนหนึ่ง จึงน่าจะสามารถลดปริมาณมลสารในน้ำเสียลงได้อย่างมาก การศึกษาครั้งนี้จึงสนใจศึกษาลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการพิมพ์บรรจุภัณฑ์ โดยเลือกศึกษาจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ และหาวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยการแยกอนุภาคสีและอนุภาคแป้งออกจากน้ำเสีย โดยวิธีการรวมตะกอน และการกรอง เพื่อลดมลสารในน้ำเสียจากการผลิตออกไประดับหนึ่ง ก่อนที่จะปล่อยสู่ระบบบำบัดน้ำเสียเดิม ที่โรงงานมีอยู่ก่อนแล้วหรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่นๆต่อไป เป็นการหาเทคโนโลยีใหม่ไว้เพื่อเป็นทางเลือก ในการจัดการน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษต่อไป

## การตรวจเอกสาร

### 1 กล่องกระดาษลูกฟูก ( Corrugated fiberboard box )

#### 1.1 กระดาษลูกฟูก ( Corrugated fiberboard )

แผ่นกระดาษลูกฟูกเป็นวัสดุคิบัติที่ได้รับความนิยมสูงสุดในการผลิตเป็นภาชนะบรรจุ ซึ่งเรียกว่ากล่องกระดาษลูกฟูก แผ่นกระดาษลูกฟูกมีกระดาษคราฟท์ (Kraft paper) หรือกระดาษเหนียวและกาว เป็นส่วนประกอบหลัก กระดาษเหนียวและกาว จะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก (กระบวนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก ดังแสดงในรูปที่ 1.1)

ลักษณะทั่วไปของกระดาษเหนียวที่ใช้ทำแผ่นกระดาษลูกฟูก ประกอบด้วยกระดาษทำผิวกต่อง (Liner board) และกระดาษลูกฟูก (Fluting medium or corrugating medium) กระดาษทำผิวกต่องเป็นกระดาษที่ใช้ประกบกระดาษลูกฟูก มีผิวเรียบสม่ำเสมอ มักจะฟอกสีเพื่อประโยชน์ใน

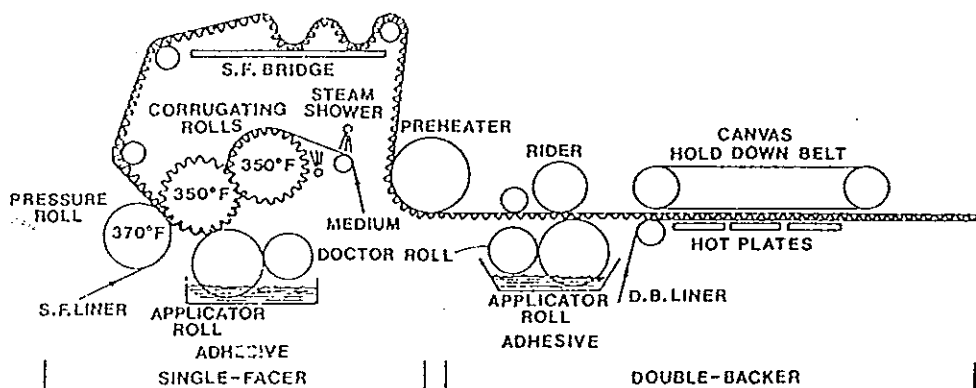
การพิมพ์ที่สวยงาม ส่วนกระดาษลูกฟูก เป็นกระดาษที่นำมาขึ้นลอน เพื่อให้อยู่ระหว่างกระดาษ ทำผิวกล่อง ลอนลูกฟูกมีหลายชนิดแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันตามจำนวนลอนต่อเมตรและความสูงของลอน (Hanlon,1971 and Maltenfort,1970) แผ่นกระดาษลูกฟูก สามารถแบ่งออกตามชั้นของกระดาษได้ดังนี้ (ดูภาพประกอบ 1.2)

1.1.1 แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้นหรือแผ่นกระดาษลูกฟูกหนึ่งหน้า (Single faced corrugated) ประกอบด้วยกระดาษผิวกล่อง 1 แผ่นและแผ่นกระดาษลูกฟูก 1 แผ่น นิยมใช้ห่อสินค้าหรือเป็นแผ่นรองเพื่อเป็นวัสดุกันกระแทก

1.1.2 แผ่นกระดาษลูกฟูกสามชั้นหรือแผ่นกระดาษลูกฟูกสองหน้า ( Single wall or double faced corrugated ) ประกอบด้วยแผ่นกระดาษลูกฟูก 1 แผ่น ปิดทับด้วยกระดาษทำผิวกล่องทั้งสองด้าน ความต้านทานต่อแรงดึง ของกระดาษชนิดนี้ มีมากกว่ากระดาษชนิดอื่นที่มีน้ำหนักเท่ากัน

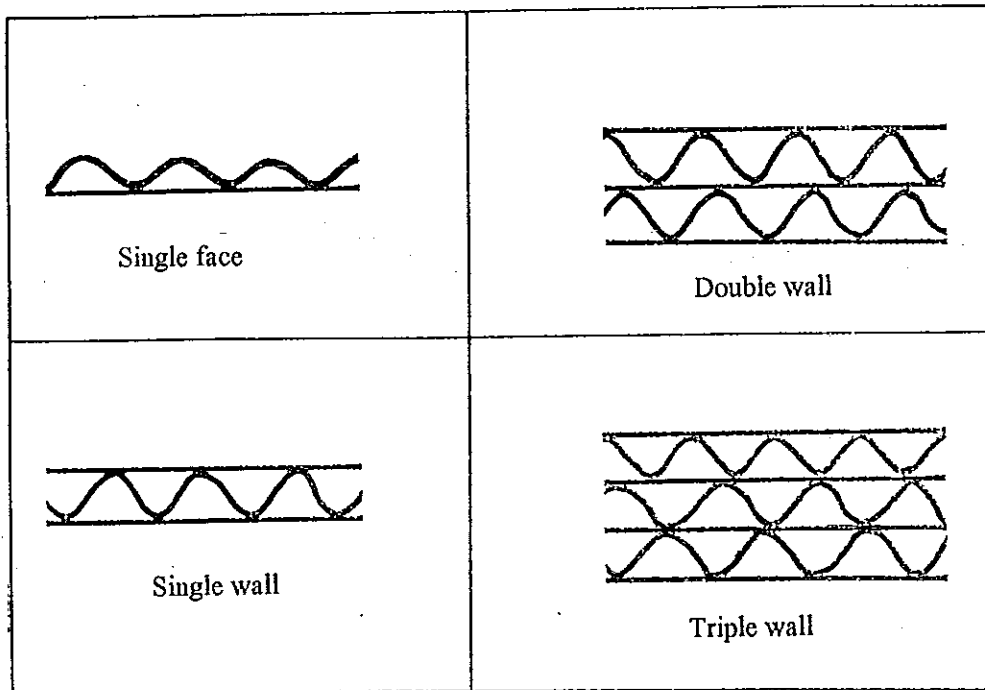
1.1.3 แผ่นกระดาษลูกฟูกห้าชั้น (Double wall corrugated) ประกอบด้วยกระดาษทำผิวกล่อง 3 แผ่น แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 แผ่น อยู่สลับกัน มักทำเป็นกล่องขนาดใหญ่หรือใช้บรรจุสินค้าที่มีน้ำหนักมาก ซึ่งใช้ขนส่งในระยะทางไกล

1.1.4 แผ่นกระดาษลูกฟูกเจ็ดชั้น (Triple wall corrugated) ประกอบด้วยกระดาษทำผิวกล่อง 4 แผ่น แผ่นกระดาษลูกฟูก 3 แผ่น อยู่สลับกัน มีการใช้ไม่กว้างขวางเท่าใดนัก ใช้บรรจุสินค้าที่มีมวลใหญ่ๆ เพื่อการขนส่งในระยะทางไกล



ภาพประกอบ 1.1 แสดงกระบวนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก

ที่มา Whistler, Bemiller and Paschall ,1984

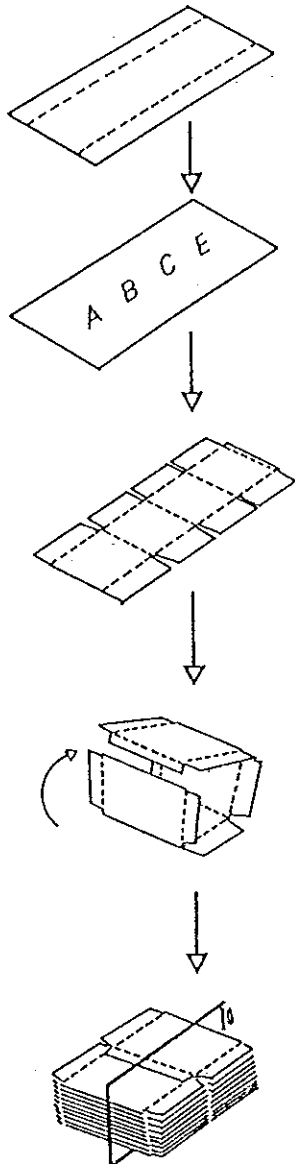


ภาพประกอบ 1.2 แสดงชนิดของแผ่นกระดาดลูกฟูก  
ที่มา Layfield ,1990

กาวที่ใช้ในอุตสาหกรรมกลึงกระดาดลูกฟูก มี 2 ชนิด คือ กาวจากแป้ง (Starch) และกาวจากโซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate) แต่กาวจากโซเดียมซิลิเกต มีข้อจำกัดในการใช้มาก จึงทำให้กาวจากแป้งเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมประเภทนี้ (Maltenfort,1970) กาวจากแป้งได้รับการพัฒนามาเป็นระยะเวลานาน เพื่อให้เหมาะสมกับเครื่องผลิตกระดาดลูกฟูกสมัยใหม่ ที่สามารถผลิตกระดาดลูกฟูกได้เร็วมาก กาวจากแป้งจะมีส่วนประกอบทั่วไปคือ แป้ง โซดาไฟ (Sodium hydroxide) บอแรกซ์ (Borax) และน้ำ (Whistler, Bemiller and Paschall ,1984) แป้งที่ใช้ มักเป็นแป้งข้าวโพด (Corn starch) ซึ่งกรรมวิธีในการผลิตจะมีการให้ความร้อน เพื่อให้แป้งเปลี่ยนรูปเป็นเจล (Gelatinization) และกลายรูปเป็นกาว ในที่สุด (Maltenfort,1970) อุณหภูมิที่ทำให้แป้งแปรรูปเป็นเจล สำหรับแป้งข้าวโพด ประมาณ  $160^{\circ}$  F การเติมโซดาไฟ เป็นการลดอุณหภูมิจุดนี้ลง ทำให้เหมาะสมกับเครื่องผลิตกระดาดที่มีความเร็วสูง เพื่อให้ออกมาเป็นกาวใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป

## 1.2 การผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก

หลังจากผ่านกระบวนการผลิตกระดาษลูกฟูก ทำให้ได้แผ่นกระดาษลูกฟูกขนาดที่ต้องการแล้ว จะเข้าสู่กระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกซึ่งมีกระบวนการ โดยทั่วไปดังนี้ (ดูภาพประกอบ 1.3)



ตัดกระดาษลูกฟูกให้พอดีกับขนาดกล่องที่จะผลิต เนื่องจากกระดาษที่มาจากเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก อาจจะกว้างหรือยาวเกินไป

เข้าสู่กระบวนการพิมพ์

ตัดหรือเจาะให้เป็นรูป เพื่อให้เกิดรูปกล่อง แล้วจึงพับให้เป็นรอย

พับและเชื่อมจุดที่ซ้อนกัน โดยอาจใช้วิธีการติดกาว ร้อยด้วยเหล็ก หรือติดแถบกาว

รวบรวมให้เป็นระเบียบ จำนวนหนึ่ง แล้วมัดรวมไว้ เมื่อถึงมือผู้บริโภค สามารถขึ้นรูปกล่องได้ทันที

ภาพประกอบ 1.3 แสดงกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก

ที่มา Layfield, 1990

## 2 การพิมพ์บรรจุภัณฑ์

การพิมพ์บรรจุภัณฑ์ที่นิยมนำมาใช้มี 5 วิธี คือ (บุญยา วุฒิชญา และ วรวรรณ กิรติอคุลย์, 2535)

### 2.1 การพิมพ์เลตเตอร์เพรส (Letterpress printing)

เป็นการพิมพ์แบบพื้นนูน บนแม่พิมพ์ ซึ่งมีการพัฒนาเป็นแม่แบบสำหรับตัวหล่อพิมพ์โลหะ สามารถเรียงเป็นคำเป็นประโยคได้ ในการพิมพ์ เมื่อทาหมึกบนแม่พิมพ์แล้วกดพิมพ์ หมึกจะติดเฉพาะส่วนที่นูนสูง (ยุทธศักดิ์ คณาสวัสดิ์, 2539) มักใช้พิมพ์งานบนกล่องกระดาษลูกฟูก กระดาษแข็ง กระดาษเคลือบผิว กระดาษไม่เคลือบผิว และเปลวโลหะที่เคลือบกระดาษ (บุญยา วุฒิชญา และ วรวรรณ กิรติอคุลย์, 2535) นำหมึกที่ใช้จะเป็นหมึกชนิดข้น (Paste ink) จะมีความเข้มข้นในระดับปานกลาง สามารถไหลไปมาบนงานง่ายหมึกได้

### 2.2 การพิมพ์ออฟเซต (Offset printing)

แม่พิมพ์ในระบบนี้จะเป็นแบบพื้นราบ พิมพ์ได้โดยอาศัยสมบัติทางเคมีของน้ำและน้ำมันที่ไม่รวมตัวกัน หมึกพิมพ์เป็นหมึกที่เหนียวและมีคุณสมบัติเป็นน้ำมัน เมื่อทาไปบนแม่พิมพ์จะเกาะติดบริเวณภาพ ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ส่วนบริเวณไม่มีภาพจะถูกทำให้ชื้นด้วยน้ำ นิยมใช้พิมพ์กระดาษชนิดต่างๆ การพิมพ์กระป๋องโลหะ ฟาพลาสติก และสามารถพิมพ์บนวัสดุผิวโค้ง

### 2.3 การพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟี (Flexographic printing)

เป็นระบบการพิมพ์แบบพื้นนูนที่พัฒนาเพื่อให้พิมพ์ได้เร็วขึ้น คุณภาพและความทนทานดี ขึ้น โดยใช้แม่พิมพ์ยาง ภายหลังนำโพลีเมอร์มาทำแม่พิมพ์แทนยางธรรมชาติ การพิมพ์วิธีนี้ นิยมใช้พิมพ์กระดาษ ไม่เคลือบผิว เช่น กระดาษคราฟท์ โดยเฉพาะกระดาษลูกฟูก หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟีจะเป็นหมึกชนิดเหลว (Liquid ink) แห้งเร็ว มีตัวนำเป็นแอลกอฮอล์หรือน้ำ

### 2.4 การพิมพ์กราวิัวร์ (Gravure printing)

เป็นระบบการพิมพ์แบบพื้นลึก แม่พิมพ์ทำด้วยเหล็ก บริเวณภาพมีลักษณะเป็นหลุม ความอ่อนแอของสีภาพ ขึ้นกับขนาดและความลึกของแม่พิมพ์ มักใช้พิมพ์กระดาษที่มีการเคลือบผิว พลาสติก และเปลวโลหะเกือบทุกชนิด หมึกพิมพ์ระบบนี้เป็นหมึกเหลว แห้งเร็ว แต่รวมตัวกันแน่น เพราะต้องเกาะติดกระดาษออกมาจากหลุมให้หมด

### 2.5 การพิมพ์สกรีน (Screen printing)

เป็นการพิมพ์ที่ใช้แม่พิมพ์ลักษณะเป็นตารางเนื้อละเอียด ถูกขึงตั้งอยู่ในกรอบ โดยส่วนที่ไม่มีภาพจะเป็นวัสดุกันหมึกผ่าน ยึดติดแน่นกับตาราง ส่วนที่เป็นภาพจะปล่อยว่าง เพื่อให้หมึกที่ถูกปาดอีกด้านหนึ่ง ผ่านไปติดบนงานที่พิมพ์ (ชาติ มหาบรรพต, 2536) การพิมพ์สกรีน ใช้พิมพ์บนวัสดุได้ทุกชนิด เช่น กระดาษ พลาสติก แก้ว เซรามิก และไม้ หมึกพิมพ์สกรีน เป็นหมึกชนิดข้น แห้งเร็ว โดยการพิมพ์ชนิดนี้จะใช้หมึกมากกว่าการพิมพ์ชนิดอื่น

### 3 หมึกพิมพ์ (Printing ink)

หมึกพิมพ์ประกอบด้วยส่วนสำคัญต่าง ๆ ดังนี้ คือ (นันทา วิฑูฒิสักดิ์, 2527)

#### 3.1 ส่วนที่เป็นสี (Colorant)

ส่วนที่เป็นสีมีหน้าที่ให้สีในกระบวนการพิมพ์ สามารถแบ่งตามคุณสมบัติการละลายในตัวกลางได้เป็น 2 ประเภท คือ ผงสีและสีข้อม โดยผงสีมีคุณสมบัติไม่ละลายในตัวกลาง (Insoluble) ส่วนสีข้อมมีคุณสมบัติที่ละลายในตัวกลาง (Soluble)

##### 3.1.1 ผงสี

ผงสี เป็นส่วนที่เป็นสีที่มีลักษณะเป็นอนุภาคแขวนลอย (Colloid) ขนาดเล็ก ๆ ตั้งแต่ 0.01-100  $\mu\text{m}$  แล้วแต่ชนิดของผงสี (ดังตัวอย่างแสดงในตาราง 1.1) สามารถจำแนกได้ง่ายๆแต่เหมาะสมตามที่มาและองค์ประกอบได้เป็น 2 ชนิดคือผงสีอนินทรีย์ (Inorganic pigments) และผงสีอินทรีย์ (Organic pigments) ผงสีอนินทรีย์มีทั้งที่ได้มาจากธรรมชาติ และจากการสังเคราะห์ โดยจะเป็นสารประกอบออกไซด์ ซัลไฟด์ ซิลิเกต ฟอสเฟต โครมต และคาร์บอเนตของโลหะหนัก จะให้สีแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ (ดังตัวอย่างแสดงในตาราง 1.2)

ตาราง 1.1 ขนาดของผงสีอนินทรีย์บางชนิด,  $\mu\text{m}$

ผงสี (pigment)	ขนาดของอนุภาค (Particle size, $\mu\text{m}$ )
Iron blue	0.01 - 0.2
Titanium dioxide	0.2 - 0.3
Red iron oxide	0.3 - 4.0
Natural crystalline silica	1.5 - 9.0
Strontium chromate	0.3 - 20.0
Hydrated aluminium oxide	0.4 - 60.0
Micaceous iron oxide	5.0 - 100.0

ที่มา Kirk-Othmer, 1985

ตาราง 1.2 ตัวอย่างผงสีอนินทรีย์

ผงสี	สี	ชื่อ	องค์ประกอบทางเคมี	ชนิด
ธรรมชาติ	ขาว	Magnesium Silicate	$H_2Mg_3(SiO_3)_4$	ผงสีผสมเทียม
		Baryte	$BaSO_4$	“
		Gypsum	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	“
		Silica, quartz	$SiO_2$	“
		Mica	$K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$	“
	เหลือง	Yellow ochre	20-50% $Fe_2O_3$	ผงสี
	น้ำตาลแดง	Sienna	50-70% $Fe_2O_3$	“
สังเคราะห์	ขาว	Titanium dioxide	$TiO_2$	“
		Zinc oxide	$ZnO$	“
	ส้ม-เหลือง	Chrome yellow	$PbCrO_4$ -	“
		Chrome orange	$PbCrO_4 \cdot PbO$	“
		Cadmium orange	$CdS \cdot CdSe$	“
		Cadmium yellow	$CdS (+ZnS)$	“
	แดง	Venetian red	$Fe_2O_3 + CaSO_4$	“
		Red lead	$Pb_3O_4 + PbO$	“
		Cadmium red	$CdS + CdSe$	“
		Mercuric red	$CdS + HgS + ev. BaSO_4$	“
	น้ำเงิน	Iron blue	$FeNH_4Fe(CN)_6$	“
		Cobalt blue	$CaO \cdot Al_2O_3$	“
	เขียว	Chrome oxide green	$Cr_2O_3$	“
	น้ำตาล	Ironoxide brown	$\gamma\text{-}Fe_3O_3$	“
		Metallic brown	$FeO + Silicates$	“
	ดำ	Iron oxide black	$Fe_3O_4$	“

ผงสีอินทรีย์จะประกอบขึ้นจากสารเคมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม Chromophores และกลุ่ม Auxochromes (Kirk-Othmer, 1985) ซึ่งกลุ่ม Chromophores จะเป็นตัวที่จะให้สีออกมาทำให้ตามนุษย์ปกติมองเห็น ได้จากการเรียงตัวของกลุ่มอะตอมของ Chromophores โดยกลุ่มอะตอมเหล่านี้จะทำหน้าที่ดูดกลืนแถบแสงสีไว้มากแถบแสงและปล่อยออกมาบางแถบแสง ทำให้เห็นโทนสี (Hue) ต่างกันไป ในขณะที่กลุ่ม Auxochromes จะเป็นตัวช่วยเสริมกำลังสีให้เข้มขึ้นและช่วยให้สีมีสมบัติยึดติดกับพื้นผิว จากกลุ่มสารเคมีทั้งสองกลุ่มสามารถนำมาพัฒนาสารสีอินทรีย์ได้นับพันชนิด

### 3.1.2 สีย้อม (Dye or dyestuffs)

การจำแนกสีย้อมตามประโยชน์การใช้งาน เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับมาก ทำให้สามารถเลือกสีใช้ได้ตามต้องการและถูกวัตถุประสงค์ของงาน สีย้อมประเภทนี้แบ่งออกได้เป็น 11 ชนิด ด้วยกันดังต่อไปนี้ (มณฑนา พงษ์ไทยพัฒน์, 2533)

ก. สีย้อมด่าง (Basic dyes) เป็นเกลือของสารอินทรีย์ที่เป็นด่าง (Organic base) ละลายในน้ำได้ดี ให้สีสดใส ทนทานต่อแสงแดดและการซักล้างค่อนข้างดี แต่มีราคาถูกที่สุด

ข. สีย้อมกรด (Acid dyes) คือ สีที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดซัลฟูริก เป็นสีที่ย้อมง่ายให้สีสด การย้อมควรทำให้สภาวะที่น้ำย้อมเป็นกรด หรือเป็นกลางมีความคงทนต่อแสง ตั้งแต่ขั้นพอใช้จนถึงดีมาก และคงทนต่อการซักล้างปานกลางถึงดีเยี่ยม

ค. สีไครเร็กซ์ (Direct dyes) เป็นเกลือของกรดที่มีสีเมื่อละลายน้ำแตกตัวเป็นไอออนมีประจุลบ เป็นสีที่ใช้ย้อมได้โดยตรง โดยไม่ต้องใช้สารช่วยติดสี ความทนทานต่อแสงแดดดี

ง. สีมอร์แดนต์ (Mordant dyes) เป็นสีที่ตัวมันเองไม่ติดเส้นใย ต้องใช้ร่วมกับสารเคมีซึ่งทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างเส้นใยกับสี โดยส่วนมากเป็นสารประกอบพวกเกลือของโลหะพวก “โครเมียม” เป็นสารประกอบเชิงซ้อน ที่ไม่ละลายน้ำ

จ. สีกำมะถัน (Sulphur dyes) มีสมบัติไม่ละลายน้ำ สีไม่สด มักจะให้สีมืดทึบและดำ ส่วนใหญ่ใช้ย้อมสีค่าน้ำตาล กรมทำ ทนต่อแสงแดด แต่ไม่ทนต่อการซักฟอกสีด้วยสารประเภทคลอรีน

ฉ. สีแวต (Vat dyes) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ ต้องใช้สารเคมีพวก รีดิวิล์ซึ่งเอเจนท์ที่เหมาะสมมาช่วยทำให้ละลาย สีกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ มีความคงทนที่สุด ปัจจุบันมีการพัฒนาสีแวตให้ละลายน้ำได้ เรียกว่า สีโซลูบิลิซด์แวต (Solubilised vat) มีความทนทานยอดเยี่ยม ให้สีสดใสมาก และเป็นสีที่มีราคาแพงที่สุด

ช. สีอะโซอิก (Azoic dyes) เป็นสีที่ประกอบด้วยสารอะโซ (Azo) จะให้สีแตกต่างกันออกไปในขอบเขตที่กว้าง ตั้งแต่เฉดสีส้มไปจนถึงดำและสีน้ำเงิน สีกลุ่มนี้ติดสีมีความทนทานต่อการซักฟอกสูง แต่ความทนทานต่อแสงแดดและความทนต่อการซักสีมีระดับต่าง ๆ กันตั้งแต่ดีจนถึงเลว



ข. สีคิตเซอร์ส (Disperse dyes) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำแต่จะกระจายตัวเม็ดสีลอยอยู่ในน้ำ ใช้ย้อมในน้ำย้อมธรรมดาได้โดยไม่ต้องใช้สารเคมีอย่างอื่นช่วย นอกจากนี้ใช้สารกระจายตัว (dispersing agent) พวกสบู่ สีมีความทนทานต่อแสงแดดและการซักล้างได้ดีมากจนถึงปานกลาง

ฅ. สีออกซิไดส์ (Oxidation dyes) เป็นสีที่ใช้ย้อมเคลือบเส้นใยโดยไม่เกิดสีก่อน ต่อเมื่อใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็น Oxidising agent ย้อมทับเข้าไปสีจะถูกออกซิไดส์ เกิดเป็นสีสันทันขึ้น

ฉ. สีรีแอคทีฟ (Reactive dyes) คุณสมบัติละลายในน้ำได้ง่ายแล้วดูดติดเส้นใย คงทนต่อการซักล้างได้ดีมาก และให้สีประเภทสีอ่อนได้สดใสดีด้วย

ค. สีมิเนอรัลและพิกเมนต์ (Mineral and pigment dyes) เป็นกลุ่มสีที่ได้จากออกไซด์ของโลหะ ตัวสีเป็นผงละเอียดไม่ละลายน้ำต้องอาศัย ตัวเชื่อมพาให้สีติดแน่นกับเส้นใยได้ดี และทำให้สีสดสวยติดคงทนถาวร มีความคงทนต่อการซักสี แสงแดด กรดและด่างได้ดีมาก

### 3.2 ส่วนที่เป็นสารนำ (Vehicle) หรือสารยึดเกาะ (Binder)

เป็นส่วนที่ทำให้สีน้ำหมึกเหลวโดยช่วยให้ผงสีสามารถกระจายตัว (Disperse) และไม่จับตัวกันเป็นก้อน (Agglomerate) และยังทำหน้าที่ยึดตัวสีไว้ในน้ำหมึก ทำให้น้ำหมึกไม่ระเหยแห้ง และเมื่อพิมพ์ลงบนกระดาษก็ทำหน้าที่เป็นตัวยึดสีให้ติดอยู่กับตัวกระดาษ (นันทา วิชาวุฒิสักดิ์, 2527) สารนำหรือสารยึดเกาะที่ใช้มีหลายชนิด แต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกันดังนี้ (Vanderhoff, 1973)

3.2.1 Non-drying oils พวกนี้เมื่อทาบนพื้นผิวจะดูดซึมเข้าสู่พื้นผิวนั้น ๆ ได้แก่ Petroleum oils ที่ใช้ในน้ำหมึกที่ใช้พิมพ์หนังสือพิมพ์

3.2.2 Drying oils พวกนี้จะแห้งได้โดยทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ได้แก่ Linseed oil

3.2.3 Solvent ผสมกับ Vehicle พวกนี้จะแห้งโดยการระเหย ประกอบด้วย Gums และ Resin ละลายในสารละลาย Hydrocarbon

3.2.4 Glycol ผสมกับ Resin จะแห้งโดยการตกตะกอน (Precipitation) เช่น ในหมึกพิมพ์ Letterpress ที่จะตกตะกอนเมื่อสัมผัสกับกระดาษ

3.2.5 Resin ผสมกับ Oil พวกนี้แห้งโดยการดูดซึมของตัวทำละลายสู่พื้นผิวของเหลือ Resin กับ Oil เป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ บนพื้นผิว

3.2.6 Resin ผสมกับ Wax พวกนี้ที่อุณหภูมิห้องจะแข็งตัว และสามารถทำให้เป็นของเหลวได้โดยการให้ความร้อน ได้แก่ ในน้ำหมึก Cold-set letterpress

3.2.7 Polymer เข้มข้น โดยให้ความร้อน พวกนี้ทำให้น้ำหมึกรวมตัวกันแล้วแห้ง

3.2.8 Vinyl monomers ตัวอย่างเช่น Trifunctional vinyl monomers

3.2.9 Water-base emulsion พวกนี้จะแห้งได้โดยการระเหย เช่น Latex polymer ในตัวกลางที่เป็นน้ำ หรือน้ำกับ Glycol

### 3.3 ตัวทำละลาย (Solvent)

ตัวทำละลาย เป็นของเหลวที่ระเหยได้ ใช้ลดความหนืดขณะผสมสี ปัจจุบันน้ำหมึกแห้งเร็วมาก จึงจำเป็นต้องผสมตัวทำละลายมีก เพื่อให้หมึกที่เก็บอยู่ในภาชนะไม่แข็งตัวแห้งก่อนที่จะพิมพ์ เป็นการควบคุมระยะเวลาแห้งของสีในช่วงแรกของการทา ตัวทำละลายนี้ทำให้ตัวสี ละลายตัวอยู่ตลอดเวลา เมื่อพิมพ์บนกระดาษแล้วตัวทำละลายก็จะระเหยไป หมึกก็จะแห้งได้ ตัวทำละลายมีหลายชนิด สามารถแบ่งเป็นกลุ่มได้ 5 กลุ่ม ดังนี้ (Leach, 1988)

3.3.1 Hydrocarbon solvents ได้แก่ Aliphatic, Naphthenic และ Aromatic hydrocarbon

3.3.2 Alcohols ได้แก่ Methylated spirits, n-propyl alcohol, Isopropyl alcohol, n-butyl alcohol และ Alicyclic alcohols

3.3.3 Glycols ได้แก่ Ethylene, Propylene, Hexylene Diethylene, Dipropylene และ Triethylene glycol เป็นต้น

3.3.4 Ketones ได้แก่ Acetone, Butanone-2, Hexone เป็นต้น

3.3.5 Ester ได้แก่ Ethyl acetate เป็นต้น

### 3.4 ตัวทำให้แห้ง (Drier)

ตัวทำให้แห้ง เป็นตัวเติมที่ใส่ลงในสีเพื่อช่วยให้สีแห้งโดยอาศัยออกซิเจนในอากาศ เมื่อหมึกเกาะบนพื้นผิวแล้วจะต้องแห้งโดยเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพิมพ์โดยเครื่องพิมพ์เร็ว ๆ ถ้าหมึกแห้งช้า ก็จะเลอะกระดาษถัดไปทำให้การพิมพ์เสียหาย การที่หมึกจะแห้งได้เร็วขึ้น ต้องอาศัยปฏิกิริยาเคมี หรือกายภาพหลายอย่าง (Dunn. *et al.*, 1966) เช่น การซึมผ่านพื้นผิว (Absorption) การระเหยของตัวทำละลาย (Solvent evaporation) .การตกตะกอนของยางไม้ (Resin precipitation) การรวมตัวกับออกซิเจน (Oxidation) การรวมตัวของหมึกแล้วแข็งตัว (Polymerization) การใช้ความเย็น (Cold-setting) การเปลี่ยนรูปเป็นเจล (Gelatin) เป็นต้น ตัวทำให้แห้งนี้มีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ ไม่เสื่อมคุณภาพเร็ว สีโดยรวมตัวกับส่วนที่เป็นตัวนำยาง และมีปริมาณโลหะที่ควบคุมได้ ซึ่งที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในหมึกพิมพ์ คือ เกลืออนินทรีย์ (Inorganic salts) และโลหะของกรดอินทรีย์ (Metallic soaps of organic acids) เช่น โคบอลท์ มักใช้ร่วมกับตะกั่ว แมงกานีส แคลเซียม สังกะสี, เหล็ก, ซีเรียม, เซอคอนเนียมและ ลิเทียม เป็นต้น

### 3.5 ตัวทำให้เกิดคุณสมบัติพิเศษ

หมึกที่ใช้พิมพ์หากต้องการให้เกิดคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ จะต้องใช้วัสดุเพิ่มเข้าไปในตัวหมึก เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการนั้น วัสดุที่ใช้ผสมคือ

3.5.1 ยางไม้ (Resin) เป็นส่วนผสมที่ใช้เพื่อทำให้หมึกมันขึ้น และช่วยให้พิมพ์ติดดีขึ้น

3.5.2 Ink compound เป็นวัตถุที่ทำจากขี้ผึ้งหรือไขสบู่หรือน้ำมัน เพื่อให้เกิดคุณภาพในการพิมพ์ได้สะดวกขึ้น สีของหมึกกระจายได้สม่ำเสมอ ตัดความเหนียวของหมึก ป้องกันหมึกที่พิมพ์แล้วจะไปติดกับแผ่นกระดาษด้านบน

3.5.3 วัตถุที่ทำให้ออกซิไดซ์ช้า (Antioxidants) ในกรณีที่หมึกแห้งเร็ว จำเป็นต้องมีวัตถุที่ช่วยไม่ให้หมึกแห้งระหว่างที่หมึกยังอยู่ในภาชนะบรรจุ หรืออยู่ในรางหมึกบนแท่นพิมพ์ วัตถุพวกนี้มี Phenols phrocatechol เป็นพวก Ether, aromatic amines naphthols และ Phenols เป็นต้น

3.5.4 วัตถุระงับกลิ่นและวัตถุสร้างกลิ่น (Deodorants and reodorants) หมึกพิมพ์บางครั้งก็มีกลิ่นที่น่ารังเกียจ เพราะมีส่วนผสมต่าง ๆ อาจให้กลิ่นแรง จึงได้มีการคิดผสมสารเคมีบางอย่างเพื่อขจัดกลิ่นบางกลิ่น และบางครั้งก็เพิ่มกลิ่นหอมเข้าไป

3.5.5 Chelating agents เป็นสารที่ช่วยป้องกัน อีออนของโลหะที่ไม่ต้องการ ซึ่งจะช่วยให้หมึกมีสีที่สดใสสวยงาม นำหมึกเหนียว

3.5.6 Surfactant เป็นสารที่ใส่ไปเพื่อให้หมึกแผ่ตัว แทรกซึมได้เร็วขึ้น

#### 4. การบำบัดน้ำเสียที่มีอนุภาคสี และหมึกพิมพ์เป็นองค์ประกอบ

น้ำเสียที่มีอนุภาคสีปนเปื้อนอยู่มาก ได้แก่ โรงงานย้อมผ้า โรงงานผลิตสี ตลอดจนโรงพิมพ์ต่าง ๆ พบว่าน้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมเหล่านี้ ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำจากสีที่ปนเปื้อนออกมา สีบางชนิดเป็นพิษ มีโครงสร้างซับซ้อนมากมาย ไม่สามารถถูกกำจัดได้ด้วยวิธีทางชีววิทยา (นวลละอ อ เนียมสอิ่ง, 2526) ทำให้มีการสนใจศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีอนุภาคสีปนเปื้อนอยู่ พบว่า กรรมวิธีที่สามารถนำมาใช้ได้มีหลายวิธี เช่น การกำจัดสีโดยใช้วิธี Ozonization หรือ Ultraviolet radiation การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) การใช้ Membrane treatment การใช้วิธีการดูดซับอนุภาคสี (Adsorption) โดยใช้แบคทีเรีย หรือผงถ่าน Chemical oxidation การใช้กระบวนการรวมตะกอน (Flocculation) โดยใช้สารสร้างตะกอน เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธี ก็ให้ประสิทธิภาพ ในการกำจัดอนุภาคสีแตกต่างกันไป ซึ่งได้มีการศึกษาถึงการกำจัดสีมาเป็นเวลายาวนานพอสมควร พบว่า มีการพัฒนาการบำบัดอนุภาคสีด้วยวิธีการต่างๆ อย่างมาก

Robertaccio (1972) พบว่าในการเติมผงถ่านลงในระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ สามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 76

Steven (1975) กล่าวว่า การกำจัดน้ำเสียใน New England มักใช้วิธีการแบบ ฟิสิกส์-เคมี โดยใช้กระบวนการรวมตะกอนโดยสารส้ม การตกตะกอน และ ใช้การกรองถ่านกัมมันต์ ในการกำจัดสี กลิ่น และรส ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้อายุการใช้งานของถ่านมากขึ้น

Porter and Sinder (1976) แสดงให้เห็นว่า การกำจัดสีและCOD ของน้ำเสียจากโรงงานทอผ้า ควรใช้วิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมีตามด้วยการดูดซับด้วยถ่าน

ในปี ค.ศ.1978 Oldham and Rush ได้ทดลองนำเอา  $MgCO_3$  ซึ่งผลิตมาจากตะกอนเลนของน้ำประปามาใช้ในการกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานผลิตกระดาษ พบว่า สามารถลดสีลงไปได้ถึง 90% และตะกอนของแมกนีเซียมที่เกิดขึ้นสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีการอย่างง่าย ๆ โดยที่ประสิทธิภาพในการกำจัดสียังคงเดิม

Ghosh , *et al.* (1978) กล่าวว่า การกำจัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้า เกี่ยวข้องกับสารอินทรีย์ และสี โดยทั่วไปสามารถกำจัดได้โดยการใช้ระบบทางชีววิทยา ร่วมกับระบบฟิสิกส์-เคมี แม้ว่าระบบบำบัดทางชีววิทยา จะสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ดี แต่ไม่สามารถกำจัดสีได้เป็นที่น่าพอใจ กระบวนการดูดซับด้วยถ่านร่วมกับวิธีการรวมตะกอน หรือ กระบวนการดูดซับทางเคมีร่วมกับกระบวนการทางชีววิทยา สามารถกำจัดสีได้

Judkin and Hornsby (1978) ศึกษาการกำจัดสีจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ปูนขาว แมกนีเซียมคาร์บอเนต และแมกนีเซียมคาร์บอเนตร่วมกับปูนขาวเป็นสารสร้างตะกอน โดยทดลองกับสี 3 ประเภท คือ แวด คีตเพอร์ส และซัลเฟอร์ พบว่า การใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนตร่วมกับปูนขาว จะได้ผลดีกว่าใช้สารเคมีชนิดเดียวในการกำจัดสี ยกเว้นสีประเภทซัลเฟอร์

สมคิด วงศ์ชัยสุวรรณ (2525) ศึกษาการกำจัดสีของน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้าย โดยใช้สารสร้างตะกอน 3 ชนิด คือ สารส้ม, ปูนขาว และแมกเนเซียม คาร์บอเนตไฮเดรตเบสิก ( $MCHB, MgCO_2 + H_2O$ ) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำเสียขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อมเป็นสำคัญ สีย้อมที่ไม่ละลายน้ำจะถูกกำจัดได้ง่ายกว่าสีย้อมที่ละลายน้ำได้ดี โดยสารส้มสามารถกำจัดสีได้มากกว่าร้อยละ 70 ขึ้นไปในทุกประเภทสีย้อม ยกเว้น สีย้อมรีเอเจนท์ฟ ปูนขาว มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่ำ ส่วน MCHB มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูง เมื่อไม่มีสารช่วยย้อมเจือปน

Mckay.(1979) กล่าวถึงวิธีการกำจัดสีของน้ำเสียว่า ปัจจุบันไม่มีวิธีการใดที่ดีที่สุด และประหยัดที่สุดในการกำจัดสีของน้ำเสีย น้ำเสียแต่ละชนิดจะมีปัญหาเฉพาะแห่ง ซึ่งจะสามารถแก้ไขได้โดยพิจารณาถึงสภาพคุณสมบัติของน้ำเสียนั้นๆ ในอดีต วิธีการทางชีววิทยาได้ใช้อย่างกว้างขวางสำหรับโรงงานทอผ้า แต่วิธีนี้ยังไม่สามารถกำจัดสีย้อมได้ดี จึงต้องใช้วิธีทางฟิสิกส์-เคมีช่วย

Ruzickova. (1989) ศึกษาการบำบัดน้ำที่มี Pigment และ Dye เป็นองค์ประกอบ โดยใช้ Milk of lime เช่น  $Al_2(SO_4)_3$  และ Activated carbon ซึ่งสามารถลดปริมาณแวนลอย สี BOD<sub>5</sub> และ COD ได้ร้อยละ 93, 92.8, 67 และ 71 ตามลำดับ

Kuo (1992) ศึกษาการกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับเฟอร์รัสซัลเฟต ซึ่งเรียกว่า “เฟนคอน รีเอเจนท์” พบว่า ประสิทธิภาพการ

กำจัดสีข้อม มากกว่าร้อยละ 95 โดยที่เอชที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับประเภทของสีข้อมซึ่งประมาณ 3.5 โดยใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และเฟอร์ริกคลอไรด์ขึ้นกับประเภทของสีข้อม คือ สีข้อมรีแอทีฟใช้ 584 และ 250 มก./ลิตร สีข้อมไครเรทท์ใช้ 292 และ 83 มก./ลิตร สีข้อมเอซิดใช้ 875 และ 500 มก./ลิตร สีข้อมเบสิกใช้ 292 และ 500 มก./ลิตร สีข้อมดิสเพอร์สใช้ 292 และ 333 มก./ลิตร

Koprivanac, et al. (1993) ศึกษาการกำจัดสีข้อมรีแอทีฟ โดยใช้สารสร้างตะกอนเป็นสารอินทรีย์ประจุบวกเปรียบเทียบกับเฟอร์ริกคลอไรด์และใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวปรับที่เอช พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสของเฟอร์ริกคลอไรด์ เท่ากับ 72% ที่ที่เอช 2.5 และสารอินทรีย์ประจุบวกประมาณเกือบ 100% ที่ที่เอช 7 โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะลดประสิทธิภาพของการกำจัดสี และในการกำจัดสีข้อมรีแอทีฟ อุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรเกิน 30 องศาเซลเซียส

วไลพร วณิชชวีโรดม (2536) ศึกษาการบำบัดสีของน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ประเภทสิ่งทอ โดยขบวนการดูดซับด้วยแอกติเวเต็ดคาร์บอน โดยทำการทดลองที่ค่าอัตราน้ำล้นผิว (Overflow rate) 1.17, 2.34 และ 4.68 gpm/ft<sup>2</sup> พบว่าที่อัตราน้ำล้นผิวต่ำ ประสิทธิภาพในการดูดซับสี COD มีค่าสูง

## 5. การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการรวมตะกอนและลอยตะกอน

### 5.1 การรวมตัวของตะกอน

ในน้ำเสียโดยทั่วไปจะมีสิ่งสกปรกที่มีขนาดเล็กมากเป็นตะกอนแขวนลอยปนเปื้อนอยู่ ทำให้น้ำเสียขุ่น อนุภาคเหล่านี้ไม่สามารถจมตัวได้ด้วยน้ำหนักของตัวเอง หรือสามารถทำได้แต่ใช้ระยะเวลายาวนานมาก เนื่องจากขนาดของอนุภาคและแรงผลึกกันเนื่องจากประจุรอบ ๆ อนุภาคนั้นเอง ความเร็วในการจมตัวของอนุภาคขนาดเล็ก ๆ เป็นไปตาม Stoke's law (Stokes, 1891)

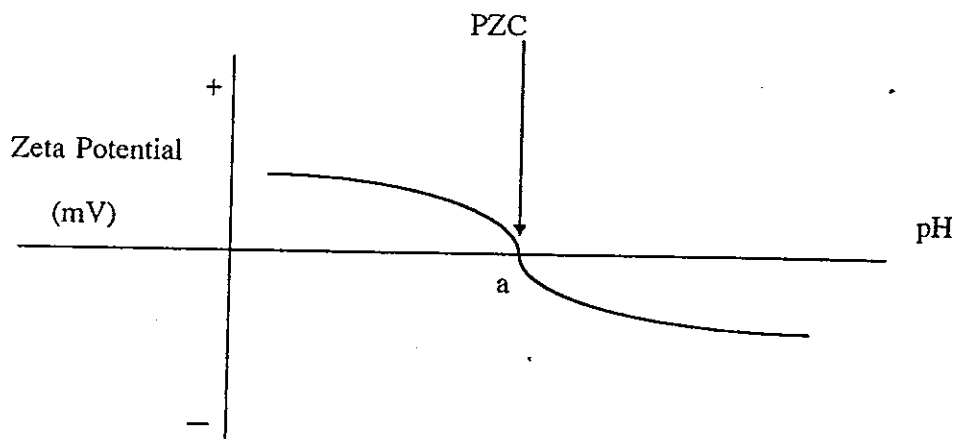
$$V_t = \frac{g (\rho_s - \rho) d^2}{18\mu}$$

- เมื่อ  $V_t$  คือ ความเร็วในการจมตัวของอนุภาค (ชม./วินาที)  
 $g$  คือ ความเร่งของแรงดึงดูดของโลก (981 ชม./วินาที<sup>2</sup>)  
 $\rho_s$  คือ ความหนาแน่นของอนุภาค (กรัม/ซม<sup>3</sup>)  
 $\rho$  คือ ความหนาแน่นของน้ำ (กรัม/ซม<sup>3</sup>)  
 $\mu$  คือ ความหนืดของน้ำ (กรัม/ชม./วินาที)  
 $d$  คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค (ชม.)

จากกฎดังกล่าว จะเห็นว่า เมื่อขนาดของอนุภาคโตขึ้น ความเร็วในการจมตัวของอนุภาค จะเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้น เมื่อต้องการกำจัดอนุภาคแขวนลอยขนาดเล็กที่มีอยู่ในน้ำเสีย สามารถทำได้โดยการทำให้อนุภาคเหล่านั้น เกาะกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น เรียกว่า ฟล็อก (Floc) และขบวนการทำให้อนุภาคเกาะกันนี้ เรียก Flocculation หรือกระบวนการรวมตะกอนนั่นเอง

### 5.1.1 คุณสมบัติของอนุภาคแขวนลอย

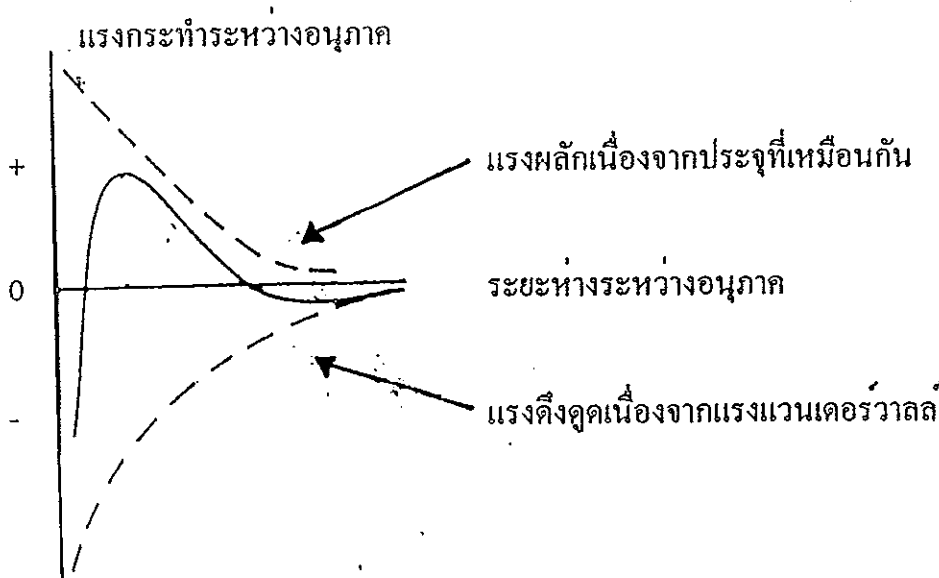
อนุภาคในน้ำตามธรรมชาติ จะมีชั้นประจุไฟฟ้าเคลือบอยู่รอบ ๆ ผิวของอนุภาคหรือเรียกว่า Electrical double layer การเกิดประจุไฟฟ้านี้จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าอนุภาคนั้น ๆ มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกหรือลบ ค่าศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคจะขึ้นกับประจุบวกและลบที่อยู่ในน้ำ ( $H^+$  หรือ  $OH^-$ ) หรือค่าพีเอชนั่นเอง ถ้าน้ำมีค่าพีเอชต่ำ จะมี  $H^+$  ในน้ำมาก ทำให้อนุภาคมีประจุที่ผิวเป็นบวก ในขณะที่น้ำมีค่าพีเอชสูงจะมี  $OH^-$  ในน้ำมาก ทำให้อนุภาคมีประจุที่ผิวเป็นลบ การที่จะทราบว่าอนุภาค มีประจุที่ผิวเป็นบวกหรือลบนั้น อาศัยกราฟ Zeta potential ซึ่งเป็นการวัดค่าที่เทียบเท่ากับ ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาค (ดังแสดงภาพประกอบที่ 1.4) จะเห็นว่าเมื่อค่าพีเอชต่ำ ๆ อนุภาคจะมี ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวเป็นบวก เมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นศักย์ไฟฟ้าที่ผิวเป็นบวก น้อยลง จนเท่ากับศูนย์ที่พีเอช หนึ่ง เราเรียกค่าพีเอชจุดนี้ว่า Point of zero charge, PZC เมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นไปอีกศักย์ไฟฟ้าที่ผิว ของอนุภาคจะเริ่มเป็นลบ และเป็นลบมากขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบ 1.4 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารชนิดหนึ่ง

### 5.1.2 เสถียรภาพของอนุภาคแขวนลอย (Stability of colloid)

อนุภาคนั้นถือว่ามีเสถียรภาพ เมื่อสามารถดำรงสถานะแขวนลอยอยู่ในน้ำได้โดยไม่ตกตะกอน เมื่อทำให้อนุภาคแขวนลอยตกตะกอน และแยกตัวออกจากร้านั้น ก็ถือว่าเสถียรภาพของอนุภาค ถูกทำลาย ด้วยเหตุนี้ เสถียรภาพของอนุภาค จึงขึ้นอยู่กับแรงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาค ศักย์ไฟฟ้ารอบ ๆ อนุภาคทำให้เกิดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิตระหว่างอนุภาคด้วยกัน ในขณะที่เดียวกันเมื่ออนุภาคที่อยู่ใกล้กันจะมีแรงดูดที่ เรียกว่า แรงวานเดอร์วาลส์ อนุภาคจะเกาะติดกันได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับว่า แรงผลัก หรือแรงดูดอย่างไรจะมีแรงมากกว่ากัน ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาค แรงผลักต้องมากกว่าแรงดูด อนุภาคจึงจะมีเสถียรภาพอยู่ได้ ถ้าแรงดูดมากกว่าแรงผลัก อนุภาคต่างๆสามารถจับตัวกันได้ ทำให้อนุภาคแขวนลอยนั้น ไม่มีเสถียรภาพ (ดังแสดงภาพประกอบ 1.5) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในนามของ กฎของ DLVO (Deraguin, and Landau, 1941 และ Verwey and Overbeek, 1948)



ภาพประกอบ 1.5 แสดงแรงกระทำระหว่างอนุภาค ที่ระยะห่างต่างๆ

### 5.1.3 การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคแขวนลอย

การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคแขวนลอย มีกลไก 4 แบบ คือ (มันลีน คัทซูลเวสตัน, 2538)

5.1.3.1 ลดความหนาของชั้นประจุ (Electrical double layer compression) ชั้นประจุไฟฟ้ารอบ ๆ อนุภาค ถ้ามีความหนามาก ศักย์ไฟฟ้าจะมาก เมื่อสามารถลดความหนาของชั้นประจุจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าลดลง และแรงผลักระหว่างอนุภาคจะลดลงด้วย สามารถทำได้โดยเติมเกลือของโลหะที่มีประจุตรงข้ามกับอนุภาคลงไป เช่น เกลือแกง ( $\text{Na}^+$ ) ปูนขาว ( $\text{Ca}^{2+}$ ) หรือสารส้ม ( $\text{Al}^{3+}$ ) เป็นต้น (Verwey and Overbock, 1948; Van Olphen, 1963; พิษณุ บุญนวล, 2537) โดยที่ ไม่ว่าจะเติมอออน บวกมากเพียงใด จะไม่สามารถทำให้อนุภาค เปลี่ยนประจุไฟฟ้าไปเป็นประจุตรงข้ามกับอนุภาคได้ (Charge reversal)

5.1.3.2 การดูดซับและทำลายประจุของอนุภาคแขวนลอย (Adsorption and charge neutralization) สารเคมีบางหมู่ สามารถดูดซับบนผิวของอนุภาคแขวนลอยได้ ถ้าสารเหล่านั้น มีประจุไฟฟ้าตรงข้ามกับอนุภาค ซึ่งจะมีผลในทางลดอำนาจศักย์ไฟฟ้า และทำลายเสถียรภาพของอนุภาค กลไกแบบดูดซับสามารถทำให้อนุภาค เปลี่ยนประจุไฟฟ้าไปเป็นประจุตรงข้ามกับอนุภาคได้ โดยการเติมสารเคมีนั้นในปริมาณมาก

5.1.3.3 การห่อหุ้มอนุภาคแขวนลอย ไว้น้ำมันที่สร้างขึ้น (Sweep coagulation) เป็นการเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไป น้ำ ปริมาณที่เพียงพอจะมีการตกผลึกอย่างรวดเร็ว อนุภาคอาจเป็นแกนในของผลึก ทำให้ผลึกมีขนาดใหญ่ หรือจับตัวกับผลึก ทำให้อนุภาคมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากขึ้น ทำให้สูญเสียเสถียรภาพและตกตะกอน

5.1.3.4 การก่อก้อนด้วยสารโพลีเมอร์ เป็นสารสร้างตะกอนชนิดหนึ่ง โพลีเมอร์ที่ใช้จะต้องเป็นพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (ประมาณ 1-20 ล้าน) ซึ่งมีลักษณะเป็นโซ่ยาว อาจมีกิ่งก้านสาขาบ้างแล้วแต่ชนิดของโพลีเมอร์ โพลีเมอร์จะจับยึดอนุภาคเข้าด้วยกันทำให้เกิดฟลอคขึ้น ซึ่งการก่อก้อนด้วยสารโพลีเมอร์นี้ จะทำให้เกิดฟลอคขึ้นโดยไม่ต้องคำนึงถึงว่าอนุภาคมีแรงผลักระหว่างประจุน้อยเพียงใด อย่างไรก็ตามสามารถแบ่งเป็นโพลีเมอร์ตามประจุที่ผิวเป็น 3 ชนิด คือ ประเภทไร้ประจุ (Nonionic polymer) ประเภทมีประจุเป็นลบ (Anionic polymer) และประเภทมีประจุเป็นบวก (Cationic polymer) ทั้งนี้โพลีเมอร์ชนิดไร้ประจุจะเกาะกับอนุภาคโดยใช้พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) ใช้ได้กับอนุภาคใด ๆ ก็ได้ ส่วนโพลีเมอร์ชนิดประจุบวกและลบ จะใช้ได้กับอนุภาคที่มีประจุตรงข้าม



#### 5.1.4 ประสิทธิภาพของการรวมตะกอน

การที่ ตะกอนจะเกิดขึ้นและคงอยู่ได้ขึ้นอยู่กับ

##### 5.1.4.1 ปัจจัยทางด้านเคมี

ก. สารสร้างตะกอน (Coagulant) ชนิดและปริมาณของสารสร้างตะกอน จะต้องทำการหาในห้องทดลอง เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการรวมตะกอนที่ดีที่สุด

ข. พีเอช (pH) ค่าพีเอชที่เหมาะสมแก่การรวมตะกอน คือ ค่าพีเอช ที่ใกล้เคียงกับ PZC คือ ค่า พีเอช ที่อนุภาคมีศักย์ไฟฟ้าที่ผิวน้อยที่สุดหรือ ไม่มีเลย ทำให้อนุภาคสามารถเกาะกันได้ โดยแรงวานเดอร์วาล์ ในกรณีที่อนุภาคแตกต่างกัน และค่าพีเอช ที่สัมพันธ์กับ PZC แตกต่างกัน จะต้องปรับพีเอช ให้อยู่ในช่วงกลาง ๆ ก็จะทำให้อนุภาคสามารถเกาะกันได้

ค. อุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิมิผลต่อปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งการรวมตะกอนเป็นปฏิกิริยาทางเคมีอย่างหนึ่ง ที่อุณหภูมิต่ำ จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่ำลง และที่อุณหภูมิสูงจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเร็วขึ้น

##### 5.1.4.2 ปัจจัยทางด้านฟิสิกส์

ก. การชนกันระหว่างอนุภาค (Collision) การที่อนุภาคจะรวมเป็นตะกอนได้ ต้องอาศัยการชนของอนุภาค โดยปกคืออนุภาคเล็ก ๆ จะเดินโดยตนเองจาก Brownian movement และชนกันได้มากขึ้น เมื่อมีการช่วยด้วยการกวน ซึ่งพบว่า การกวนที่ทำให้การรวมตะกอนดีที่สุด คือ อัตราเร็ว 1000 รอบ/นาที (Bunnaul, 1993)

ข. ความเข้มข้นของอนุภาคในสารแขวนลอย ในกรณีที่ในสารแขวนลอยมีจำนวนอนุภาคน้อย โอกาสที่จะชนกันของอนุภาคก็จะมีน้อย ในขณะที่ถ้ามีจำนวนอนุภาคมาก โอกาสชนกันมากเกิดฟล็อกได้ง่ายกว่า

ค. ความเร็วในการจมตัวของอนุภาค (Floc settling rate) ขนาดของอนุภาคจะต้องโตพอที่จะจมตัวลง ให้เร็วกว่าความเร็วของน้ำที่ล้นออกจากถังตะกอน เพราะถ้าไม่พออนุภาคจะถูกพัดไปกับน้ำล้นด้วย ทำให้น้ำล้นขุ่น

ง. อัตราการเติมสารสร้างตะกอน ซึ่งจะต้องสัมพันธ์กับอัตราการกวน ในจุดหนึ่ง จะทำให้เกิดอัตราการรวมตะกอนที่ดีที่สุด

## 5.2 การลอยตะกอน (Flotation)

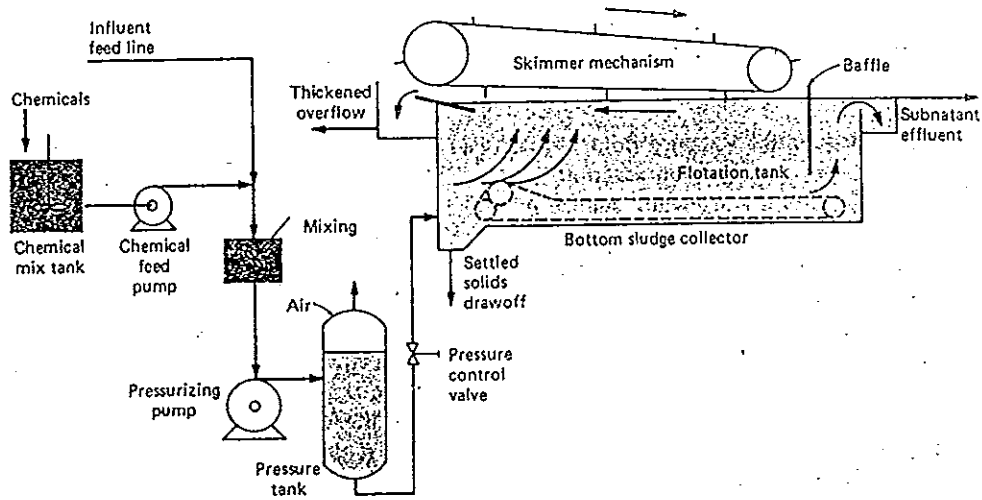
ระบบนี้มีหลักการคือ แยกตะกอนออกจากน้ำเสียด้วยวิธีทำให้ตะกอนต่างๆในน้ำเสียนลอยขึ้นสู่บริเวณชั้นบนของคิวน้ำ เพื่อทำการกวาดตะกอนลอยทิ้งออกไป ซึ่งวิธีการทำให้ตะกอนลอยขึ้นมา มีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีดังนี้

### 5.2.1 การลอยด้วยอากาศละลาย (Dissolved-air-flotation)

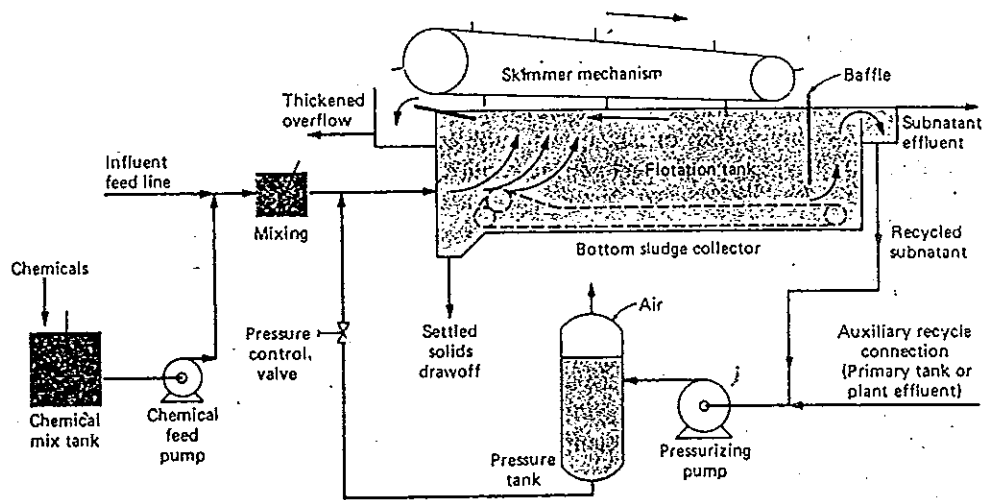
หลักการของวิธีนี้คือเป่าอากาศลงไปใต้น้ำเสียภายใต้ความดันสองถึงสามบรรยากาศ จากนั้นจึงปล่อยความดันให้เข้าสู่สภาวะของความดันบรรยากาศ (ดูภาพประกอบ 1.6) วิธีนี้มีอยู่ 2 ระบบ คือ ระบบไม่มีการหมุนเวียนและระบบมีการหมุนเวียน

ระบบไม่มีการหมุนเวียน ความดันภายในถังความดันมีประมาณ 40-70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2539 และ Eckenfelder, 1989) ซึ่งให้เวลาในการกักเก็บน้ำในถังความดันประมาณ 2-4 นาที เพื่อปล่อยโอกาสให้อากาศละลายอยู่ในน้ำ จากนั้นจึงปล่อยน้ำออกจากถังความดันไปยังถังลอยตะกอน โดยมี Pressure reducing valve (PRV) เพื่อควบคุมความดันน้ำที่ไหลเข้าสู่ถังลอยตะกอน ซึ่งจะมีฟองอากาศจำนวนมากลอยอยู่ทั่วทั้งถัง ระบบนี้นิยมใช้กับน้ำที่มีตะกอนชนิดไม่แตกง่าย (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2539)

ระบบมีการหมุนเวียน ระบบนี้นิยมใช้กับน้ำที่มีตะกอนชนิดเปราะแตกง่าย ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะทำให้น้ำตะกอนไหลเข้าสู่ถังความดันโดยตรง เพราะตะกอนอาจแตกกระจายไป ลักษณะการทำงานของระบบนี้คือ จะนำน้ำจากถังลอยตะกอน ไปยังถังความดันแล้วจึงปล่อยออกไปรวมกับน้ำที่จะเข้าสู่ระบบ (Influent) เพื่อนำไปปล่อยเข้าสู่ถังลอยตะกอน สำหรับแยกตะกอนออกจากน้ำเสียต่อไป



ก



ข.

ภาพประกอบ 1.6 แสดงกระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลาย

ก. ระบบไม่มีการหมุนเวียน

ข. ระบบมีการหมุนเวียน

ที่มา: Eckenfelder, 1989

### 5.2.2 การลอยตัวด้วยอากาศ (Air flotation)

หลักการของวิธีนี้คือ การเติมอากาศหรือเป่าอากาศลงในน้ำเสียโดยตรง ณ ความดันบรรยากาศ ในการเป่าอากาศจะทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของฟองอากาศประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ได้นำพาตะกอนต่างๆลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ จากนั้นพวกตะกอนที่ลอยขึ้นมา จะถูกกวาดทิ้งออกไป (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539) วิธีลอยตัวด้วยอากาศนี้ ไม่เป็นที่นิยมใช้ในการแยกตะกอนต่างๆออกจากรน้ำเสีย เพราะประสิทธิภาพในการแยกตะกอนมีค่ามาก เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีแรก

### 5.2.3 การลอยตัวด้วยสุญญากาศ (Vacuum flotation)

หลักการของวิธีนี้คือ พยายามเป่าอากาศลงในน้ำเสียจนถึงจุดอิ่มตัว ซึ่งมีอยู่ 2 วิธีคือ เป่าอากาศลงในน้ำเสียโดยตรง หรือ ปลอ่ยให้อากาศเข้าไปในเครื่องสูบน้ำเอง ระบบนี้จะใช้ถังปิด ซึ่งจะเก็บน้ำที่ถูกเป่าอากาศลงไปจนถึงจุดอิ่มตัว ขณะที่ภายในถังจะมีสภาพเป็นสุญญากาศ ดังนั้นจะถูกเปิดออกโดยใช้วาล์วเป็นตัวควบคุม พวกอากาศที่ละลายอยู่ในน้ำจะแยกออกมาจากน้ำในลักษณะของฟองอากาศเล็กๆ ฟองอากาศเหล่านี้ จะพาตะกอนต่างๆในน้ำเสียลอยขึ้นมาบนผิวน้ำ ซึ่งสามารถแยกออกจากน้ำได้โดยการกวาดและหรือการสูบออก

## 5.3 การใช้กระบวนการรวมตะกอนบำบัดมลสารในน้ำทิ้ง

Wayne and Thomas (1972) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการพิมพ์ผ้าในสหรัฐอเมริกา โดยใช้สารสร้างตะกอน 3 ชนิด ได้แก่ เฟอรัสซัลเฟต สารส้ม เฟอรัลคลอไรด์ และแยกตะกอนโดยการลอยด้วยอากาศละลาย พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าร้อยละ 98

ผลการทดลองของ U.S. Environmental Protection Agency (1978) ได้สรุปว่า สารส้มสามารถกำจัดสีของน้ำทิ้งอันเกิดมาจากการเจือปนของสีข้อมแวต ซัลเฟอร์ ดิสเพอร์ส ได้เป็นผลดี แต่ไม่ได้มีการกล่าวถึงสารเคมีตัวอื่น ๆ ที่น่าจะนำมาใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชันได้ เป็นต้นว่าปูนขาวหรือ เฟอรัลคลอไรด์ เป็นต้น

Beszedits, Lugowaki and Miyamoto (1979) ศึกษาการกำจัดสีจากโรงงานข้อมผ้า โดยใช้ลูมิเนียมซัลเฟต เกลือของเหล็ก โพลีเมอร์ชนิดต่าง ๆ ทั้งประจุบวก ลบ และไม่มีประจุเป็นตัวบำบัดในกลุ่มสีแวต ดิสเพอร์สและซัลเฟอร์ พบว่า สามารถลดสีได้ถึงร้อยละ 75-90 โดยขึ้นกับปริมาณสารสร้างตะกอน และพีเอชที่เหมาะสม จากการทดลอง พบว่า โพลีเมอร์ประจุลบ ไม่มีประสิทธิภาพในการใช้เป็นสารสร้างตะกอน แต่ประจุบวกจะเหมาะสม สารส้มสามารถลดสีได้ถึงร้อยละ 90 และถ้าใช้โพลีเมอร์ร่วมด้วยจะสามารถลดสีได้ถึงร้อยละ 92-96

Henry *et.al.*(1987) ได้แสดงผลการกำจัดสีข้อมในน้ำเสียฟอกข้อมผสมโดยการทำ  
 จารท์ด้วยสารส้มอย่างคิ้ว สารส้มกับปูนขาว เฟอร์รัสซัลเฟตอย่างคิ้ว เฟอร์รัสซัลเฟตกับปูน  
 ขาว พบว่า สามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 97.6, 97.6, 96.1 และ 99.1 ตามลำดับ โดยใช้ปริมาณสารส้ม  
 อย่างคิ้ว 600 มก./ลิตร สารส้ม 40 มก./ลิตร กับปูนขาว 5000 มก./ลิตร เฟอร์รัสซัลเฟต อย่างคิ้ว  
 2000 มก./ลิตร และเฟอร์รัสซัลเฟต 2600 มก./ลิตร กับปูนขาว 5000 มก./ลิตร

กฤษณ์ ถาวรวงศ์ (2530) ศึกษาการกำจัดสีของน้ำเสียจากกองขยะโดยใช้ขบวนการทาง  
 เคมี โดยสารเคมีที่ใช้คือ ปูนขาว, เฟอร์ริกคลอไรด์ และสารส้ม จากการวิจัยสรุปว่า การกำจัดสีของ  
 น้ำเสียจากกองขยะด้วยการใช้สารส้ม ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุด และมีความสะดวกใน  
 การนำไปใช้ เนื่องจากไม่ต้องทำการปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเสียก่อน

Rana and Palria (1987) ศึกษาการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าโดยใช้สารสร้าง  
 ตะกอน 3 ชนิด คือ สารส้ม,  $MgCO_3$  และ Activated charcoal พบว่า ความสามารถในการลดสีของ  
 สารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด เป็นร้อยละ 86, 45 และ 60 ตามลำดับ และลด COD ได้ร้อยละ 15, 25  
 และ 30 ตามลำดับ

Mamontova and Klimenko (1988) ได้ทำการศึกษาการบำบัดสีจากน้ำเสียโรงงานย้อม  
 ผ้า พบว่า วิธีการบำบัดทางฟิสิกส์-เคมีที่ดีที่สุดคือการใช้สารสร้างตะกอนที่มีส่วนประกอบเป็นแร่  
 ธาตุ (mineral coagulants) ซึ่งในประสิทธิภาพในการกำจัด 60-70% แต่ต้องควบคุมระดับพีเอชให้  
 เหมาะสม

Livke, Ostrovka and Gendruseva (1989) ทำการศึกษาการกำจัดสีน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้า  
 ประเภทสีนินดินที่มีความเข้มข้นของสีสูงในการบำบัดขั้นตติยภูมิ โดยใช้เฟอร์ริกซัลเฟต ( $FeSO_4$ )  
 เป็นสารสร้างตะกอน พบว่า หากใช้ปริมาณสาร 700-800 มก./ลิตร จะสามารถลดสีได้ร้อยละ 55-60  
 และลดCODได้ร้อยละ 40-48 โดยระดับพีเอชที่เหมาะสมประมาณ 10

Liu and Go (1991) ศึกษาการกำจัดสีจาก Dyeing wastewater ซึ่งมีสีข้อมประเภท  
 Cationic, Reactive และ Sulfide โดยใช้ ปูนขาว เป็นสารสร้างตะกอน พบว่า ประสิทธิภาพในการ  
 กำจัด COD และสีเป็นร้อยละ 70-90 และ 95 ตามลำดับ

Nhuphan (1992) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสีจากโรงงานฟอกยีนส์ โดยใช้เฟอร์รัสซัล  
 เฟต, เฟอร์ริกซัลเฟตร่วมกับ โพลีเมอร์ โดยทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ แล้วนำผลการทดลองมาใช้  
 กับน้ำเสียที่เกิดจากการฟอกยีนส์จริง พบว่า ปริมาณสารเคมีที่ใช้ทดลองกำจัดสีจากน้ำเสีย  
 สังเคราะห์และน้ำเสียจริงมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีใกล้เคียงกัน และโพลีเมอร์มีส่วนเพิ่มประ  
 สิทธิภาพในการกำจัดสี จากผลการทดลองในน้ำเสียจริง เมื่อใช้เฟอร์รัสซัลเฟตอย่างคิ้ว เฟอร์รัส

ซัลเฟตกับโพลิเมอร์ เฟอร์ริกซัลเฟตอย่างเดียว เฟอร์ริกซัลเฟตกับโพลิเมอร์ สามารถคลอรีนได้ร้อยละ 95.5, 98, 94 และ 95 ตามลำดับ โดยระดับพีเอชที่ปรับให้เหมาะสมประมาณ 10

เขาวรศ อายุวัฒนะ และคณะ (2536) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมพิมพ์ผ้า โดยใช้สารรวมตะกอน 3 ชนิด ได้แก่ สารส้ม, เฟอร์ริกคลอไรด์ และเฟอร์ริซัลเฟต พบว่า สารสร้างตะกอนที่เหมาะสม คือ สารส้มในปริมาณ 0.909 กรัมค่อน้ำเสีย 1 ลิตร เมื่อนำไปทดสอบกับการบำบัดด้วยระบบการลอยด้วยอากาศละลายโดยเปลี่ยนค่าความดัน พบว่า ที่มีความดันสูงสุดที่ใช้ทดสอบ คือ 67 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สามารถลดค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย, COD และ BOD ได้เท่ากับ 40%, 78% และ 73% ตามลำดับ

Yana and Liu (1993) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการพิมพ์และการย้อม โดยใช้ Polyferroaluminium เป็นสารสร้างตะกอน ซึ่งประกอบด้วย  $Al_2O_3$  และ  $Fe_2O_3$ , พบว่า สามารถคลอรีนและ COD ได้ร้อยละ 87 และ 90.5

Qiu and Zhanta (1994) ศึกษาการใช้ Inorganic polymeric coagulant ในการบำบัดสีจากโรงงานย้อมผ้า และจากโรงงานสีย้อม พบว่า ในการบำบัดสีย้อมประเภท ไคเรทท์ และ ดิสเพอร์ส สามารถคลอรีนได้มากกว่าร้อยละ 90 ที่ระดับพีเอช เท่ากับ 4-8

Chen (1995) ศึกษาถึงสารสร้างตะกอนชนิดใหม่ที่เป็น Cationic polyelectrolyte ที่ชื่อว่า MGS โดย MGS ก็คือ Dicyandiamide, HCHO และ Thiourea เข้มข้น พบว่าที่ระดับพีเอชเท่ากับ 10 สามารถบำบัดสีน้ำได้เกือบ 100%

## 6 กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Carbon adsorption)

### 6.1 กระบวนการดูดซับ (Adsorption)

กระบวนการดูดซับเป็นการใช้สารเคมีที่อำนาจในการดูดโมเลกุลให้มาติดผิวได้ สารดังกล่าวเรียกว่าสารดูดซับ (Adsorbent) และอนุภาคที่ถูกดูดมาให้ติดผิวสารดูดซับคือ สารที่ถูกดูดซับ (Adsorbate) สารดูดซับมีทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ ถ่านกระชุก ถ่านกัมมันต์ ซิลิกาเจล (Silica gel) เป็นต้น

รูปแบบของการดูดซับเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะคือ การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) โดยการดูดซับทางกายภาพ เกิดจากที่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างพื้นผิวของสารดูดซับกับอนุภาคของสารดูดซับมีมากกว่าพลังงานจลน์ของอนุภาคนั้น อนุภาคก็จะเกาะติดกับพื้นผิวของสารดูดซับด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Wall's Force) ส่วนการดูดซับทางเคมี เกิดจากการสร้างพันธะเคมีระหว่างพื้นผิวของสารดูดซับกับอนุภาคของสารที่ถูกดูดซับ (Treybal, 1981)

## 6.2 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

ถ่านกัมมันต์ เป็นถ่านที่ผลิตขึ้นให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ประมาณ 600-1,000 ตร.ม (มันสิน ตันกุล เวศน์, 2538) นอกจากนี้พื้นที่ผิวยังมีรูพรุน ซึ่งภายในมีอิเล็กตรอนอิสระ ที่พร้อมจะแลกเปลี่ยนประจุ และยึดเหนี่ยวโมเลกุลของสาร ได้เป็นอย่างดี (ตำรงค์ ชุมมมงคล และอภิสิทธิ์ เจริญกุล, 2533) วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ให้เป็นถ่านกัมมันต์มีหลายชนิด เช่น กะลามะพร้าว กระจุกถั่ว ถ่านหินและเปลือกผลไม้บางชนิด ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับได้ทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ได้แก่ สี กลิ่น รส กลอรีนในน้ำ โลหะหนักชนิดต่างๆ ยาฆ่าแมลง ผงซักฟอก รวมถึงสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วย

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้กันในปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะที่ปรากฏคือชนิดผง (Power activated carbon; PAC) และชนิดเกล็ด (Granular activated carbon; GAC) ถ่านชนิดผงมีขนาดประมาณ 10-50 ไมครอน ส่วนใหญ่ใช้ในการกำจัดกลิ่นและรสในน้ำ มีปริมาณความเข้มข้นของสารที่ต้องการกำจัดไม่สูงมากนัก แต่ถ้าต้องการน้ำที่มีความบริสุทธิ์มากจะต้องใช้ถ่านปริมาณมาก ไม่คุ้มค่าสำหรับถ่านชนิดเกล็ด มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของทรายหยาบ และการใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด มีลักษณะคล้ายกับการใช้ทรายในการกรองน้ำ คือต้องมีการบรรจุลงในถังและปล่อยให้ น้ำไหลผ่านถ่านที่ผ่านการใช้ และเสื่อมคุณภาพ สามารถนำกลับไปฟื้นฟูใหม่ (Regenerate) ได้

## 6.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

### 6.3.1 ขนาด และพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดเล็ก จะมีอัตราการดูดซับเร็วกว่า ดังนั้นถ่านชนิดผงจึงมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าชนิดเม็ด สำหรับพื้นที่ผิวมีความสำคัญโดยตรงกับขีดความสามารถในการดูดซับ นั่นคือ คาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลสารได้มากกว่าคาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวน้อย

### 6.3.2 สมบัติของสารที่ดูดซับ

สารที่มีความสามารถในการละลายสูงจะถูก ดูดซับบนถ่านได้น้อย และ การดูดซับจะเกิดได้ดีที่สุด เมื่อขนาดโมเลกุลสารถูก ดูดซับเล็กกว่าขนาดของรูพรุนเล็กน้อย และ โมเลกุลที่มีโครงสร้างเป็นกิ่ง (Branched chain) จะถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่เป็นโซ่ตรง (Straight chain)

### 6.3.3 ค่าพีเอช

การดูดซับขึ้นกับความเป็นขั้วของพื้นผิวคาร์บอนเช่น เมื่อพีเอชลดลง ส่งผลให้เกิด ไฮโดรเนียมไอออน ( $H_3O^+$ ) ที่พื้นผิวคาร์บอนเพิ่มขึ้น ทำให้การดูดซับไอออนลบเกิดได้มากขึ้น (Ford, 1981)

### 6.3.4 อุณหภูมิ

การเพิ่มอุณหภูมิ จะทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยัง รูพรุนของถ่านเร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นผิวของถ่านอ่อนลง (Broughton, 1981)

#### 6.4 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ กำหนดการนำไปใช้งาน มีดังนี้

6.4.1 ค่าไอโอดีน (Iodine number) หมายถึงจำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ 1 กรัม เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนหลังจากถูกดูดซับ และผ่านการกรองแล้วเป็น 0.02 นอร์มอล (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532) ซึ่งเป็นการวัดปริมาณรูพรุนที่สามารถดูดซับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ แสดงถึงสมรรถนะของคาร์บอนในการกำจัดสารที่มีโมเลกุลเล็ก(มันดิน ดัชนีทุลเวสม์, 2538) ตามมาตรฐานของ AWWA กำหนดค่าของไอโอดีนไม่ต่ำกว่า 500 มิลลิกรัมไอโอดีนต่อกรัมถ่านกัมมันต์ (AWWA, 1991)

6.4.2 ขนาด พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนของถ่าน เป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดซับ วัสดุถ่านที่มีพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนมาก จะทำให้มีความสามารถในการดูดซับมากตามไปด้วย สำหรับขนาดของถ่านสามารถตรวจสอบจากการใช้ตะแกรงร่อน (Sieve analysis) เพื่อคัดขนาดของเม็ดถ่านก่อนที่จะนำไปใช้งาน

6.4.3 ปริมาณร้อยละของเถ้า (Ash percent) แสดงถึงกากของถ่านกัมมันต์ ว่ามีปริมาณมากหรือน้อยเพียงใด

6.4.4 ตัวเลขโมลาสเสส (Molasses number) เป็นตัวกำหนดความสามารถของถ่านในการดูดซับสารที่น้ำหนักโมเลกุลสูง

6.4.5 ตัวเลขความทนทานต่อการขัดสี (Abrasion number) เป็นค่าที่ใช้ในการประเมินความคงทนหรือ ความต้านทานของอนุภาคคาร์บอนที่ถูกการขัดสี

6.4.6 ตัวเลขแทนนิน (Tannin number) เป็นค่ากำหนดความสามารถของถ่านในการดูดซับสารที่เกิดจากการย่อยสลายของพืช

6.4.7 ตัวเลขฟีนอล (Phenol number) เป็นการวัดค่าความสามารถในการดูดซับกลิ่นและรสในสารละลาย

6.4.8 ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการปรับคืนสภาพของถ่าน (วิลโพร วณิชย์วิโรคม, 2536)

#### 6.5 การศึกษาระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

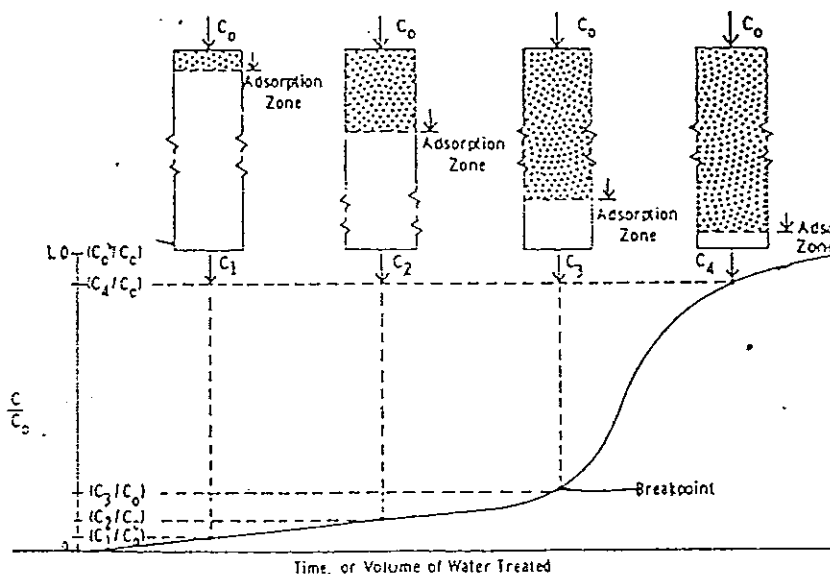
6.5.1 การหาความสามารถในการดูดซับของถ่าน (Adsorption capacity) การที่ผิวด้านต้องมีพื้นที่ผิวสูงก็เพื่อให้สามารถดูดโมเลกุลมาเกาะติดผิวได้หลายๆพื้นที่ผิวจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการวัดความสามารถในการดูดซับของถ่าน การวัดพื้นที่ผิวของถ่านกระทำได้โดยการหาปริมาณของไนโตรเจนที่ถูกถ่านดูดเก็บไว้ วิธีหาความสามารถในการดูดซับของถ่านอาจกระทำได้โดยการวัดไอโอดีน นัมเบอร์ (Iodine number) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวของถ่าน



### 6.5.2 การหาความหนืดเปลืองของถ่าน และค่าคงที่สำหรับออกแบบระบบดูดซับด้วยถ่าน

จากการวัดค่าไอโอดีน สามารถทำให้ทราบความสามารถในการดูดซับของถ่านที่เลือกใช้ แต่ข้อมูลที่ได้อีกยังไม่เพียงพอต่อการออกแบบ จะต้องมีการทดลองในแบบต่อเนื่องโดยใช้คอลัมน์ (Column test) กระทำโดยการผ่านน้ำที่ต้องการทดสอบเข้าสู่ท่อซึ่งบรรจุถ่านกัมมันต์อย่างต่อเนื่อง เมื่อน้ำที่ไหลผ่านชั้นถ่าน เมื่อถ่านชั้นบนจะหมดประสิทธิภาพในการดูดซับก่อน และชั้นเม็ดถ่านที่หมดประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามเวลาการใช้งาน หรือปริมาณน้ำที่ไหลผ่านชั้นถ่าน ดังนั้นความเข้มข้นของสิ่งสกปรกในน้ำที่ผ่านการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามเวลาจนในที่สุดความเข้มข้นจะถึงค่าสูงสุดที่กำหนดไว้ จุดนี้เรียกว่า Breakpoint (รูปที่ 1.7) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ผ่านชั้นถ่านหรืออายุการใช้งานกับความเข้มข้นของมลสารในน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านเรียกว่ากราฟเบรคทรู (Breakthrough curve) เวลนับจากจุดเริ่มต้นการดูดซับจนถึง Breakpoint เรียกว่า Breakpoint time หรือ Service time

โดยทั่วไป ขนาดของคอลัมน์จำลองที่ใช้ในการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.54-30 เซนติเมตร ความยาวของชั้นถ่านที่บรรจุในคอลัมน์มีความสูง 0.5-2 เมตร (Schuliger, 1978) ระยะเวลาที่น้ำสัมผัสชั้นถ่าน (Resident time) ตั้งแต่ 15-120 นาที ซึ่งถือได้ว่าสอดคล้องกับการประยุกต์ใช้งานในสภาพความเป็นจริง (Wegner and Jula, 1981) การเตรียมถ่านก่อนที่จะใช้ในการทดสอบ ควรแช่เม็ดถ่านให้อิ่มด้วยน้ำ ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับของถ่าน (Ford, 1978)



ภาพประกอบ 1.7 แสดง กราฟเบรคทรู

ที่มา : Weber (1981)

## วัตถุประสงค์

1. ศึกษาลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ
  2. ศึกษาเพื่อหาแนวทางการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ
- ด้วยวิธีการรวมตะกอนและวิธีทางกายภาพอื่น ๆ โดยไม่ครอบคลุมวิธีบำบัดทางชีววิทยา

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทราบถึงลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ
2. ได้ข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ
3. ใช้เป็นข้อมูลในการวางแผน หรือการจัดการเกี่ยวกับแหล่งมลพิษทางน้ำในชุมชนที่เกิดในลักษณะเดียวกันรวมถึงใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาให้ได้มาซึ่งเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้เป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ไขปัญหามลพิษทางน้ำต่อไป

## ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ จะทำการศึกษาโดยใช้น้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ ของบริษัท เอส แพลค แอนด์ พรินท์ จำกัด(มหาชน) ตั้งอยู่ถนนกาญจนวนิช ตำบลท่าข้าม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยนำน้ำเสียมาศึกษาหาลักษณะ และสภาพที่เหมาะสมในการรวมตะกอนของน้ำเสียที่ดีที่สุด ตลอดจนศึกษาระบบแยกตะกอนโดยวิธีการลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย ร่วมกับกระบวนการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ ทั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อลดปริมาณมลสารจากน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดดังกล่าว ก่อนปล่อยสู่ระบบบำบัดน้ำเสียอื่นๆอีกต่อไป

## บทที่ 2

### วิธีการวิจัย

#### วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองและสารเคมีระดับคุณภาพวิเคราะห์ สำหรับวิเคราะห์คุณภาพตัวอย่างทางเคมี

#### 1. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ ของบริษัท เอส แพล แอนด์ พรินท์ จำกัด (มหาชน) ตั้งอยู่บนถนนกาญจนวนิช ตำบลท่าข้าม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

#### 2. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

ใช้สารเคมีระดับคุณภาพวิเคราะห์ (ระบุในภาคผนวก ก.)

#### 3. สารเคมีที่ใช้ในการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ

ใช้สารละลายสารส้มมาตรฐาน สารละลายโพลีเมอร์ประจุบวก สารละลายเฟอริคคลอไรด์

#### 4. ถ่านกัมมันต์

ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดที่ทำจาก ไม้ไผ่ (Wood based activated carbon) (ระบุในภาคผนวก ก.)

#### อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี รวมทั้งอุปกรณ์ที่เป็นแบบทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 1. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ

- ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร

- ถังพลาสติกขนาด 30 ลิตร
- ถังโหมใต้น้ำแรงสำหรับแช่ตัวอย่าง

## 2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านเคมีในห้องปฏิบัติการ ได้แก่

- เครื่องมือวัดพีเอช (pH Meter) รุ่น CyberScan 20 ของ Evtch Cybernet
- เครื่องวัดความขุ่น (Turbidimeter) รุ่น 2100P ของ HACH
- เครื่องชั่งอย่างละเอียด 0.0001 กรัม รุ่น AB204 ของ Mettler Toledo
- เครื่องชั่งอย่างละเอียด 0.01 กรัม รุ่น PB1502 ของ Mettler Toledo
- เครื่อง Reflux COD
- เตาไฟฟ้า (Hot Plate)
- เตาเผา รุ่น Furnace 6000 ของ Thermolyne
- ตู้อบ ของ Memmert
- ตู้ดูดความชื้น
- เครื่องมือวัดอุณหภูมิ
- เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Flame Atomic Absorption Spectrophotometer) ; GBC 902 Australia.
- เครื่องแก้วที่จำเป็นอื่นๆ

## 3. อุปกรณ์ที่ใช้เป็นแบบจำลองในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย

### 3.1 การศึกษาหาชนิดและขนาดความเข้มข้นของสารรวมตะกอนประกอบด้วย

- หลอดทดลอง ( Vial ) ขนาด 30 มิลลิลิตร
- กระบอกตวงแบบมีจุกปิดขนาด 500 มิลลิลิตร
- ปีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ติดแผ่นพลาสติกที่ขอบในทั้งสี่ด้านลดความถี่
- เครื่องกวน รุ่น RW 20 ของ Kika-Labortechnik.

### 3.2 การศึกษาผลของความดันที่มีต่อการแยกตะกอนของระบบ การลอยด้วยอากาศละลาย

- ถังใต้น้ำเสียขนาด 20 ลิตร
- ถังอัดความดันขนาด 20 ลิตร
- เครื่องอัดลม
- ถังลอยตะกอนขนาด 12 ลิตร

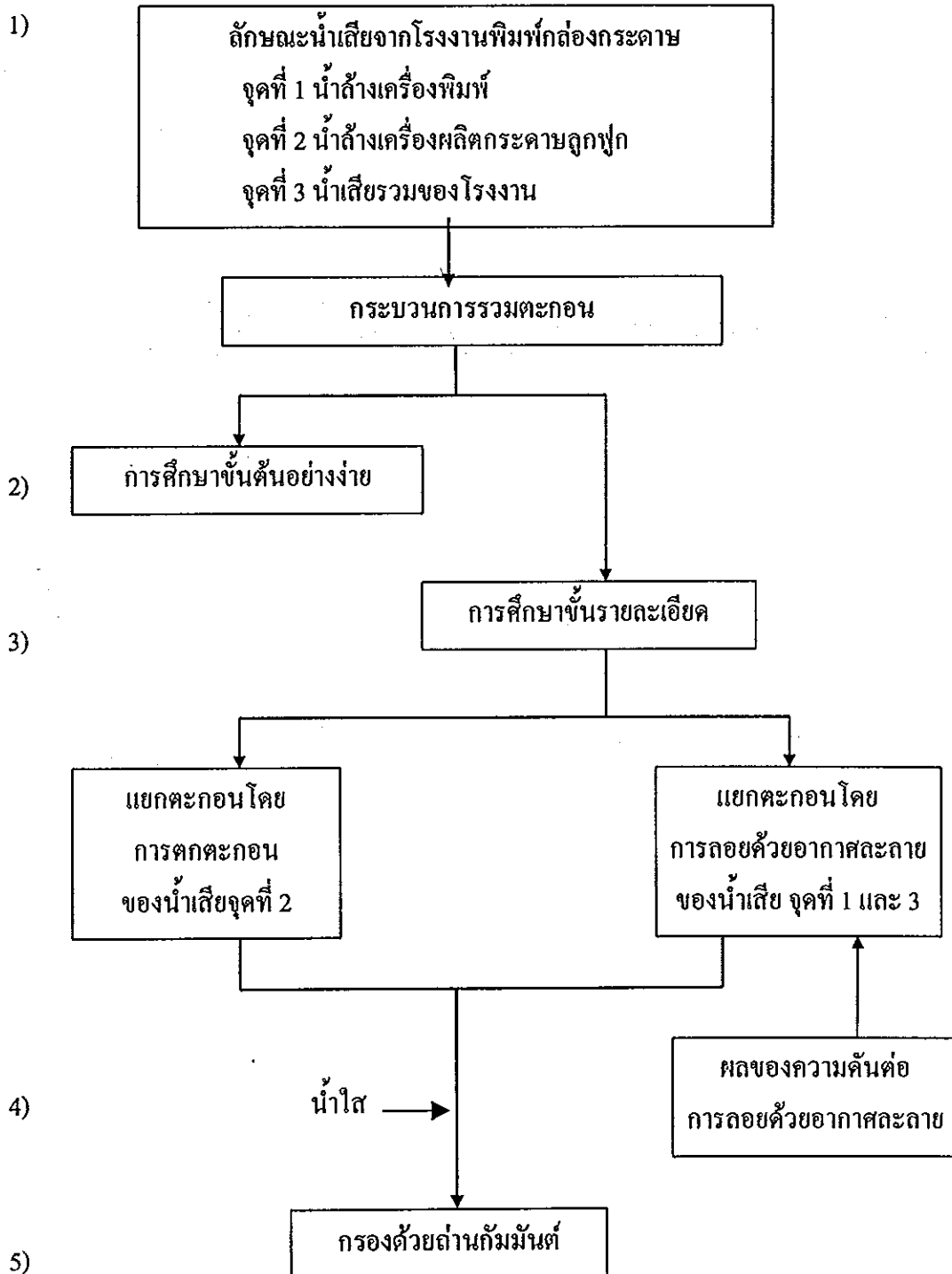
### 3.3 การศึกษาการบำบัดน้ำที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอน โดยวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

- เครื่องสูบน้ำ(Peristaltic pump) ยี่ห้อ Eycla รุ่น MP-3
- คอลัมน์ถ่านกัมมันต์ ท่อพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4.3 cm<sup>2</sup> สูง 50 cm
- ถังเก็บน้ำขนาด 20 ลิตร

#### วิธีดำเนินการวิจัย

แยกศึกษาเป็นขั้นตอนดังนี้ (ดูภาพประกอบ 2.1)

1. ศึกษาปริมาณและลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ มาวางแผนศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียต่อไป
2. ศึกษาหาชนิดของสารสร้างตะกอนและพีเอช ที่เหมาะสม ในการรวมตะกอน โดยใช้วิธี ศึกษาขั้นต้นอย่างง่าย ซึ่งเป็นการทดลองที่ได้ผลเร็ว โดยไม่ต้องมีการตรวจคุณภาพน้ำเสียอย่างละเอียด แต่ทำการวัดผลเชิงคุณภาพแทน ทั้งนี้เพื่อนำผลไปวางแผนการศึกษาขั้นรายละเอียดต่อไป
3. ศึกษาหาชนิดของสารสร้างตะกอนและระดับพีเอชที่เหมาะสม ในการรวมตะกอนขั้นรายละเอียด ซึ่งจากการศึกษาขั้นต้นอย่างง่าย นำชนิดของสารสร้างตะกอนและพีเอช ที่เหมาะสมที่ได้ มาทำการศึกษาอย่างละเอียด โดยแบ่งลักษณะของการทดสอบออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้
  - 3.1 น้ำเสียที่มีอนุภาคสี เป็นน้ำจากขั้นตอนการล้างเครื่องพิมพ์และน้ำจากบ่อบำบัดน้ำเสียรวมของโรงงาน ทำการทดสอบในกระบอกตวงแบบมีจุกปิดขนาด 500 มิลลิลิตร วัดค่าตัวแปร ดังนี้ คือ พีเอช ความขุ่น และ COD
  - 3.2 น้ำเสียที่มีเฉพาะอนุภาคแป้ง ทำการทดสอบในถังกวนคิดแปลงขนาด 500 มิลลิลิตร วัดค่าตัวแปร ดังนี้ คือความขุ่น และ COD
4. ศึกษาผลของความดันที่มีต่อการแยกตะกอนของระบบ การลอยด้วยอากาศละลาย โดยนำชนิด ปริมาณสารสร้างตะกอน และพีเอชที่เหมาะสมที่หาได้ จากการทดลองข้อ 3.1 มาทำการศึกษาแยก ตะกอน ที่ความดัน 40, 50, 60 และ 70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว วัดค่าตัวแปรคือความขุ่น และ COD โดย ที่ความดันที่เหมาะสม วัดค่า BOD<sub>5</sub>, SS และโลหะหนัก (Cd และ Pb) ด้วย
5. ศึกษาการบำบัดน้ำที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอน โดยวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ โดยนำน้ำ ที่ได้จากขั้นตอนการรวมตะกอนจากการทดลองที่ 3 ผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดถ่านไม้ โกงกาง โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง การนำน้ำเสียรวมที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนมากรอง โดยตรง และการแยกจัดการกับน้ำล้างเครื่องพิมพ์ กับน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟูก มาทำการ รวมตะกอนก่อน แล้วจึงนำมากรอง



ภาพประกอบ 2.1 แผนภาพแสดงวิธีการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ

### บทที่ 3

#### การศึกษาปริมาณและลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ

##### 3.1 คำนำ

ในการออกแบบและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย ให้ได้ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูง จำเป็นต้องทราบถึงปริมาณและลักษณะน้ำเสีย เป็นอย่างดี เพื่อจะได้สามารถเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลง ลักษณะน้ำในบ่อบำบัดน้ำเสียได้อย่างลึกซึ้ง ซึ่งจะทำให้ผู้ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างถูกต้องเหมาะสม เมื่อเกิดปัญหาขึ้น

##### 3.2 วัตถุประสงค์

น้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ ของบริษัท เอส แพค แอนด์ พรินท์ จำกัด (มหาชน)

##### 3.3 จุดประสงค์

เพื่อให้ทราบถึงปริมาณและลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ

##### 3.4 วิธีวิจัย

3.4.1 การศึกษาปริมาณน้ำเสีย จะใช้การประเมินปริมาณการใช้น้ำของโรงงาน โดยวัดอัตราการไหลของน้ำจากสายยางที่ใช้ในการล้างเครื่องจักร และระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้น้ำล้างแต่ละครั้ง เนื่องจากน้ำเสียที่เกิดขึ้น เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการล้างเครื่องจักร โดยเครื่องพิมพ์จะทำการล้าง 3-5 ครั้งต่อวัน และเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก จะทำการล้าง 1-2 ครั้งต่อวัน

3.4.2 การศึกษาลักษณะน้ำเสีย จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากจุดที่ 1 จุดที่ 2 และ จุด ที่ 3 (ดูภาพประกอบ 3.1) ซึ่งจุดที่ 1 และจุดที่ 2 จะเก็บตัวอย่างน้ำแบบ Grab sample ทุกครั้งที่มีการล้างเครื่องจักร ตลอดระยะเวลาการทำงานของโรงงานในรอบวัน และนำมาผสมกันเพื่อให้ได้เป็น Composite sample ส่วนจุดที่ 3 เก็บตัวอย่างน้ำแบบ Grab sample เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตในแต่ละวัน ซึ่งตัวแปรคุณภาพน้ำที่จะทำการศึกษาและวิธีวิเคราะห์ แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 แต่ละตัวแปรจะทำการวิเคราะห์อย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อใช้เป็นค่าตัวแทนของน้ำเสีย

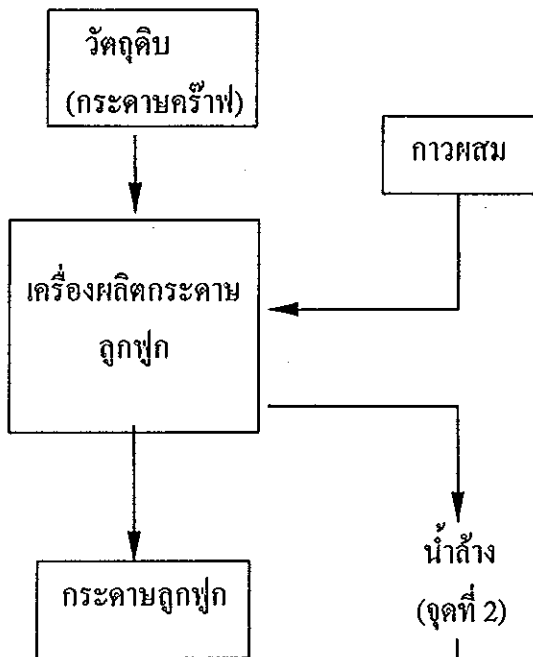
ตาราง 3.1 ตารางแสดงตัวแปรคุณภาพน้ำและวิธีวิเคราะห์

ตัวแปรคุณภาพน้ำ	วิธีการวิเคราะห์*
pH	pH Meter
Turbidity	Turbidimeter
DO	DO Meter
Temperature	Thermometer
BOD <sub>5</sub>	Azide Modification Method
COD	Dichromate Reflux Method
SS	Gravimetric Method
TS	Gravimetric Method
Heavy metal ( Cd ,Cr ,Pb)	Atomic Absorbtion Method

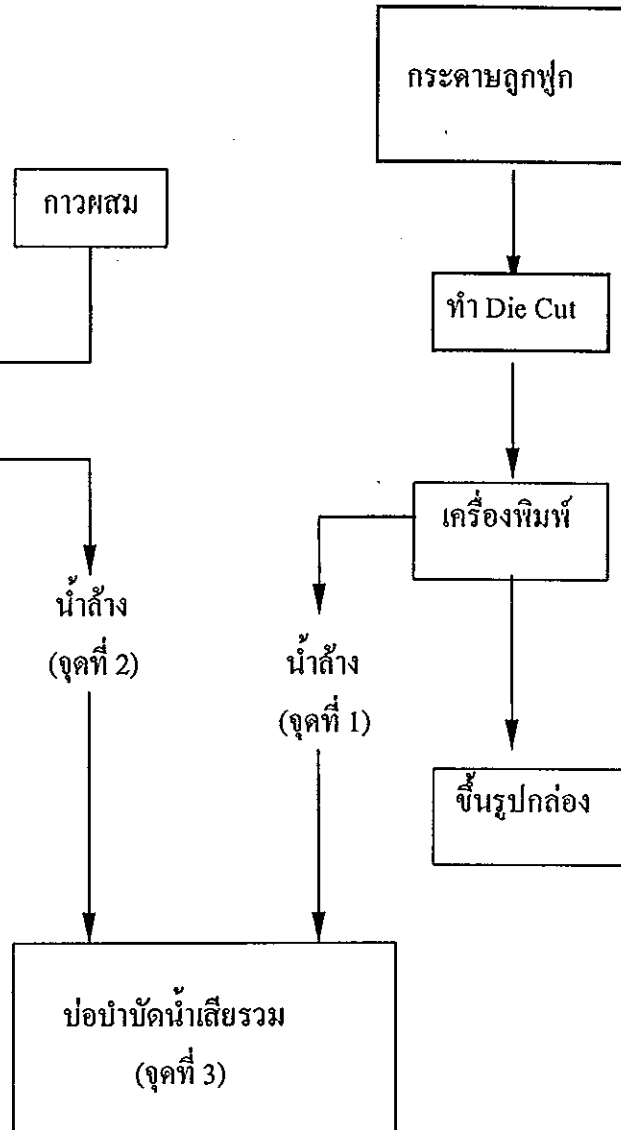
หมายเหตุ \*: ใช้วิธี วิเคราะห์ตามที่ระบุใน Standard Method for the Examination of Water and Wastewater ( APHA,AWWA and WEF,1995)



ขั้นตอนการผลิตกระดาษลูกฟูก



ขั้นตอนการผลิตกล่องกระดาษ



ภาพประกอบ 3.1 แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำจาก โรงงานหิมพ์กล่องกระดาษ

จุดที่ 1 น้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องหิมพ์

จุดที่ 2 น้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก

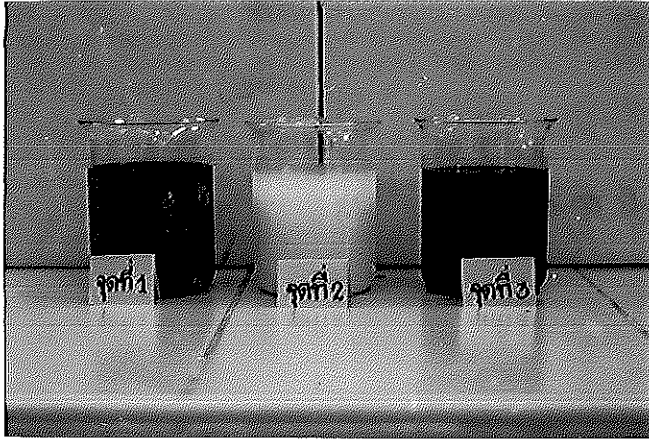
จุดที่ 3 น้ำเสียจากบ่อบำบัดน้ำเสียรวมของโรงงาน

### 3.5 ผลและวิจารณ์ผล

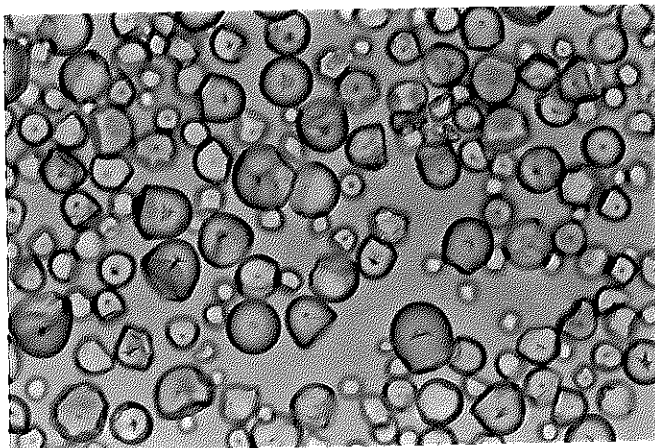
#### 3.5.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย

น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานพิมพ์ก่อดังกระดาษ เกิดได้จาก 2 จุด คือ น้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องพิมพ์ และน้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟูก โดยเครื่องพิมพ์จะทำการล้างประมาณ 3-5 ครั้งต่อวัน ทุกครั้งที่เปลี่ยนสีพิมพ์ โดยทั่วไปจะมีการเดินเครื่องพิมพ์ ทุกวันทำการ ส่วนเครื่องผลิตกระดาษถูกฟูก จะทำการล้างประมาณ 1 ครั้งต่อวันที่มีการผลิต โดยในแต่ละสัปดาห์ จะมีการล้างกาวที่เตรียมไว้แล้วหมักอายุการใช้งานทิ้ง และในแต่ละเดือนจะมีการหยุดพักเครื่อง เพื่อตรวจสอบความพร้อมของเครื่องมือ

เมื่อมองคุณลักษณะสีน้ำ จะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน คือน้ำจากน้ำล้างเครื่องพิมพ์จะมีสีเข้มจนเกือบดำ ในขณะที่น้ำจากน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟูก จะมีสีขาวขุ่น (ดูภาพประกอบที่ 3.2) จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำเสียในแต่ละวัน มีไม่มาก คือรวมแล้วประมาณ 10 ลบ.ม ต่อวันเท่านั้น แต่น้ำเสียที่เกิดขึ้น เป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของมลสารสูง อีกทั้งองค์ประกอบของน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้ง 2 จุด มีความแตกต่างกันมาก คือน้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องพิมพ์ จะมีส่วนประกอบหลักๆ คือ หมึกพิมพ์ หมึกพิมพ์ที่ใช้จะเป็นหมึกพิมพ์ประเภทหมึกละลายน้ำ (Water base ink) ในหมึกพิมพ์จะมีสารให้สี ซึ่งมีทั้งที่เป็นผงสี และสีข้อม สารให้สีที่เป็นผงสี จะมีลักษณะเป็นอนุภาคแขวนลอย มีแนวโน้มที่จะลอย (เขาวเรศ อายุวัฒนะ และ คณะ, 2536) ส่วนสารให้สีที่เป็นสีข้อม จะละลายอยู่ โดยไม่มีการรวมตัวกันเป็นอนุภาค สำหรับน้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟูก จะมีกาวเป็นองค์ประกอบหลัก กาวที่ใช้ในโรงงานนี้ เป็นกาวจากแป้ง ซึ่งมี แป้ง ขอบเรกซ์ และ โซดาไฟ เป็นส่วนประกอบ ทำให้มีค่า บีโอดี BOD<sub>5</sub> และ COD สูง แป้งจะมีลักษณะเป็นอนุภาคเล็กๆ (ดูภาพประกอบที่ 3.3) ขนาดประมาณ 3-35 ไมโครเมตร ทำให้มีความขุ่นและปริมาณสารแขวนลอยสูง และมีแนวโน้มที่จะจม (นิคม ธรรมปัญญา และ สุคา ศิริกุลวัฒน์, 2534)



ภาพประกอบ 3.2 แสดงลักษณะน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ  
 (1) น้ำล้างเครื่องพิมพ์ (2) น้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟุ้ง (3) น้ำเสียรวม



ภาพประกอบ 3.3 แสดงลักษณะอนุภาคแข็ง ในน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟุ้ง หรือน้ำกาก  
 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน กำลังขยาย 50 เท่า

### 3.5.2 ความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสีย

ผลการศึกษาลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ ดังแสดงรายละเอียดของค่าตัวแปรต่างๆ ในตาราง 3.2 และภาพประกอบ 3.4 พบว่าน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตทั้ง 2 จุด มีค่าเกินมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน และมีองค์ประกอบทางกายภาพ และเคมี แตกต่างกัน คือ น้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องพิมพ์ ซึ่งจะมีส่วนประกอบของสี มีค่าพีเอช ประมาณ 8 ค่า COD ประมาณ 6,000 มก./ลิตร และความขุ่นประมาณ 2,500 NTU น้ำเสียจากจุดนี้มีโลหะหนักปน คือ ตะกั่วและแคดเมียม โดยทั่วไปสารให้สีมีองค์ประกอบของโลหะหนัก (พิศมัย เจนวนิชปัญญากุล, 2527) จึงทำให้พบโลหะหนักบริเวณจุดนี้

ส่วนน้ำจากน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก จะมีกาวและเยื่อกระดาษเป็นส่วนประกอบหลัก น้ำจุดนี้มีค่าความสกปรกต่างๆค่อนข้างสูง คือ มีค่าพีเอชอยู่ในช่วงประมาณ 11-12 ค่า COD ประมาณ 12,000 มก./ลิตร และความขุ่นประมาณ 8,900 NTU ค่าพีเอชที่สูงมากในน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูกนั้น เกิดจากหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ในโซดาไฟ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของกาว หมู่ไฮดรอกซิล ที่แตกตัวเป็นอิสระในน้ำ จะทำให้ค่าพีเอชของน้ำสูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของมลสารทั้ง 2 จุด จะเห็นว่าความเข้มข้นของมลสารจากน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก สูงกว่าจากน้ำล้างเครื่องพิมพ์ เนื่องจาก ลักษณะการล้างจะแตกต่างกัน คือ จากกระบวนการผลิตในแต่ละวัน เครื่องพิมพ์หนึ่งๆ จะทำการพิมพ์หลายสี ทุกครั้งที่เปลี่ยนสีพิมพ์ จะต้องล้างเครื่องพิมพ์ให้สะอาด ในวันหนึ่งจะล้างเครื่องพิมพ์ประมาณ 3-5 ครั้ง ดังนั้นน้ำจากจุดนี้ จึงมีความเจือจางสูงกว่า สำหรับเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก ส่วนใหญ่ จะทำการล้างเมื่อเสร็จกระบวนการผลิต ในแต่ละวัน ทำให้น้ำเสียที่เกิดจากน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก มีความเข้มข้นสูงกว่า โดยเฉพาะในวันที่มีการล้างกาวที่หมดอายุการใช้งานทิ้ง น้ำที่เกิดจากจุดนี้ จะมีปริมาณและความเข้มข้นสูงมาก หรือบางวัน ไม่มีการผลิตกระดาษลูกฟูก ก็จะไม่มีย้ำเสียที่เกิดขึ้นจากจุดนี้

น้ำเสียจากจุดที่ 3 ซึ่งเป็นน้ำเสียรวมของโรงงาน ความเข้มข้นของมลสารมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง คือ มีค่าพีเอช อยู่ในช่วงประมาณ 9-12 ค่า COD อยู่ในช่วงประมาณ 6,000-14,000 มก./ลิตร และความขุ่นอยู่ในช่วงประมาณ 3,000-5,900 NTU เนื่องจากน้ำในจุดนี้ เกิดจากน้ำเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ดังนั้นความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียของจุดนี้ จึงขึ้นอยู่กับจุดอื่นๆ จะเห็นว่าในแต่ละวัน การผลิตจะแตกต่างกันเช่นจากการเก็บตัวอย่างน้ำครั้งที่ 2 ซึ่งเป็นวันที่มีการล้างกาวที่หมดอายุการใช้งานทิ้ง จะเห็นว่าความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียสูงกว่าวันอื่นๆ คือมีค่าพีเอช เท่ากับ 12.5 ค่า COD เท่ากับ 13,980 มก./ลิตร และความขุ่นเท่ากับ 5,825 NTU น้ำเสียจากจุดนี้มีโลหะหนักปน คือ ตะกั่วและแคดเมียม โลหะหนักที่พบเกิดจากน้ำเสียที่มาจากน้ำล้างเครื่องพิมพ์นั่นเอง

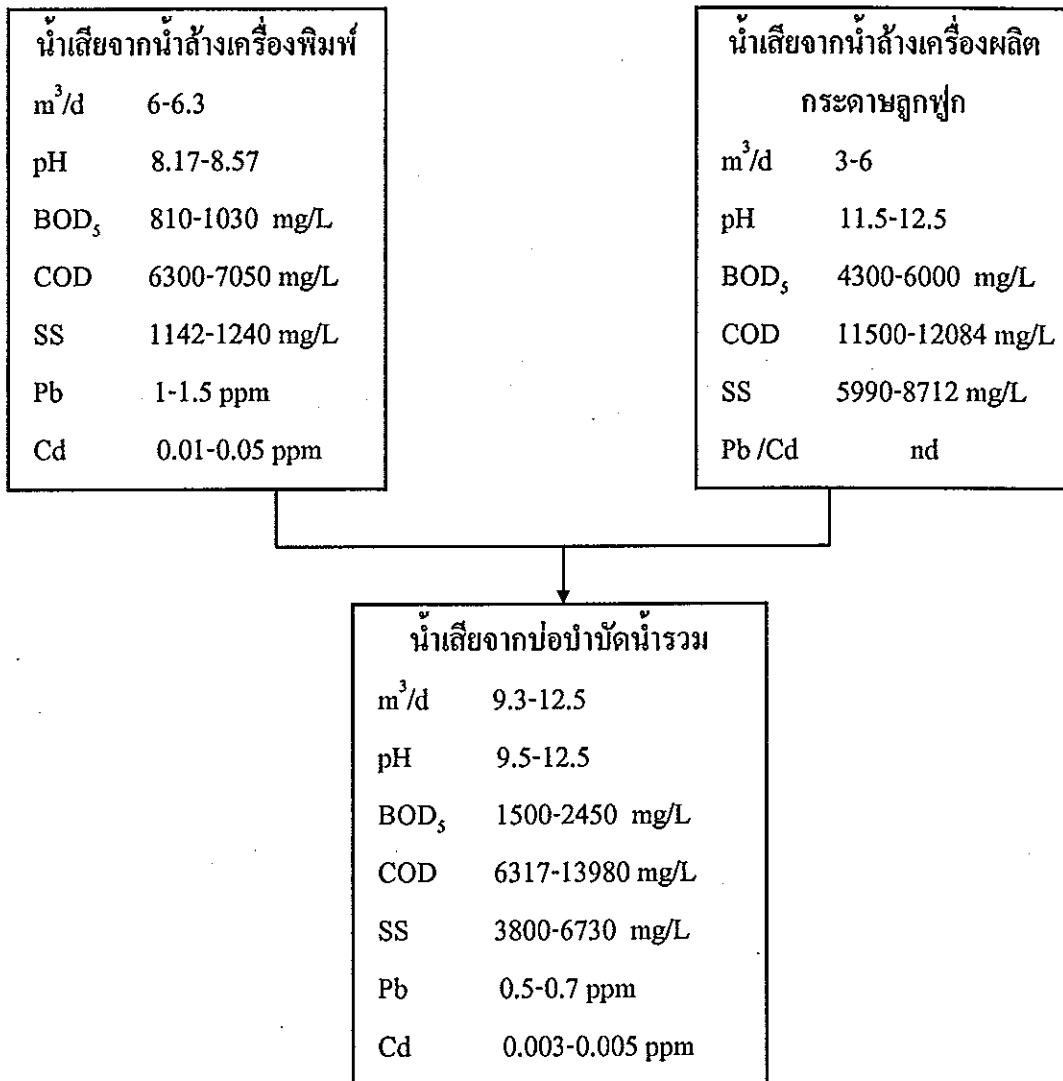
ตาราง 3.2 แสดงปริมาณน้ำเสียและลักษณะน้ำเสียจาก โรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ

Parameter	จุดที่1				จุดที่2				จุดที่3			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
Daily volumn (m <sup>3</sup> /d)	6	6.5	6.3	6.27	4	6	3	4.33	10	12.5	9.3	10.6
Temperature (°c)	25.5	26.5	27	26.3	25.5	26	27	26	26.5	27.5	2.5	26.3
pH	8.17	8.57	8.37	8.37	12.5	11.5	11.8	11.93	11.8	12.5	9.5	11.27
DO (mg/L)	5.2	5.5	5.3	5.33	5.2	5.1	5.3	5.2	5.5	5	5.25	5.25
BOD (mg/L)	810	950	1030	930	6000	6800	4300	5700	1500	2450	1860	1936.7
COD (mg/L)	6550	7050	6300	6633.3	12084	13600	11500	12394.7	8500	13980	6317	9599
SS (mg/L)	1240	1142	1183	1248.3	6333	8712	5990	6995	4030	6730	3800	4853.3
TS (mg/L)	6250	5600	8800	6883.3	15300	18200	16000	16500	6836	12600	8600	9345.3
Turbidity (NTU)	2831	2000	2500	2445.7	9130	8350	9270	8916.7	3900	5825	3350	4358.3
Pb (ppm)	1	1.5	-	1.25	nd	nd	-	-	0.5	0.7	-	0.6
Cd (ppm)	0.005	0.01	-	0.0075	nd	nd	-	-	0.003	0.005	-	0.004
Cr (ppm)	nd	nd	-	-	nd	nd	-	-	nd	nd	-	-

หมายเหตุ จุดที่ 1 น้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องพิมพ์

จุดที่ 2 น้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟอก

จุดที่ 3 น้ำเสียจากบ่อบำบัดน้ำเสียรวมของโรงงาน



ภาพประกอบ 3.4 แสดงภาพรวมคุณภาพน้ำเสีย ณ ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำ

### 3.6 บทสรุป

จากการศึกษาถึงแหล่งที่มาและลักษณะน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ พบว่าน้ำเสียเกิดจาก 2 จุด คือ น้ำล้างเครื่องพิมพ์และน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวันมีไม่มาก แต่มีความเข้มข้นของมลสารสูง และองค์ประกอบของน้ำเสียแตกต่างกัน อีกทั้งปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจาก น้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก มีความแปรปรวน เมื่อน้ำเสียทั้ง 2 จุดมารวมกันในบ่อบำบัดน้ำเสียรวมของโรงงาน ทำให้ลักษณะน้ำมีความแปรปรวนสูง ขาดต่อการจัดการ ดังนั้นแนวทางการจัดการน้ำเสีย จากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ จึงควรแยกจัดการน้ำเสีย ตามที่มาของน้ำเสีย ซึ่งจะทำให้การบำบัดมลสารในน้ำทิ้ง ทำได้ง่าย และมีประสิทธิภาพสูง

## บทที่ 4

### การศึกษาการรวมตะกอนโดยวิธี ศึกษาขั้นต้นอย่างง่าย

#### 4.1 คำนำ

การควบคุมกระบวนการรวมตะกอนให้ได้ผลดี จะต้องควบคุมสภาวะต่างๆให้เหมาะสม ปัจจัยที่ต้องควบคุม ได้แก่ ปริมาณและชนิดของสารสร้างตะกอน ระดับที่เอชของน้ำ ความเร็วเกรเดียนท์ และระยะเวลาทวนน้ำ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความเร็วเกรเดียนท์ (Velocity gradient, G) และระยะเวลาทวนน้ำ มักกำหนดไว้ก่อนแล้วในคอนออกแบบ และไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ การควบคุมกระบวนการรวมตะกอนจึงมุ่งไปในการควบคุมปริมาณและชนิดของสารสร้างตะกอน และที่เอชของน้ำ เพื่อให้เกิดการรวมตะกอนที่ดีที่สุด (มันลิน ตันทุลเวสน์, 2538) วิธีการควบคุมกระบวนการรวมตะกอนที่นิยมมากที่สุด และใช้กันมานานแล้ว คือวิธี จาร์เทสต์ (Jar test) ซึ่งเป็นวิธีทดสอบในบีกเกอร์ เครื่องมือทดสอบ เป็นเครื่องกวนที่ปรับความเร็วรอบได้ การทำ จาร์เทสต์ จึงจำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์ครบจึงสามารถทำการทดสอบได้ แต่ในการใช้งานจริง จะเห็นว่าน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานต่างๆ ในแต่ละวัน มีความแตกต่างกัน มากน้อยขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตของแต่ละโรงงาน ทำให้เมื่อนำกระบวนการรวมตะกอนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมกระบวนการรวมตะกอน อยู่เสมอ วิธีทดสอบอย่างง่าย จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

#### 4.2 วัสดุ

- หลอดทดลอง (Vial) ขนาด 30 มิลลิลิตร (ดูภาพประกอบที่ 4.1)
- สารเคมี ใช้สารละลายสารส้มมาตรฐาน สารละลายโพลิเมอร์ประจุบวก และสารละลายเฟอริคคลอไรด์ เป็นสารสร้างตะกอน

#### 4.3 จุดประสงค์

เพื่อเลือกหาชนิดของสารสร้างตะกอน และที่เอชที่เหมาะสมอย่างง่าย โดยการใช้การวัดผลเชิงคุณภาพ สำหรับนำไปวางแผนการศึกษาขั้นรายละเอียดต่อไป



ภาพประกอบ 4.1 แสดงหลอดทดลอง ขนาด 30 มิลลิลิตร

#### 4.4 วิธีวิจัย

##### 4.4.1 วิธีการทดลอง ทำการทดลองอย่างง่ายดังนี้

- เติมน้ำเสียลงในหลอดทดลองขนาด 30 มิลลิลิตร ในปริมาณ 20 มิลลิลิตร
- ปรับ พีเอช โดยใช้กรดซัลฟูริก 0.1 % และเติมสารสร้างตะกอน ซึ่งมีเงื่อนไขในการควบคุมกระบวนการรวมตะกอน แสดงในตาราง 4.1
- ปิดฝา แก้วเขย่า ซึ่งจะทำให้เกิดการรวมตะกอนและลอยตะกอนในลักษณะ ลอยด้วยอากาศละลาย (DAF) เนื่องจากในช่วงของการเขย่า อากาศส่วนหนึ่งในหลอดทดลอง ละลายเข้าไปในน้ำ และเมื่อหยุดเขย่าก็จะเกิดเป็นฟองขนาดเล็กลอยขึ้นสู่ผิว
- ตั้งทิ้งไว้ สังเกตการเปลี่ยนแปลงในเวลา 0-60 นาที บันทึกผลการทดลองของลักษณะน้ำเป็นระดับในเชิงคุณภาพ



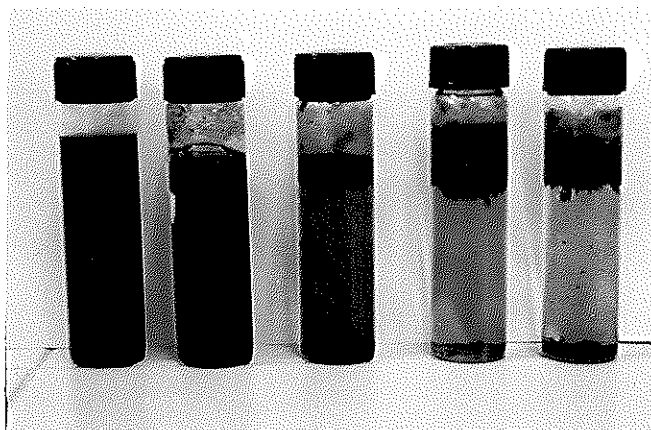
ตาราง 4.1 แสดงเงื่อนไขในการควบคุมกระบวนการรวมตะกอน

ชุดของการทดลอง	เงื่อนไข	การปรับ พีเอช
A	1. สารสร้างตะกอน - สารส้ม 0-1000 มก./ลิตร - เฟอริกคลอไรด์ 0-1000 มก./ลิตร - โพลีเมอร์ประจุบวก 0-100 มก./ลิตร	ไม่มี ไม่มี ไม่มี
B	2. สารสร้างตะกอนจาก การทดลองชุด A	4-9
C	1. สารสร้างตะกอน - สารส้ม 0-100 มก./ลิตร - เฟอริกคลอไรด์ 0-100 มก./ลิตร - โพลีเมอร์ประจุบวก 0-10 มก./ลิตร	พีเอช ที่ได้จาก การทดลองชุด B

4.4.2 การวัดผลเชิงคุณภาพ คือการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของน้ำเสีย ที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนในเวลา 0-60 นาที โดยแบ่งเป็นระดับต่างๆ เท่าที่จะสามารถแยกได้โดยการใช้สายตา และการจับเวลา ซึ่งสามารถแยกออกเป็นระดับต่างๆ ได้ 9 ระดับ (ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพประกอบ 4.2)

ตาราง 4.2 แสดงการบันทึกผลลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ

ระดับที่	ลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ
0	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ตั้งแต่ 0-60 นาที
1	เริ่มมีการก่อตะกอน ไม่พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ตั้งแต่ 0-60 นาที
2	เริ่มมีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 30 นาที ชั้นน้ำ ชุ่น
3	เริ่มมีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 10 นาที ชั้นน้ำ ชุ่น
4	เริ่มมีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 30 นาที ชั้นน้ำ ใสมีสี
5	เริ่มมีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 10 นาที ชั้นน้ำ ใสมีสี
6	เริ่มมีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 5 นาที ชั้นน้ำ ใสมีสี
7	เริ่มมีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 30 นาที ชั้นน้ำ ใส
8	เริ่มมีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 10 นาที ชั้นน้ำ ใส
9	เริ่มมีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 5 นาที ชั้นน้ำ ใส



ระดับ 0 1 2-3 4-6 7-9

ภาพประกอบ 4.2 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ

#### 4.5 ผลและวิจารณ์ผล (ดูตารางผลการทดลองในภาคผนวก ข-1)

##### 4.5.1 น้ำล้างเครื่องพิมพ์ มีพีเอชเริ่มต้นของน้ำอยู่ในช่วง 7-8

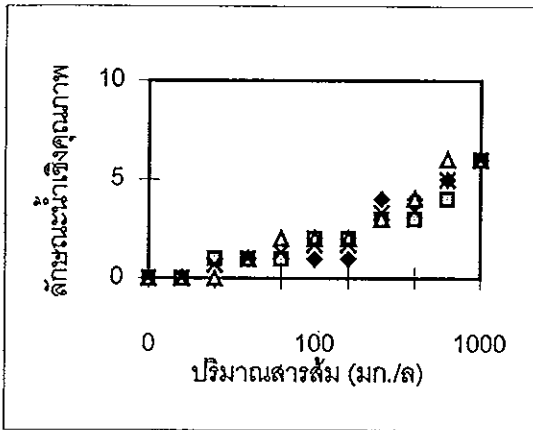
##### 4.5.1.1 การทดลองโดยใช้สารส้ม เป็นสารสร้างตะกอน(ดูภาพประกอบ 4.3)

ก. การทดลองโดยใช้สารส้มในปริมาณ 0-1000 มก./ลิตร โดยไม่ปรับพีเอชของน้ำ พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 40 มก./ลิตร เริ่มมีการก่อตะกอน แต่ไม่พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน และที่ความเข้มข้นของสารส้มตั้งแต่ 400 มก./ลิตร เริ่มมีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 10-30 นาที ชั้นน้ำ ขุ่น และเมื่อเพิ่มปริมาณสารส้มขึ้น พบว่าที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 800 มก./ลิตร ชั้นน้ำใสขึ้น แต่ยังมีสี โดยจะเห็นเป็นสีม่วงอ่อนๆ

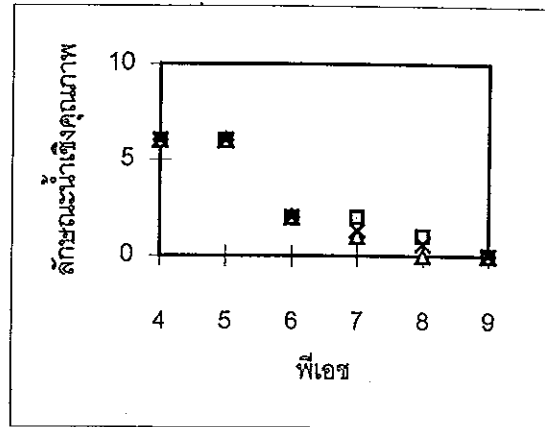
ข. การทดลองโดยปรับพีเอชของน้ำเป็น 4-9 และใช้ สารส้มในปริมาณ 40 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ซึ่งเป็นปริมาณที่ทำให้เริ่มเห็นมีการก่อตะกอน พบว่าที่ระดับพีเอช เท่ากับ 6 เริ่มมีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 30 นาที ชั้นน้ำ ขุ่น และที่ ระดับพีเอช เท่ากับ 5 มีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 5-10 นาที ชั้นน้ำ ใสมีสี โดยจะเห็นเป็นสีม่วงอ่อนๆ

ค. การทดลองโดยใช้สารส้มปริมาณ 0-100 มก./ลิตร ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 6 พบว่า เมื่อใช้ สารส้ม 20-60 มก./ลิตร พบการก่อตะกอนแต่ไม่พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน และเมื่อใช้สารส้ม 80-100 มก./ลิตร พบการก่อตะกอน แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 30 นาที แต่ชั้นน้ำขุ่น

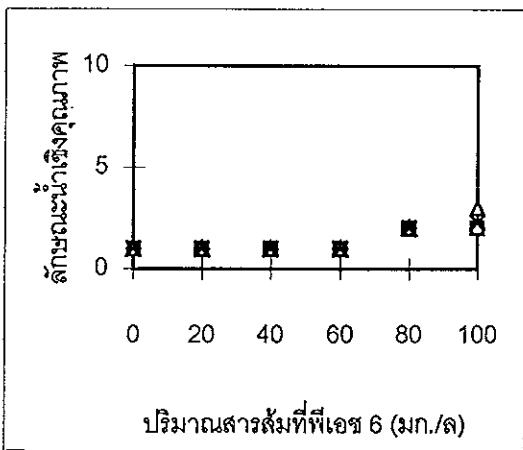
ง. การทดลองโดยใช้สารส้มปริมาณ 0-100 มก./ลิตร ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 5 พบว่าทุกความเข้มข้นของสารส้มที่ใช้ มีการก่อตะกอน แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ชั้นน้ำ ใสมีสี



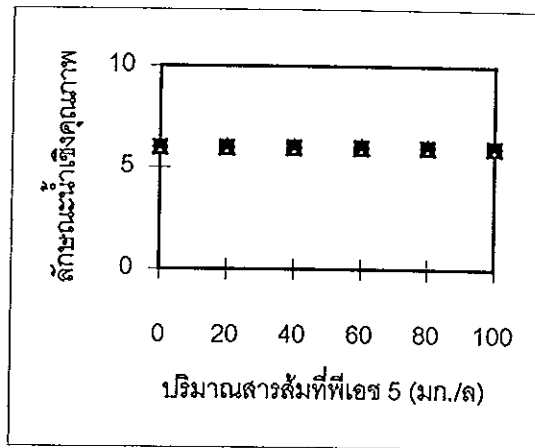
ก.



ข.



ค.



ง.

◆ ครั้งที่ 1 ◻ ครั้งที่ 2 △ ครั้งที่ 3 × เฉลี่ย

ภาพประกอบ 4.3 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน

สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์

ก. ใช้สารส้ม ในปริมาณต่างๆ เป็นสารสร้างตะกอน

ข. ใช้สารส้ม ในปริมาณ 40 มก./ลิตร ที่พีเอช ต่างๆ

ค. ใช้ สารส้ม ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 6

ง. ใช้ สารส้ม ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 5

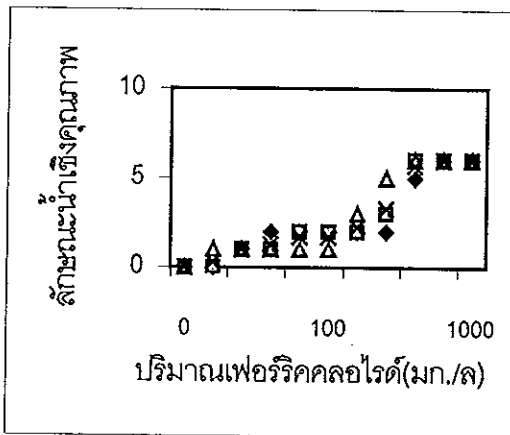
#### 4.5.1.2 การทดลองโดยใช้เฟอริคคอลลอยด์ เป็นสารสร้างตะกอน (ดูภาพประกอบ 4.4)

ก. การทดลองโดยใช้ เฟอริคคอลลอยด์ ในปริมาณ 0-1000 มก./ลิตร และไม่ปรับพีเอชของน้ำ พบว่าที่ความเข้มข้นของเฟอริคคอลลอยด์ เท่ากับ 40 มก./ลิตร เริ่มมีการก่อตะกอน แต่ไม่พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน และที่ความเข้มข้นของเฟอริคคอลลอยด์ ตั้งแต่ 200 มก./ลิตร เริ่มมีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 10-30 นาที ชั้นน้ำ ชุ่น และเมื่อเพิ่มปริมาณใช้เฟอริคคอลลอยด์ ขึ้น พบว่าที่ความเข้มข้นของเฟอริคคอลลอยด์ เท่ากับ 600 มก./ลิตร ชั้นน้ำ ใสขึ้น แต่ยังมีสี โดยจะเห็นเป็นสีม่วงอ่อนๆ

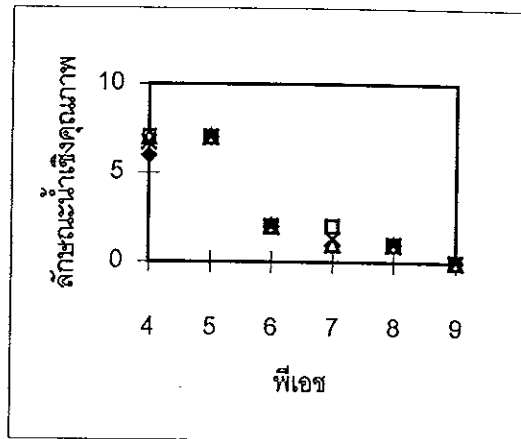
ข. การทดลองโดยปรับพีเอชของน้ำเป็น 4-9 และใช้ เฟอริคคอลลอยด์ ในปริมาณ 40 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ซึ่งเป็นปริมาณที่ทำให้เริ่มเห็นมีการก่อตะกอน พบว่าที่ระดับพีเอช เท่ากับ 6 เริ่มมีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 30 นาที ชั้นน้ำ ชุ่น และที่ ระดับพีเอช เท่ากับ 5 มีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 5-10 นาที ชั้นน้ำ ใสมีสี โดยจะเห็นเป็นสีม่วงอ่อนๆ

ค. การทดลองโดยใช้เฟอริคคอลลอยด์ปริมาณ 0-100 มก./ลิตร ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 6 พบว่าที่ พีเอชเท่ากับ 6 เมื่อใช้เฟอริคคอลลอยด์ 20-40 มก./ลิตร พบการก่อตะกอน แต่ไม่พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน และเมื่อใช้เฟอริคคอลลอยด์ 0-100 มก./ลิตร พบการก่อตะกอน แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 30 นาที แต่ชั้นน้ำชุ่น

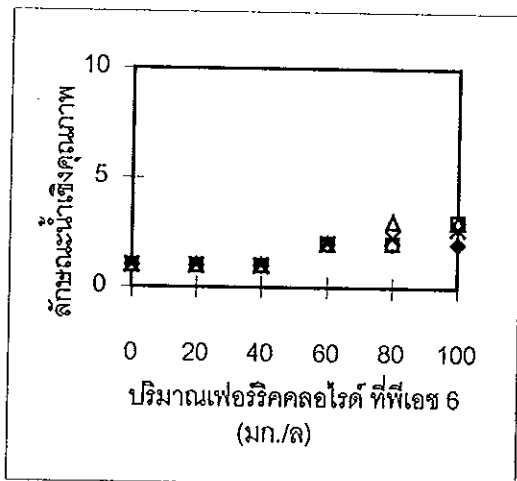
ง. การทดลองโดยใช้เฟอริคคอลลอยด์ปริมาณ 0-100 มก./ลิตร ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 5 พบว่าทุกความเข้มข้นของเฟอริคคอลลอยด์ ที่ใช้ มีการก่อตะกอน แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ชั้นน้ำ ใสมีสี



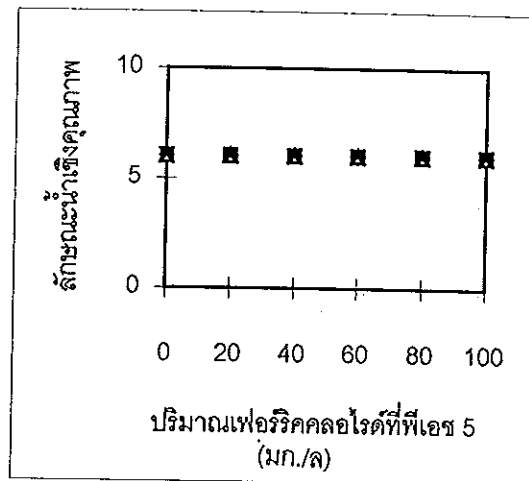
ก.



ข.



ค.



ง.

◆ ครั้งที่ 1 □ ครั้งที่ 2 △ ครั้งที่ 3 × เฉลี่ย

ภาพประกอบ 4.4 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอริกคลอไรด์ เป็นสารสร้างตะกอน สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์

- ก. ใช้เฟอริกคลอไรด์ ในปริมาณต่างๆ เป็นสารสร้างตะกอน
- ข. ใช้เฟอริกคลอไรด์ ในปริมาณ 40 มก./ลิตร ที่พีเอช ต่างๆ
- ค. ใช้เฟอริกคลอไรด์ ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 6
- ง. ใช้เฟอริกคลอไรด์ ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 5

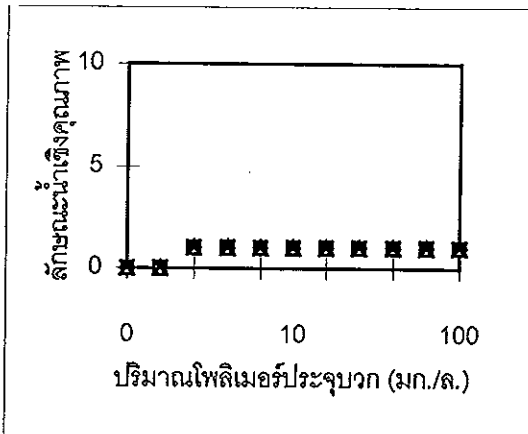
#### 4.5.1.3 การทดลองโดยใช้โพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน (ดูภาพประกอบ 4.5)

ก. การทดลองโดยใช้โพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร และไม่ปรับพีเอชของน้ำ พบว่าเมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณ 4 มก./ลิตร ขึ้นไป เริ่มมีการก่อตะกอน แต่ไม่พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ตั้งแต่ 0-60 นาที

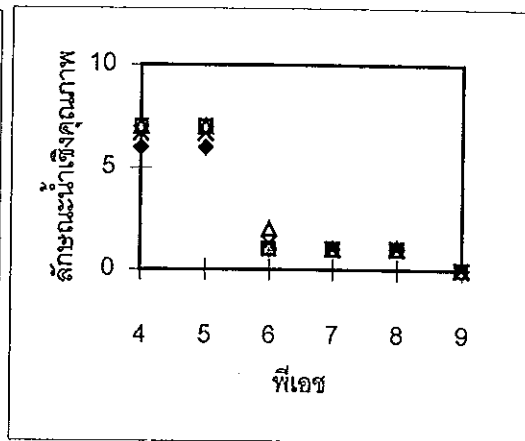
ข. การทดลองโดยปรับพีเอช ของน้ำเสียให้อยู่ระหว่าง 4-9 และใช้โพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณ 4 มก./ลิตร จะเห็นได้ว่าที่พีเอช เท่ากับ 5 พบมีการก่อตะกอน แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 5-10 นาที ชั้นน้ำใส มีสี

ค. การทดลองโดยใช้โพลิเมอร์ประจุบวกปริมาณ 0-10 มก./ลิตร ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 6 พบว่า มีการก่อตะกอน แต่ไม่พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน

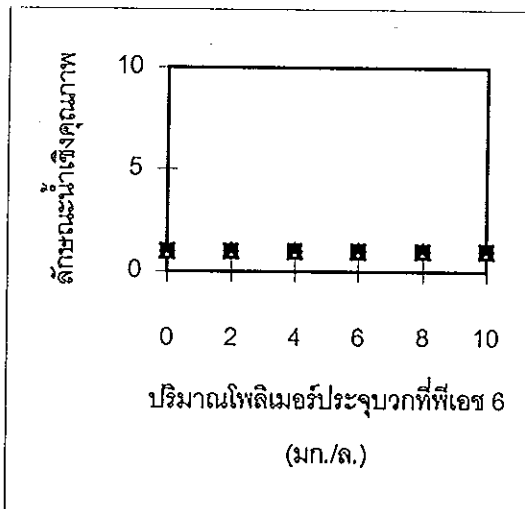
ง. การทดลองโดยใช้โพลิเมอร์ประจุบวกปริมาณ 0-10 มก./ลิตร ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 5 พบว่าทุกความเข้มข้นของโพลิเมอร์ประจุบวกที่ใช้ มีการก่อตะกอน แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ชั้นน้ำใส มีสี



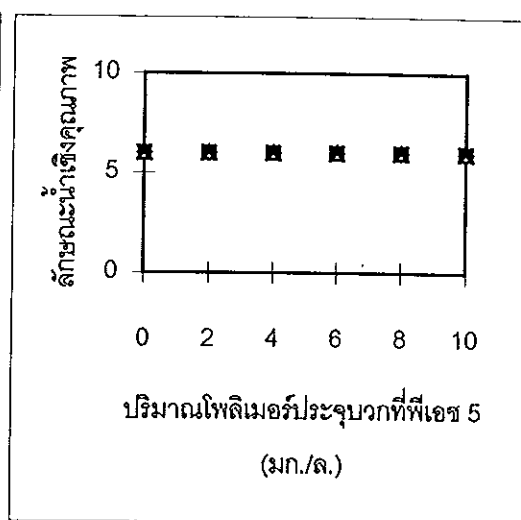
ก.



ข.



ค.



ง.

◆ ครั้งที่ 1 □ ครั้งที่ 2 ▲ ครั้งที่ 3 × เฉลี่ย

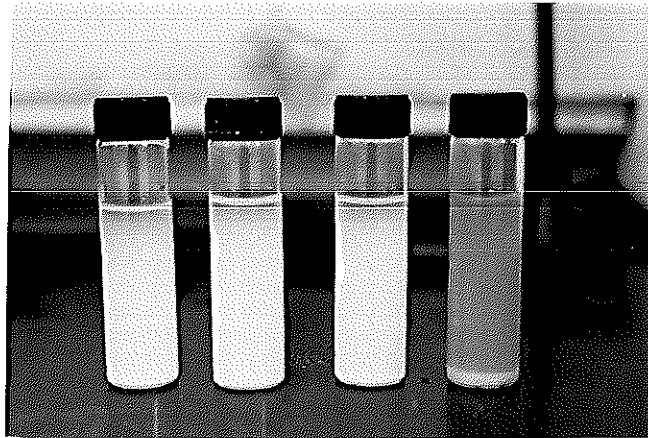
ภาพประกอบ 4.5 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก เป็นสารสร้างตะกอน สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์

- ก. ใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ในปริมาณต่างๆ เป็นสารสร้างตะกอน
- ข. ใช้ โพลีเมอร์ประจุบวกในปริมาณ 4 มก./ลิตร ที่พีเอช ต่างๆ
- ค. ใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ในปริมาณ 0-10 มก./ลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 6
- ง. ใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ในปริมาณ 0-10 มก./ลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 5



4.5.2 น้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก มีลักษณะเป็นน้ำขาวขุ่น สีขาว เมื่อวางทิ้งไว้จะมีการตกตะกอนของแข็ง และมีพีเอชเริ่มต้นของน้ำอยู่ในช่วง 11-12

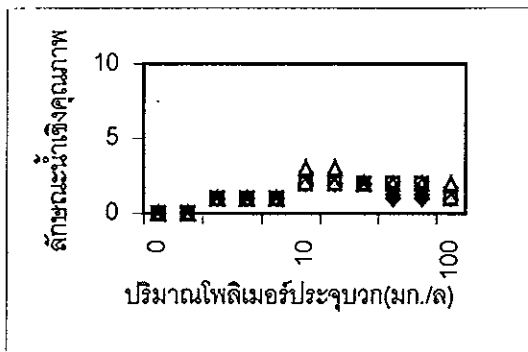
น้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก เมื่อทำการทดลองใช้สารสร้างตะกอน 3 ชนิดในปริมาณต่างๆคือ โพลิเมอร์ประจุบวก ในปริมาณ 10-100 มก./ลิตร สารส้ม และเฟอร์ริคคลอไรด์ในปริมาณ 0-1000 มก./ลิตร พบว่า ภายในเวลา 0-60 นาที มีการก่อตะกอนเล็กน้อย แต่ไม่พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน (ดูภาพประกอบ 4.7) และเมื่อใช้เฟอร์ริคคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอนพบว่า น้ำได้เปลี่ยนเป็นสีส้ม ตามสีของสารสร้างตะกอนด้วย (ดูภาพประกอบ 4.6)



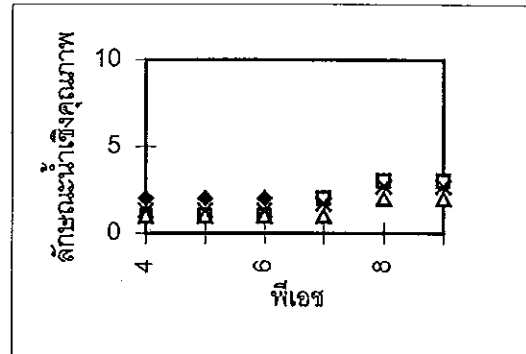
(1) (2) (3) (4)

ภาพประกอบ 4.6 แสดงลักษณะน้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก ที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอน ที่เวลา 60 นาที

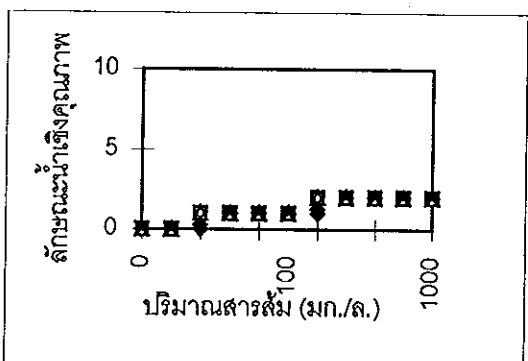
1. น้ำดิบ
2. ใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน
3. ใช้โพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน
4. ใช้เฟอร์ริคคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน



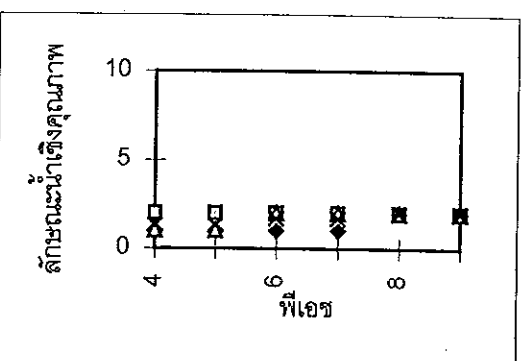
ก.



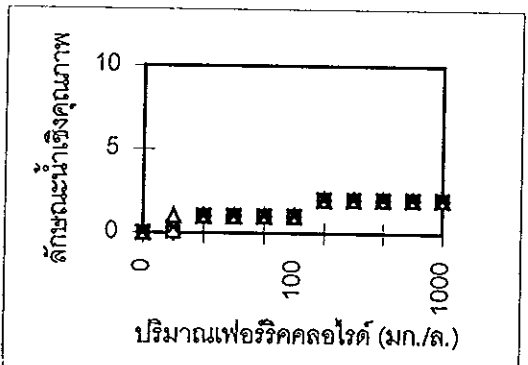
ข.



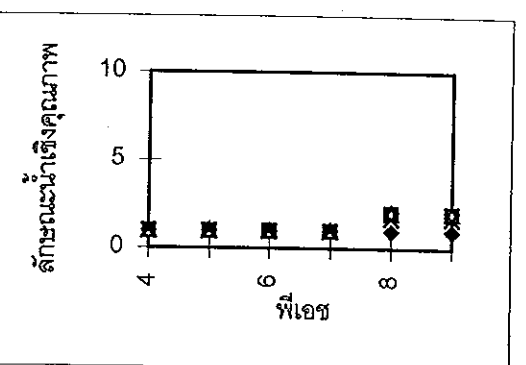
ค.



ง.



จ.



ฉ.

◆ ครั้งที่ 1   □ ครั้งที่ 2   ▲ ครั้งที่ 3   × เฉลี่ย

ภาพประกอบ 4.7 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ สำหรับน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟอก

ก. เมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ในปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน

ข. เมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ในปริมาณ 4 มก./ลิตร ที่พีเอชต่างๆ

ค. เมื่อใช้สารส้ม ในปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน

ง. เมื่อใช้สารส้ม ในปริมาณ 40 มก./ลิตร ที่พีเอช ต่างๆ

จ. เมื่อใช้ เฟอร์ริกคลอไรด์ ในปริมาณต่างๆ เป็นสารสร้างตะกอน

ฉ. เมื่อใช้ เฟอร์ริกคลอไรด์ ในปริมาณ 40 มก./ลิตร ที่พีเอชต่างๆ

#### 4.5.3 น้ำเสียรวม มีพีเอชเริ่มต้นของน้ำอยู่ในช่วง 10-12

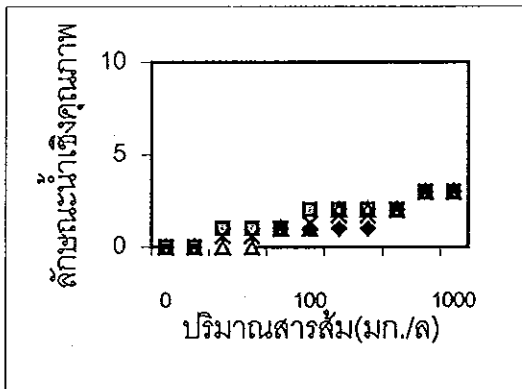
##### 4.5.3.1 การทดลองโดยใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน (ดูภาพประกอบที่ 4.8)

ก. การทดลองโดยใช้สารส้มในปริมาณ 0-1000 มก./ลิตร และไม่ปรับพีเอชของน้ำ พบว่าที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 40 มก./ลิตร เริ่มมีการก่อตะกอน แต่ไม่พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน และที่ความเข้มข้นของสารส้มตั้งแต่ 400-1000 มก./ลิตร เริ่มมีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 10-30 นาที ชั้นน้ำขุ่น

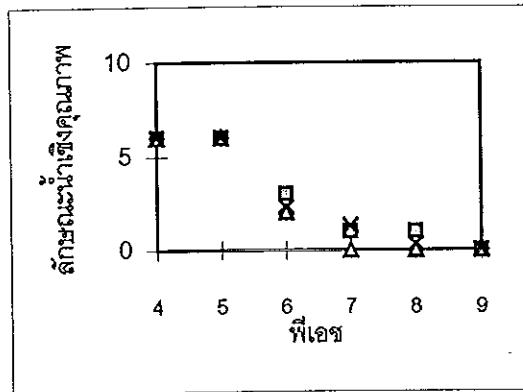
ข. การทดลองโดยปรับพีเอชของน้ำเป็น 4-9 และใช้ สารส้มในปริมาณ 40 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ซึ่งเป็นปริมาณที่ทำให้เริ่มเห็นมีการก่อตะกอน พบว่าที่ระดับพีเอช เท่ากับ 6 มีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 30 นาที ชั้นน้ำ ขุ่น และที่ ระดับพีเอช เท่ากับ 5 มีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 5-10 นาที ชั้นน้ำขุ่น

ค. การทดลองโดยใช้สารส้มปริมาณ 0-100 มก./ลิตร ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 6 พบว่า เมื่อใช้สารส้ม 0-40 มก./ลิตร พบการก่อตะกอน แต่ไม่พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน และเมื่อใช้สารส้ม 60-100 มก./ลิตร พบการก่อตะกอน แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 30 นาที แต่ชั้นน้ำขุ่น

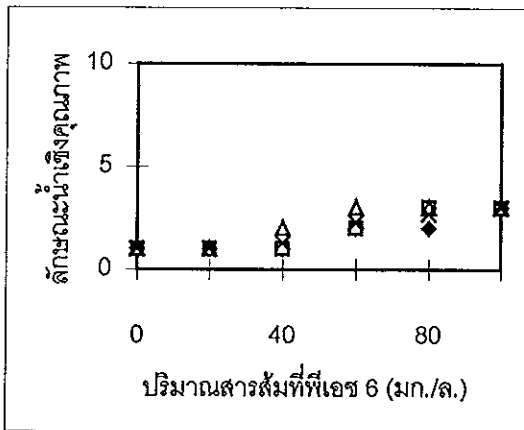
ง. การทดลองโดยใช้สารส้มปริมาณ 0-100 มก./ลิตร ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 5 พบว่าทุกความเข้มข้นของสารส้มที่ใช้ มีการก่อตะกอน แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ชั้นน้ำขุ่น



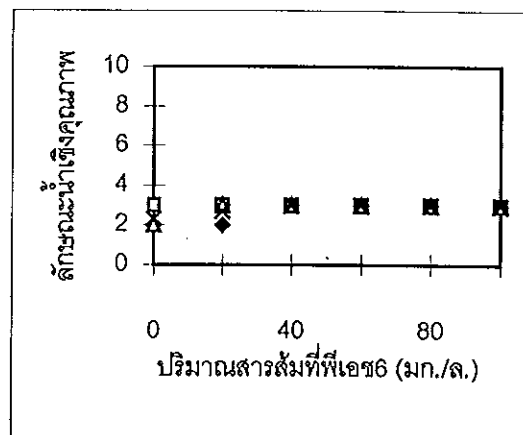
ก.



ข.



ค.



ง.

◆ ครั้งที่ 1 ■ ครั้งที่ 2 △ ครั้งที่ 3 × เฉลี่ย

ภาพประกอบ 4.8 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน  
สำหรับน้ำเสียรวม

- ก. ใช้สารส้ม ในปริมาณต่างๆ เป็นสารสร้างตะกอน
- ข. ใช้สารส้ม ในปริมาณ 40 มก./ลิตร ที่พีเอช ต่างๆ
- ค. ใช้ สารส้ม ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 6
- ง. ใช้ สารส้ม ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 5

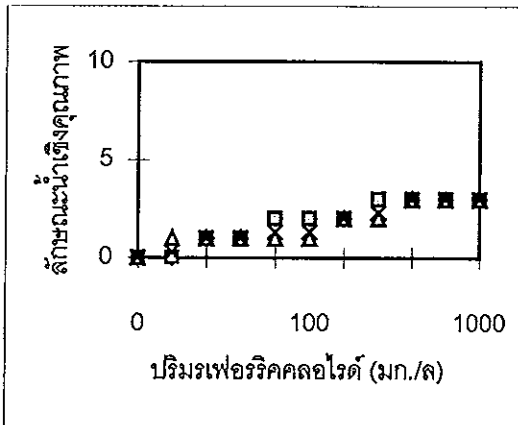
#### 4.5.3.2 การทดลองโดยใช้เฟอริคคโลไรด์ เป็นสารสร้างตะกอน (ดูภาพประกอบที่ 4.9)

ก. การทดลองโดยใช้เฟอริคคโลไรด์ ปริมาณ 0-1000 มก./ลิตร และไม่ปรับพีเอชของน้ำ พบว่าที่ความเข้มข้นของเฟอริคคโลไรด์ เท่ากับ 40 มก./ลิตร เริ่มมีการก่อตะกอน แต่ไม่พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน และที่ความเข้มข้นของเฟอริคคโลไรด์ ตั้งแต่ 200-1000 มก./ลิตร เริ่มมีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 10-30 นาที ชั้นน้ำ ขุ่น

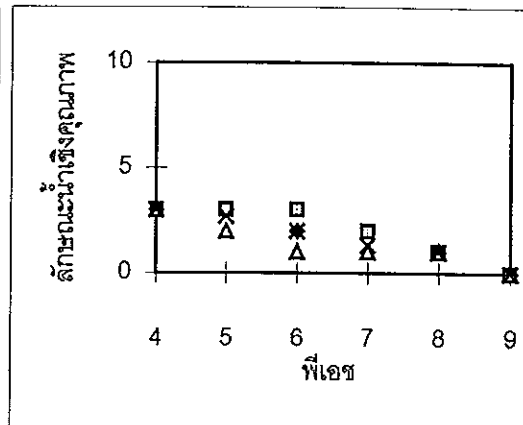
ข. การทดลองโดยปรับพีเอชของน้ำเป็น 4-9 และใช้เฟอริคคโลไรด์ ปริมาณ 40 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ซึ่งเป็นปริมาณที่ทำให้เริ่มเห็นมีการก่อตะกอน พบว่าที่ระดับพีเอช เท่ากับ 6 เริ่มมีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 30 นาที ชั้นน้ำ ขุ่น และที่ ระดับพีเอช เท่ากับ 5 มีการก่อตะกอน พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 5-10 นาที ชั้นน้ำขุ่น

ค. การทดลองโดยใช้เฟอริคคโลไรด์ปริมาณ 0-100 มก./ลิตร ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 6 พบว่าเมื่อใช้เฟอริคคโลไรด์ 20-40 มก./ลิตร พบการก่อตะกอน แต่ไม่พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน และเมื่อใช้เฟอริคคโลไรด์ 60-100 มก./ลิตร พบการก่อตะกอน แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 10 นาที แต่ชั้นน้ำขุ่น

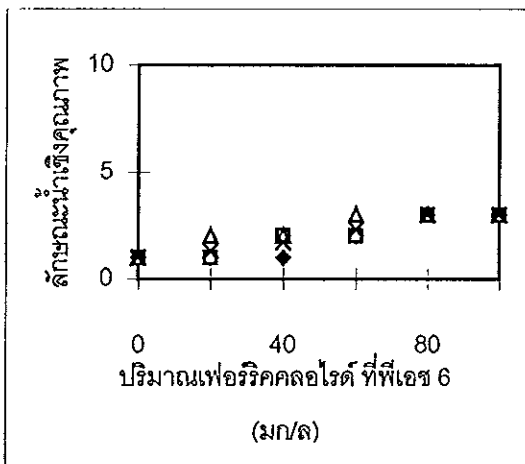
ง. การทดลองโดยใช้เฟอริคคโลไรด์ปริมาณ 0-100 มก./ลิตร ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 5 พบว่าทุกความเข้มข้นของเฟอริคคโลไรด์ ที่ใช้ มีการก่อตะกอน แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 10 นาที แต่ชั้นน้ำขุ่น



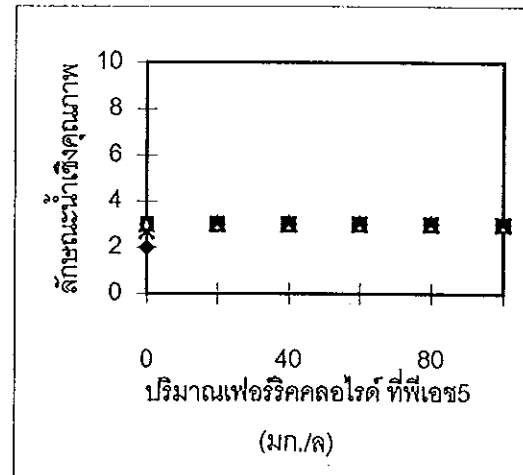
ก.



ข.



ค.



ง.

◆ ครั้งที่ 1 □ ครั้งที่ 2 △ ครั้งที่ 3 × เฉลี่ย

ภาพประกอบ 4.9 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอร์ริกคลอไรด์ เป็นสารสร้างตะกอน  
 สำหรับน้ำเสียรวม

- ก. ใช้ เฟอร์ริกคลอไรด์ ในปริมาณต่างๆ เป็นสารสร้างตะกอน
- ข. ใช้ เฟอร์ริกคลอไรด์ ในปริมาณ 40 มก./ลิตร ที่ที่เอช ต่างๆ
- ค. ใช้ เฟอร์ริกคลอไรด์ ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร ที่ที่เอชเท่ากับ 6
- ง. ใช้ เฟอร์ริกคลอไรด์ ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร ที่ที่เอชเท่ากับ 5

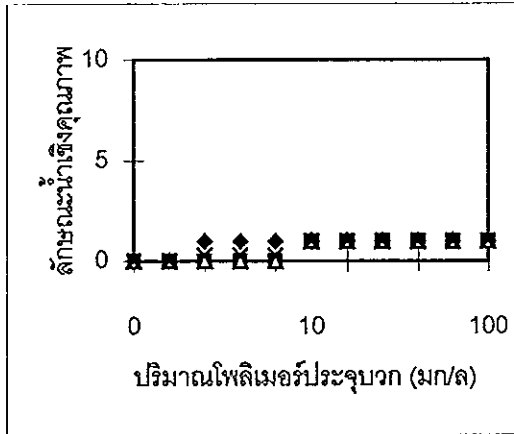
#### 4.5.3.3 การทดลองโดยใช้โพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน (รูปภาพประกอบที่ 4.10)

ก. การทดลองโดยใช้โพลิเมอร์ประจุบวกปริมาณ 0-100 มก./ลิตร และไม่ปรับพีเอชของน้ำ พบว่าเมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณ 4 มก./ลิตร ขึ้นไป เริ่มมีการก่อตะกอน แต่ไม่พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ตั้งแต่ 0-60 นาที

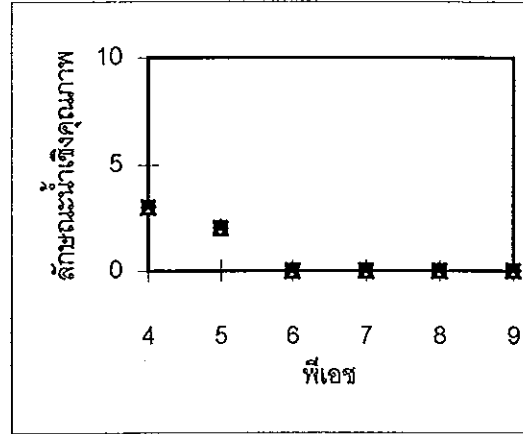
ข. การทดลองโดยปรับพีเอช ของน้ำเสียให้อยู่ระหว่าง 4-9 ใช้โพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณ 4 มก./ลิตร จะเห็นได้ว่าที่พีเอช เท่ากับ 5 พบมีการก่อตะกอน แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 5-10 นาที ชั้นน้ำขุ่น

ค. การทดลองโดยใช้โพลิเมอร์ประจุบวกปริมาณ 0-10 มก./ลิตร ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 6 พบว่า มีการก่อตะกอน แต่ไม่พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน

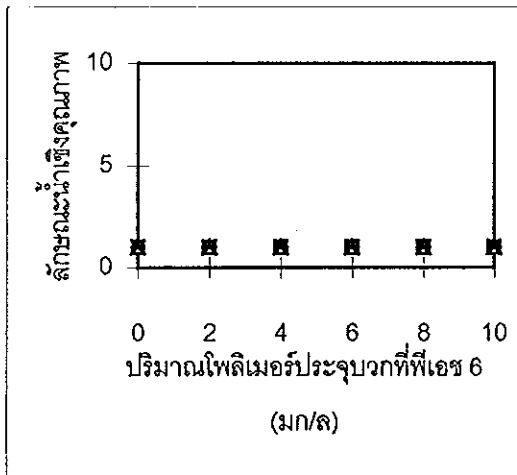
ง. การทดลองโดยใช้โพลิเมอร์ประจุบวกปริมาณ 0-10 มก./ลิตร ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 5 พบว่าทุกความเข้มข้นของโพลิเมอร์ประจุบวกที่ใช้ มีการก่อตะกอนแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ชั้นน้ำ ขุ่น



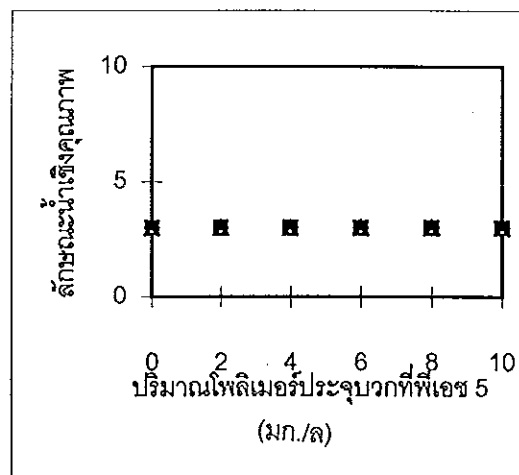
ก.



ข.



ค.



ง.

◆ ครั้งที่ 1 ■ ครั้งที่ 2 △ ครั้งที่ 3 × เฉลี่ย

ภาพประกอบ 4.10 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โฟสเฟอรัสประจุบวก เป็นสารสร้างตะกอน สำหรับน้ำเสียรวม

ก. ใช้ โฟสเฟอรัสประจุบวก ในปริมาณต่างๆ เป็นสารสร้างตะกอน

ข. ใช้ โฟสเฟอรัสประจุบวกในปริมาณ 4 มก./ลิตร ที่พีเอช ต่างๆ

ค. ใช้ โฟสเฟอรัสประจุบวก ในปริมาณ 0-10 มก./ลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 6

ง. ใช้ โฟสเฟอรัสประจุบวก ในปริมาณ 0-10 มก./ลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 5



#### 4.6 บทสรุป

จากผลการศึกษาค้นคว้าอย่างง่ายพบว่า การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการรวมตะกอน สำหรับโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษนี้ ในน้ำเสยรวมของโรงงาน ได้ผลไม่ดี ดังจะเห็นว่าเมื่อใช้ สารสร้างตะกอน ในปริมาณน้อยๆ พบว่าไม่มีการก่อตะกอน และเมื่อเพิ่มปริมาณสารสร้างตะกอนขึ้น พบว่ามีการก่อตะกอน แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนแต่ชั้นน้ำที่ได้จะขุ่น แม้จะเพิ่มปริมาณสารสร้างตะกอนมากขึ้น หรือการปรับ พีเอช ของน้ำเสียให้อยู่ระหว่าง 4-9 ชั้นน้ำที่ได้ก็ยังคงขุ่น แต่เมื่อทดลอง โดยแยกจัดการน้ำเสีย ตามที่มาของน้ำเสียได้ผลดีกว่า กล่าวคือ น้ำล้างเครื่องพิมพ์ พบว่า เมื่อใช้สารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด จะรวมตะกอนแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน โดยชั้นน้ำใส ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 5 ส่วนน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกพบว่าการศึกษาการแยกตะกอนโดยระบบอัดอากาศให้ตะกอนลอย ตะกอนไม่ลอย แต่จม และในเวลาที่ศึกษา คือ 0-60 นาที พบมีการก่อตะกอน แยกชั้นน้ำ กับชั้นตะกอน ไม่ชัดเจน เมื่อตั้งทิ้งไว้ประมาณ 10 ชั่วโมง พบมีการตกตะกอนแยกชั้นน้ำ กับชั้นตะกอน ชัดเจน

จากผลการศึกษาที่ได้นี้ชี้ให้เห็นว่า การจัดการน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ โดยใช้วิธีการรวมตะกอนนี้ ควรแยกจัดการน้ำเสีย ตามที่มาของน้ำเสีย ซึ่งจะช่วยให้การบำบัดมลสารในน้ำทิ้งทำได้ง่าย และมีประสิทธิภาพสูง โดยในน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกพบควรเพิ่มระยะเวลา ในการตั้งทิ้งให้ตกตะกอนนานขึ้นด้วย

## บทที่ 5

### การศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษด้วยวิธีการรวมตะกอน

#### 5.1 คำนำ

น้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมการพิมพ์กล่องกระดาษ เกิดได้จาก 2 จุดใหญ่ๆ คือน้ำเสียที่เกิดจากน้ำล้างสีบนเครื่องพิมพ์ และน้ำเสียที่เกิดจากน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟุ้ง จะเห็นว่าน้ำเสียที่ผ่านอุตสาหกรรมการพิมพ์กล่องกระดาษ จะมีสารให้สีและกาวยปนเปื้อนอยู่ เป็นจำนวนมาก เนื่องจากสีและแป้งที่ผ่านมากับน้ำเสียอยู่ในรูปของอนุภาคแขวนลอย ดังนั้น ถ้าสามารถแยกเอาอนุภาคเหล่านี้ออกไปได้ส่วนหนึ่ง จึงน่าจะสามารถลดปริมาณมลสารในน้ำเสียจากการผลิตออกไประดับหนึ่ง ก่อนที่จะปล่อยสู่ระบบบำบัดน้ำเสียเดิม ที่โรงงานมีอยู่ก่อนแล้วหรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่นๆต่อไป เป็นการหาเทคโนโลยีใหม่ไว้เพื่อเป็นทางเลือก ในการจัดการน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษต่อไป

#### 5.2 วัสดุ และอุปกรณ์

-กรวยแยกแบบมีจุดปิดขนาด 500 มิลลิลิตร (รูปภาพประกอบที่ 5.1)

-บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ติดแผ่นพลาสติกที่ขอบในทั้งสี่ด้านตลอดความลึก

(รูปภาพประกอบที่ 5.2)

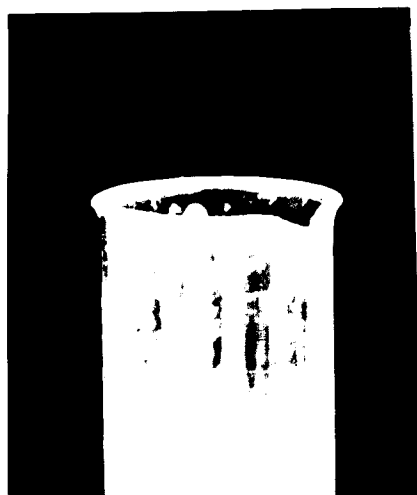
-เครื่องกวน รุ่น RW 20 ของ Kika-Labortechnik.

#### 5.3 จุดประสงค์

เพื่อหาแนวทางการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ ด้วยวิธีการรวมตะกอน



ภาพประกอบ 5.1 แสดงกรวยแยกแบบมีจุดปิด ที่ใช้ในการทดลอง



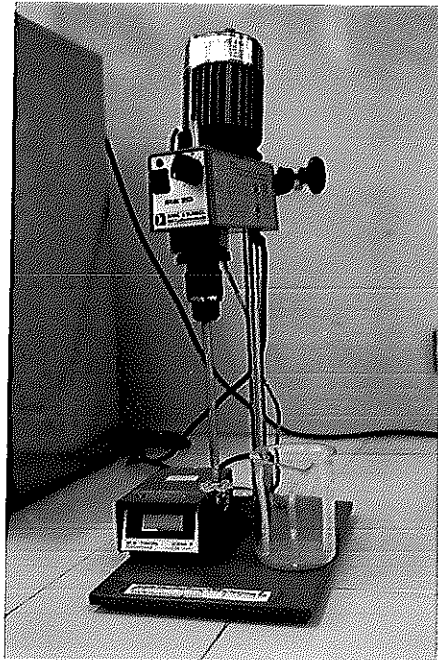
ภาพประกอบ 5.2 แสดงถังกวน และใบพัดกวนที่ใช้ทดลอง

#### 5.4 วิธีวิจัย

จากการพิจารณาหาชนิดของสารสร้างตะกอนและพีเอชที่เหมาะสม ในการรวมตะกอน โดยใช้วิธีศึกษาขั้นต้นอย่างง่าย ในบทที่ 4 นำชนิดของสารสร้างตะกอนและพีเอชที่เหมาะสมที่ได้ มาทำการศึกษาอย่างละเอียด โดยศึกษาที่ปริมาณสารสร้างตะกอนต่างๆกัน เนื่องจากน้ำเสียมีอนุภาคแข็งและอนุภาคที่เป็นส่วนประกอบ โดยจากการตรวจเอกสารและการศึกษาขั้นต้นอย่างง่าย พบว่าอนุภาคทั้งสองมีคุณสมบัติ แตกต่างกัน คืออนุภาคที่มีแนวโน้มที่จะลอย ในขณะที่อนุภาคแข็งมีแนวโน้มที่จะจม ในการศึกษาจึงแบ่งลักษณะของการทดสอบออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

5.4.1 น้ำเสียที่มีอนุภาคลี เป็นน้ำจากขั้นตอนการล้างเครื่องพิมพ์ และน้ำจากบ่อบำบัดน้ำเสียรวมของโรงงาน การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางเคมี จะใช้กระบวนการรวมตะกอน และวิธีทางกายภาพใช้กระบวนการลอยตะกอนแบบลอยด้วยอากาศละลาย ทำการทดสอบในกรวยแยกแบบมีจุกปิด ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมสารสร้างตะกอน แล้วทำการเขย่าอย่างแรงและเร็ว 20 ครั้ง ซึ่งจะให้เกิดการรวมตะกอนและลอยตะกอนในลักษณะ ลอยด้วยอากาศละลาย เนื่องจากในช่วงของการเขย่าอากาศส่วนหนึ่งในหลอดทดลอง ละลายเข้าไปในน้ำ และเมื่อหยุดเขย่าก็จะเกิดเป็นฟองขนาดเล็กลอยขึ้นสู่ผิว ตั้งทิ้งไว้ แล้วแยกน้ำใสมาวัดค่า พีเอช ความขุ่น และ COD

5.4.2 น้ำเสียที่มีเฉพาะอนุภาคแข็ง เป็นน้ำจากขั้นตอนการล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟูก การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางเคมี จะใช้กระบวนการรวมตะกอน และวิธีทางกายภาพจะใช้วิธีการตกตะกอน ทำการทดสอบในชุดการทดลอง (รูปภาพประกอบที่ 5.3) ซึ่งประกอบด้วยถังกวนที่คัดแปลงมาจากบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร โดยติดแผ่นพลาสติกที่ขอบในของ บีกเกอร์ทั้งสี่ด้านตลอดความลึกตามต้นแบบของ Holland และ Chapman (Holland and Chapman, 1966 ; Key and Hogg, 1979 and Ray and Hogg, 1987) และเครื่องกวน เติมสารสร้างตะกอนโดยเติมในระหว่างการกวน เมื่อเติมเสร็จจะหยุดการกวนทันที ทั้งนี้ เพราะจากการศึกษาที่ผ่านมา มีการศึกษาพบว่าหากกวนต่อหลังจากหยุดการเติมสารสร้างตะกอน จะทำให้ตะกอนบางส่วนแตกออกจากกันอีก (Bunnaul, 1993. and Ray and Hogg ,1987.) จากนั้นตั้งทิ้งไว้ แล้วจึงดูดน้ำใสเป็นช่วงเวลา ที่ 5, 10, 30, 60 นาที และ ชั่วโมงที่ 3, 5 และ 10 โดยดูดน้ำที่ระดับ 2 นิ้ว จากผิวหน้า นำมาวัดความขุ่น โดยตัวอย่างที่ ชั่วโมงที่ 10 นำมาวัดค่า COD ด้วย



ภาพประกอบที่ 5.3 แสดงชุดการทดลองการรวมตะกอนและตกตะกอนของน้ำล้างเครื่องผลิต  
กระดาษถูกฟูก

## 5.5 ผลและวิจารณ์ผล (ดูรายละเอียดผลการทดลองในภาคผนวก ข-2)

### 5.1 น้ำล้างเครื่องพิมพ์

จากผลการศึกษาค้นคว้าอย่างง่ายพบว่า น้ำล้างเครื่องพิมพ์ เมื่อใช้เฟอริคคลอไรด์ และสารส้ม เป็นสารสร้างตะกอนจะเกิดการรวมตะกอนตั้งแต่พีเอชเท่ากับ 6 โดยมีการก่อตะกอนแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน แต่ชั้นน้ำขุ่น และเมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวก เฟอริคคลอไรด์ และสารส้ม จะรวมตะกอนแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน โดยชั้นน้ำใส ที่พีเอชเท่ากับ 5 ดังนั้นในการศึกษาค้นคว้ารายละเอียดนี้ จึงทำการศึกษาการรวมตะกอนของ น้ำล้างเครื่องพิมพ์ ที่พีเอช 5 และ 6 โดยที่พีเอชเท่ากับ 5 ใช้เฟอริคคลอไรด์ และสารส้มปริมาณ 0-100 มก./ลิตร และโพลิเมอร์ประจุบวกปริมาณ 0-10 มก./ลิตร และที่ระดับพีเอช เท่ากับ 6 ใช้เฟอริคคลอไรด์ และสารส้ม ปริมาณ 200-1500 มก./ลิตร และโพลิเมอร์ประจุบวก ปริมาณ 10-100 มก./ลิตร

#### ก. การกำจัดมลสารเมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน

จากการทดลองพบว่า (ดูผลการทดลองในตาราง 5.1-5.2 และ รูปภาพประกอบ 5.4) เมื่อปรับพีเอชเท่ากับ 6 โดยไม่เติมสารส้ม มีการก่อตะกอนของน้ำเสียบ้าง แต่ไม่มีการแยกชั้นน้ำกับชั้น

ตะกอน และต้องเติมสารส้มสูงถึง 200 มก./ลิตร จึงพบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน โดยปริมาณสารส้มที่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคในน้ำเสีย ดีที่สุดที่พีเอช เท่ากับ 6 คือ 800 มก./ลิตร ซึ่งสามารถลดค่า COD ที่มีค่าระหว่าง 6,300-7,000 มก./ลิตร ลงเหลือ 684-803 มก./ลิตร และลดค่าความขุ่นที่มีค่าระหว่าง 2,000-2,800 NTU ลงเหลือ 35.5-42.3 NTU และเมื่อปรับพีเอชเท่ากับ 5 โดยไม่เติมสารส้ม พบว่าสามารถลดค่า COD และความขุ่นได้มากกว่าร้อยละ 90 คือสามารถลดค่า COD ลงเหลือ 845-860 มก./ลิตร และลดค่าความขุ่น ลงเหลือ 32.7-45 NTU เมื่อเติมสารส้ม ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารเพิ่มขึ้นได้อีกเล็กน้อย โดยปริมาณสารส้มที่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคในน้ำเสีย ที่ดีที่สุดที่พีเอช 5 คือ 60 มก./ลิตร สามารถลดค่า COD ลงเหลือ 706-871 มก./ลิตร และลดค่าความขุ่น ลงเหลือ 15.4-20.0 NTU

จะเห็นว่า ปริมาณสารส้มที่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคในน้ำเสียที่ดีที่สุด ที่พีเอช เท่ากับ 6 คือ 800 มก./ลิตร จุดนี้พีเอชภายหลังกระบวนการรวมตะกอน จะอยู่ในช่วง 4.9-5.1 และที่พีเอช เท่ากับ 5 เมื่อเติมสารส้มและเมื่อ ไม่ได้เติมสารส้ม ผลการกำจัดมลสารของน้ำเสีย ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การรวมตะกอนที่เกิดขึ้น เกิดจากค่าพีเอชน้ำเสีย ซึ่งค่าพีเอชในน้ำเสียจะมีผลต่อการรวมตัวของตะกอน เพราะค่าพีเอช ( $H^+$ ,  $OH^-$ ) ในน้ำจะเป็นตัวเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาค ให้เป็นบวกหรือลบ การปรับค่าพีเอชของน้ำให้ได้ค่าที่อนุภาค มีค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวน้อยที่สุด หรือไม่มีเลย (Point of zero charge, PZC) ทำให้แรงผลักระหว่างอนุภาค มีน้อยที่สุด แรงผลักระหว่างไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างอนุภาคจึงต่ำพอที่จะทำให้อนุภาคมาใกล้กัน และรวมเป็นตะกอนได้ ดังนั้นหากต้องการให้เกิดการรวมตะกอน โดยไม่ต้องเติมสารสร้างตะกอนอื่นใด จะต้องควบคุมค่าพีเอชของน้ำ ให้อยู่ใกล้ค่า PZC มากที่สุด อนุภาคสีในน้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องพิมพ์ สามารถเกาะติดกันเมื่อค่าพีเอชเท่ากับ 5 ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า อนุภาคสีชนิดที่ใช้ในโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษนี้ มีค่า PZC ใกล้เคียงกับ 5 ดังนั้นเมื่อปรับพีเอชมาที่ 5 อนุภาคสี จึงสามารถเกาะติดกันได้ด้วยแรงวานเดอร์วาลส์ เกิดการรวมตะกอนแบบ Mutual coagulation นั่นเอง การที่เติมสารส้ม ลงไปในน้ำเสีย แล้วทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารเพิ่มขึ้นได้อีกเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากสารส้มสามารถลดความหนาของชั้นประจุ จนทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาค มีค่าลดลง และยังลดค่าพีเอชให้เข้าใกล้ PZC ด้วย

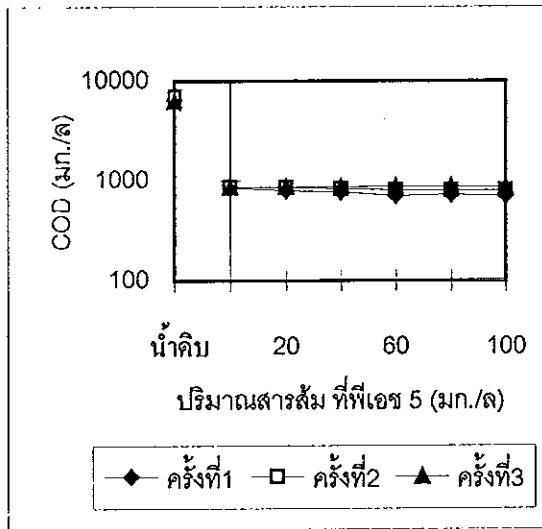
การรวมตะกอนที่เกิดจากการปรับพีเอชให้เท่ากับ 6 และเติมสารส้มในปริมาณสูงถึง 200 มก./ลิตร. เป็นการสร้างกลไกการรวมตะกอนแบบ ห่อหุ้มอนุภาคด้วยผลึก(Sweep coagulation) โดยสารส้ม จะสร้างกลุ่มผลึก  $Al(OH)_3$  คล้ายๆกับวุ้นห่อหุ้มอนุภาค และค่อยๆจมลง

ตาราง 5.1 แสดงการกำจัดมลสารของน้ำล้างเครื่องพิมพ์ เมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช 5

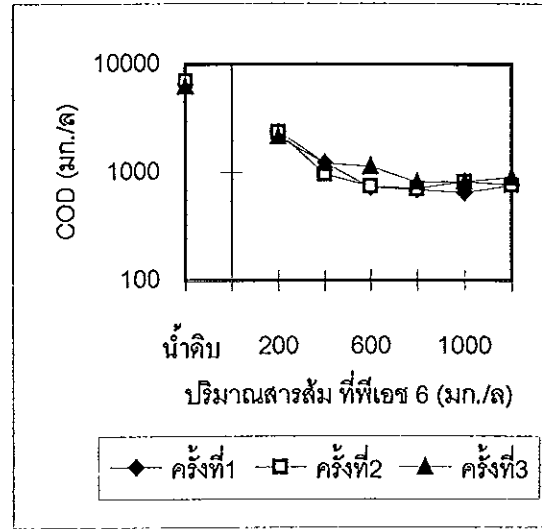
ลักษณะน้ำ	พีเอช	COD (มก./ลิตร)	ความขุ่น (NTU)	หมายเหตุ
- น้ำดิบ	8.1-8.5	6300-7050	2000-2837	
- หลังปรับพีเอชประมาณ 5 ด้วย $H_2SO_4$ 0.1 %	5.0-5.1	845-860	32.7-45	
- หลังเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ปริมาณ (มก./ลิตร.)				
- 20	5.0	784-864	28.3-38.3	
- 40	4.9-5.0	764-864	24.3-26.6	
- 60	4.8-4.9	706-871	15.4-20.0	
- 80	4.6-4.8	723-870	18.7-24.4	
- 100	4.5-4.6	705-869	15.7-25.0	

ตาราง 5.2 แสดงการกำจัดมลสารของน้ำล้างเครื่องพิมพ์ เมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช 6

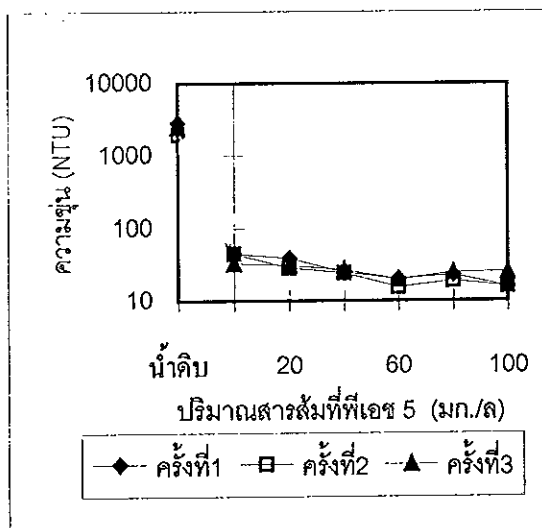
ลักษณะน้ำ	พีเอช	COD (มก./ลิตร)	ความขุ่น (NTU)	หมายเหตุ
- น้ำดิบ	8.1-8.5	6300-7050	2000-2837	
- หลังปรับพีเอชประมาณ 6 ด้วย $H_2SO_4$ 0.1 %	nd	nd	nd	เนื่องจากไม่พบการแยก
- หลังเติมสารส้มปริมาณ (มก./ลิตร.)				ชั้นน้ำกับชั้น
- 200	5.9-6.0	2134-2395	1194-1630	ตะกอน
- 400	5.6-5.8	957-1235	78-83	
- 600	5.4-5.5	722-1131	40-52.8	
- 800	4.9-5.1	684-803	35.5-42.3	
- 1000	4.5-4.7	646-819	30.8-48.3	
- 1500	4.1-4.4	756-900	30.3-41.8	



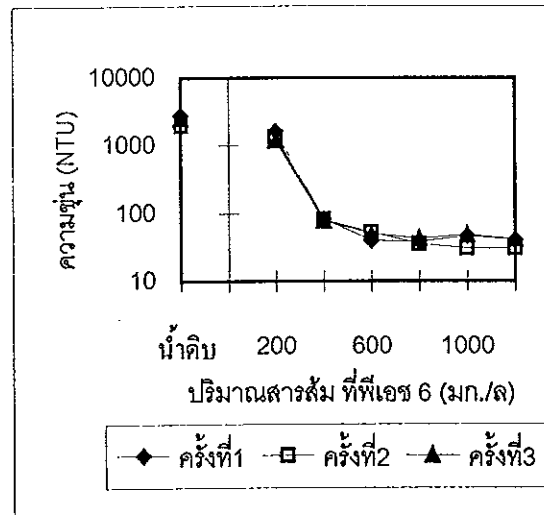
ก.



ข.



ค.



ง.

ภาพประกอบ 5.4 แสดงผลการกำจัดมลสารเมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน เมื่อค่าความขุ่น เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 2831 NTU ครั้งที่ 2 เท่ากับ 2000 NTU ครั้งที่ 3 เท่ากับ 2500 NTU และ ค่า COD เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 6550 มก./ลิตร ครั้งที่ 2 เท่ากับ 7050 มก./ลิตร และ ครั้งที่ 3 เท่ากับ 6300 มก./ลิตร

- ก. แสดงค่า COD ที่เหลือเมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5
- ข. แสดงค่า COD ที่เหลือเมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6
- ค. แสดงค่า ความขุ่น ที่เหลือเมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5
- ง. แสดงค่า ความขุ่น ที่เหลือเมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6



ข. การกำจัดมลสารเมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน

จากการทดลอง พบว่า (ดูผลการทดลองในตาราง 5.3-5.4 และ รูปภาพประกอบ 5.5) เมื่อปรับพีเอชเท่ากับ 6 โดยไม่เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ มีการก่อตะกอนของน้ำเสีย แต่ไม่มีการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน และต้องเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ถึง 200 มก./ลิตร จึงพบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน โดยปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ที่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคในน้ำเสียที่ดีที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 6 คือ 600 มก./ลิตร ซึ่งสามารถลดค่า COD ที่มีค่าระหว่าง 6,300-7,000 มก./ลิตร ลงเหลือ 646-902 มก./ลิตร และลดค่าความขุ่นที่มีค่าระหว่าง 2,000-2,800 NTU ลงเหลือ 29-38 NTU และเมื่อปรับพีเอชเท่ากับ 5 โดยไม่เติมเฟอร์ริกคลอไรด์พบว่าสามารถลดค่า COD ลงเหลือ 845-860 มก./ลิตร และลดค่าความขุ่น ลงเหลือ 32.7-45 NTU เมื่อเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารเพิ่มขึ้นได้อีกเล็กน้อย โดยปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ที่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคในน้ำเสีย ที่ดีที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 5 คือ 40 มก./ลิตร สามารถลดค่า COD ลงเหลือ 686-833 มก./ลิตร และลดค่าความขุ่น ลงเหลือ 28.2-39.1 NTU

จากผลการทดลองใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน เห็นว่าเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน คือน้ำเสียมีการรวมตะกอน และสามารถกำจัดมลสารได้มากกว่าร้อยละ 90 เมื่อปรับพีเอชเป็น 5 และการเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดมลสาร เพิ่มขึ้นได้อีกเล็กน้อยเท่านั้น

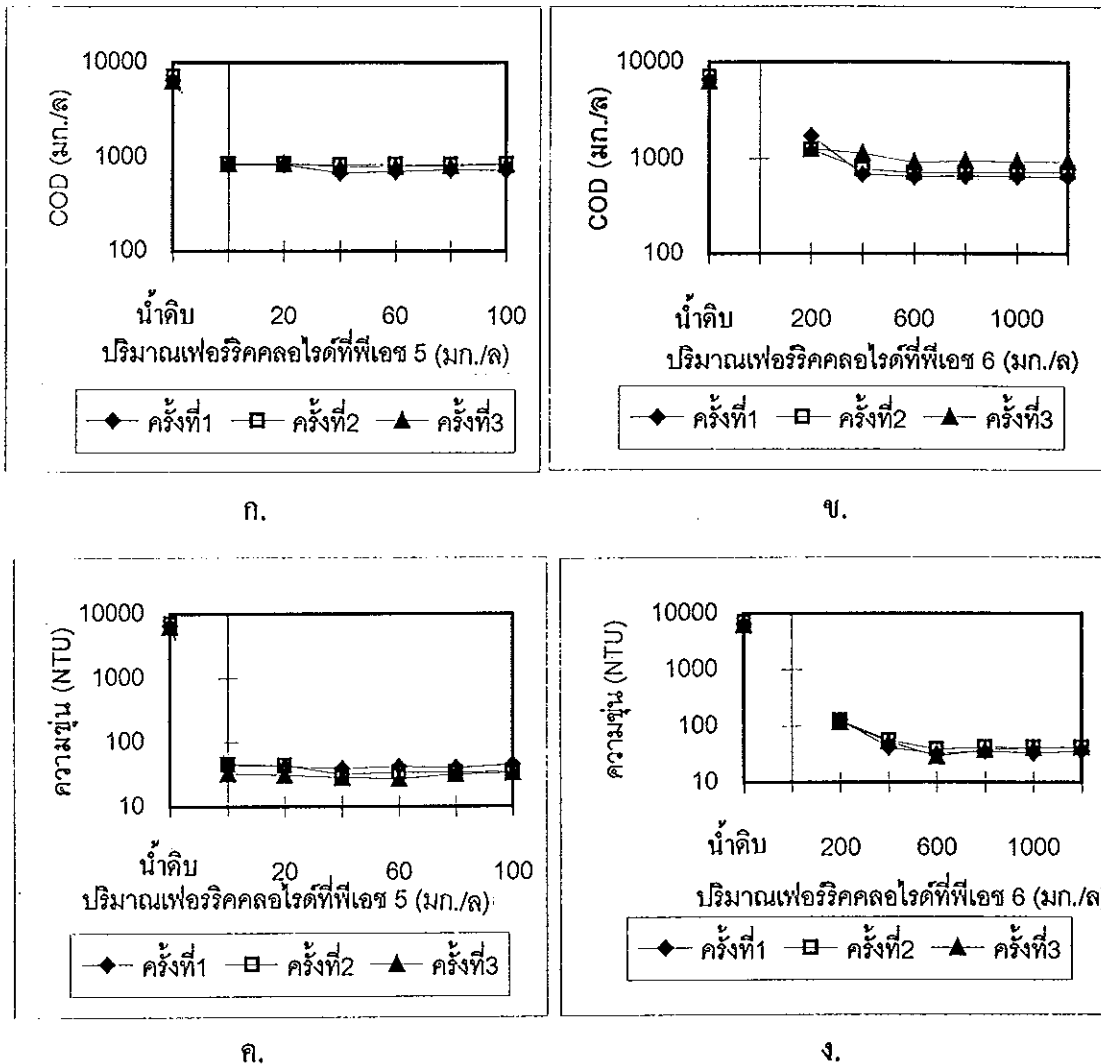
การรวมตะกอนที่เกิดจากการปรับพีเอชให้เท่ากับ 6 และ เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ มากพอ จะสร้างกลไกการรวมตะกอนแบบ ห่อหุ้มอนุภาคด้วยผลึก(Sweep coagulation) โดยเฟอร์ริกคลอไรด์ จะสร้างกลุ่มผลึก  $Fe(OH)_3$  คล้ายๆกับวุ้นห่อหุ้มอนุภาค และค่อยๆจมลง

ตาราง 5.3 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำล้างเครื่องพิมพ์ เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 5

ลักษณะน้ำ	พีเอช	COD (มก./ลิตร)	ความขุ่น (NTU)	หมายเหตุ
- น้ำดิบ	8.1-8.5	6300-7050	2000-2837	
- หลังปรับพีเอชประมาณ 5 ด้วย $H_2SO_4$ 0.1 %	5.0-5.1	845-860	32.7-45	
- หลังเติมสารส้มปริมาณ (มก./ลิตร.)				
- 20	4.9-5.0	842-850	31.1-44.2	
- 40	4.8-4.9	686-833	25.2-39.1	
- 60	4.8-4.9	705-844	27.2-42.0	
- 80	4.7-4.8	744-846	31.9-40.4	
- 100	4.5-4.6	735-856	33.3-45.1	

ตาราง 5.4 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำล้างเครื่องพิมพ์ เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6

ลักษณะน้ำ	พีเอช	COD (มก./ลิตร)	ความขุ่น (NTU)	หมายเหตุ
- น้ำดิบ	8.1-8.5	6300-7050	2000-2837	
- หลังปรับพีเอชประมาณ 6 ด้วย $H_2SO_4$ 0.1 %	nd	nd	nd	เนื่องจากไม่พบการแยก
- หลังเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ปริมาณ (มก./ลิตร.)				ชั้นน้ำกับชั้นตะกอน
- 200	5.7-5.8	1235-1710	115-130	
- 400	5.3-5.4	684-1131	41-55	
- 600	4.9-5.0	646-902	29-38	
- 800	4.7-4.8	650-927	35-41	
- 1000	4.3-4.4	644-918	33-42	
- 1500	4.1-4.2	645-917	35-42	



- ภาพประกอบ 5.5 แสดงผลการกำจัดมลสารเมื่อใช้เฟอริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน เมื่อค่าความขุ่น เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 2831 NTU ครั้งที่ 2 เท่ากับ 2000 NTU ครั้งที่ 3 เท่ากับ 2500 NTU และ ค่า COD เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 6550 มก./ลิตร ครั้งที่ 2 เท่ากับ 7050 มก./ลิตร และ ครั้งที่ 3 เท่ากับ 6300 มก./ลิตร
- ก. แสดงค่า COD ที่เหลือเมื่อใช้เฟอริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5
- ข. แสดงค่า COD ที่เหลือเมื่อใช้เฟอริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6
- ค. แสดงค่า ความขุ่น ที่เหลือเมื่อใช้เฟอริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5
- ง. แสดงค่า ความขุ่น ที่เหลือเมื่อใช้เฟอริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6

### ค. การทดลองโดยใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก เป็นสารสร้างตะกอน

จากการทดลองพบว่า (ดูผลการทดลองใน ตาราง 5.5-5.6 และ ภาพประกอบ 5.6) เมื่อปรับพีเอชเท่ากับ 6 โดยไม่เติมโพลีเมอร์ประจุบวก ไม่มีการก่อตะกอนของน้ำเสีย และต้องใช้โพลีเมอร์ประจุบวกสูงถึง 60 มก./ลิตร จึงสามารถลดค่า COD ที่มีค่าระหว่าง 6,300-7,000 มก./ลิตร ลงเหลือ 3010-3870 มก./ลิตร และลดค่าความขุ่นที่มีค่าระหว่าง 2,000-2,800 NTU ลงเหลือ 1080-1250 NTU และเมื่อปรับพีเอชเท่ากับ 5 โดยไม่เติมโพลีเมอร์ประจุบวกพบว่าสามารถลดค่า COD ลงเหลือ 845-860 มก./ลิตร และลดค่าความขุ่นลงเหลือ 32.7-45 NTU เมื่อเติมโพลีเมอร์ประจุบวก ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดมลสาร เพิ่มขึ้นได้อีกเล็กน้อย โดยปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวกที่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคในน้ำเสีย ที่ดีที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 5 คือ 6 มก./ลิตร สามารถลดค่า COD ลงเหลือ 603-700 มก./ลิตร และลดค่าความขุ่น ลงเหลือ 18-23 NTU

จะเห็นว่า ที่พีเอช 6 การเติมโพลีเมอร์ประจุบวกลงไปในน้ำเสีย ไม่ว่าจะเพิ่มปริมาณมากเพียงใด ค่าพีเอช ของน้ำเสียในการทดลอง จะเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก โดยค่าพีเอชของน้ำ จะอยู่ในช่วง 5.8-6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปริมาณของโพลีเมอร์ประจุบวกไม่มีผลต่อค่าพีเอชของน้ำ จากผลการทดลองจะสังเกตได้ว่า แม้จะใช้โพลีเมอร์ประจุบวกในปริมาณสูงแล้วก็ตาม ค่าความขุ่นและค่า COD ที่เหลือ ยังคงมีค่าสูงอยู่ ซึ่งอาจเป็นเพราะประจุบวกของโพลีเมอร์ ทำลายเสถียรภาพของอนุภาคแขวนลอยในน้ำล้างเครื่องพิมพ์ที่ไม่ดี จึงทำให้การเกาะติดผิวระหว่างอนุภาคกับโมเลกุลของโพลีเมอร์เป็นไปได้ไม่ดีด้วย และ การใช้โพลีเมอร์ประจุบวกในปริมาณสูง ก็จะทำให้อนุภาคแขวนลอยกลับมาเสถียรใหม่ได้ เพราะโพลีเมอร์หลายโมเลกุลจะไปเกาะอยู่บนอนุภาค จนกระทั่งไม่มีที่ว่างบนอนุภาค สำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระที่อยู่บนอนุภาคอื่นๆ ตะกอนที่เกิดขึ้น จึงเป็นตะกอนของโพลีเมอร์เอง มากกว่าการรวมตัวของอนุภาคในน้ำเสีย

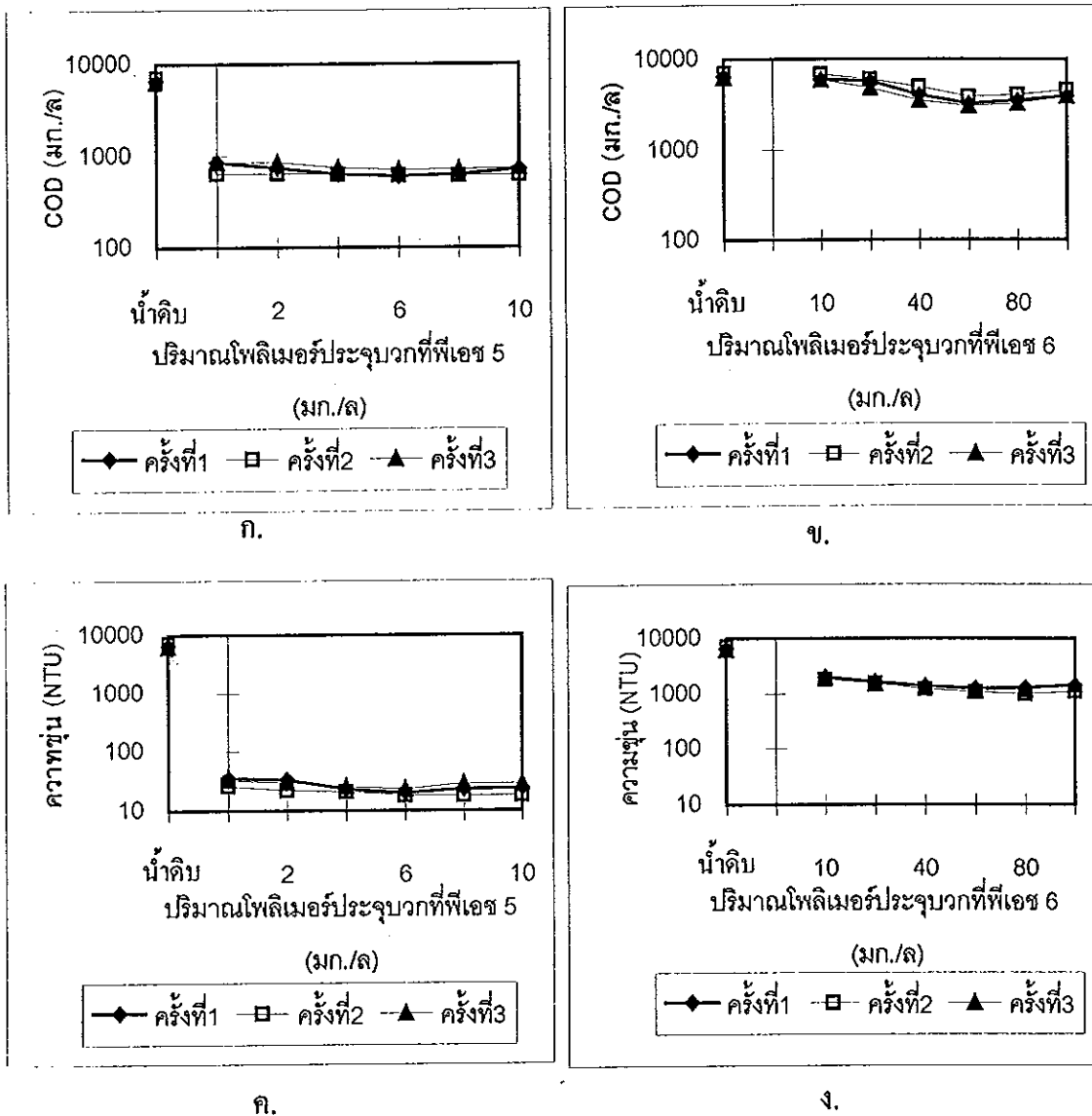
การรวมตะกอนที่ดีที่สุด เกิดขึ้นเมื่อปรับพีเอชเป็น 5 ตะกอน ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการใช้สารส้มและใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน เนื่องจากอนุภาคสีชนิดที่ใช้ในโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษนี้ มีค่า PZC ใกล้เคียงกับ 5 ดังนั้นเมื่อปรับพีเอชมาที่ 5 อนุภาคสี จึงสามารถเกาะติดกันได้ด้วยแรงวานเดอร์วาลส์ เกิดการรวมตะกอนแบบ Mutual coagulation นั่นเอง การที่เติมโพลีเมอร์ประจุบวก ลงไปในน้ำเสีย แล้วทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารเพิ่มขึ้นได้อีกเล็กน้อย อาจเนื่องมาจาก โพลีเมอร์ประจุบวกที่เติมลงไป ที่พีเอช 5 ประจุบวกของโพลีเมอร์ จะจับกับประจุลบที่เหลืออยู่ที่ผิวของอนุภาค เมื่ออนุภาคตั้งแต่ 2 อนุภาคขึ้นไป มาจับกับโพลีเมอร์ จะมีการสร้างสะพานตลอดสายความยาวของโพลีเมอร์ มีการรวมตัวกัน ทำให้มีฟล็อกขนาดใหญ่ขึ้น เกิดการตกตะกอนเร็วขึ้น

ตาราง 5.5 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำล้างเครื่องพิมพ์ เมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสาร  
สร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5

ลักษณะน้ำ	พีเอช	COD (มก./ลิตร)	ความขุ่น (NTU)	หมายเหตุ
- น้ำดิบ	8.1-8.5	6300-7050	2000-2837	
- หลังปรับพีเอชประมาณ 5 ด้วย $H_2SO_4$ 0.1 %	5.0-5.1	845-860	32.7-45	
- หลังเติมโพลิเมอร์ประจุบวกปริมาณ(มก./ลิตร)				
- 2	5.0-5.1	636-845	22.2-33	
- 4	5.0-5.1	628-731	21-25.2	
- 6	5.0	603-700	18-23	
- 8	5.0	612-711	18-28.8	
- 10	5.0	620-733	18.2-28.8	

ตาราง 5.6 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำล้างเครื่องพิมพ์ เมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้าง  
ตะกอนที่พีเอชเท่ากับ 6

ลักษณะน้ำ	พีเอช	COD (มก./ลิตร)	ความขุ่น (NTU)	หมายเหตุ
- น้ำดิบ	8.1-8.5	6300-7050	2000-2837	
- หลังปรับพีเอชประมาณ 6 ด้วย $H_2SO_4$ 0.1 %	nd	nd	nd	เนื่องจาก
- หลังเติมโพลิเมอร์ประจุบวกปริมาณ(มก./ลิตร)				ไม่พบการ
- 10	5.9-6.0	5930-6820	1800-2000	แยกชั้นน้ำ
- 20	5.9-6.7	4831-6020	1500-1650	กับชั้น
- 40	5.9-6.0	3520-4970	1210-1400	ตะกอน
- 60	5.9	3010-3870	1080-1250	
- 80	5.8-5.9	3230-4035	990-1300	
- 100	5.8	3900-4550	1095-1430	



ภาพประกอบ 5.6 แสดงผลการกำจัดมลสารเมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน เมื่อค่าความขุ่น เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 2831 NTU ครั้งที่ 2 เท่ากับ 2000 NTU ครั้งที่ 3 เท่ากับ 2500 NTU และ ค่า COD เริ่มต้นครั้งที่ 1 เท่ากับ 6550 มก./ลิตร ครั้งที่ 2 เท่ากับ 7050 มก./ลิตร และ ครั้งที่ 3 เท่ากับ 6300 มก./ลิตร

ก. แสดงค่า COD ที่เหลือเมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5

ข. แสดงค่า COD ที่เหลือเมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6

ค. แสดงค่า ความขุ่น ที่เหลือเมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5

ง. แสดงค่า ความขุ่น ที่เหลือเมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6

ง. สรุปผลการทดลอง ชนิดของสารสร้างตะกอนและพีเอชที่เหมาะสมในการรวมตะกอน ของ น้ำล้างเครื่องพิมพ์

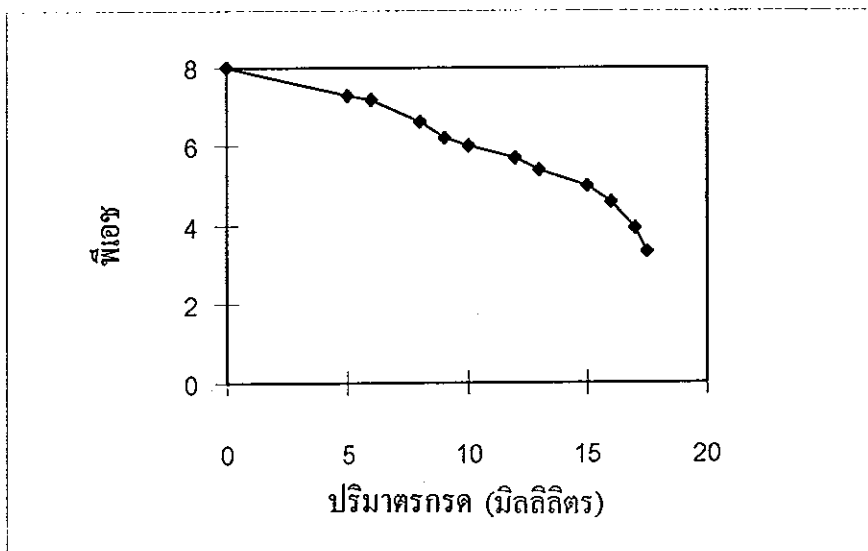
จากผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องพิมพ์ที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอน พบว่า ที่พีเอชเท่ากับ 6 เมื่อใช้สารส้ม 800 มก./ลิตร และเฟอร์ริกคลอไรด์ 600 มก./ลิตร และ พีเอชเท่ากับ 5 เมื่อใช้สารส้ม 60 มก./ลิตร เฟอร์ริกคลอไรด์ 40 มก./ลิตร และโพลีเมอร์ประจุบวก 6 มก./ลิตร สามารถกำจัดมลสารได้มากถึงร้อยละ 90 อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสาร ที่พีเอช เท่ากับ 5 และ 6 พบว่า ที่พีเอชเท่ากับ 6 จะต้องใช้สารสร้างตะกอนในปริมาณมาก จึงสามารถกำจัดมลสารได้ดี ในขณะที่ ที่พีเอชเท่ากับ 5 เมื่อเติมสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด และเมื่อ ไม่ได้เติมสารสร้างตะกอน มีความใกล้เคียงกันมาก คือ สามารถลดค่า COD ที่มีค่าระหว่าง 6,300-7,000 มก./ลิตร ได้ประมาณร้อยละ 87-90 และลดค่าความขุ่นที่มีค่าระหว่าง 2,000-2,800 NTU ได้ประมาณร้อยละ 98-99 จากผลการทดลองข้างต้น สามารถใช้เลือกแนวทางในการจัดการน้ำเสียด้วย กระบวนการรวมตะกอนจากจุดนี้ เป็น 2 กรณี คือการปรับพีเอชให้เท่ากับ 6 แล้วเติมสารสร้างตะกอนในปริมาณมาก หรือการปรับพีเอช ให้เท่ากับ 5 แล้วเติมสารสร้างตะกอนในปริมาณน้อย หรือไม่เติมสารสร้างตะกอนเลย ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก ค่าสารเคมีที่จะต้องใช้ในกระบวนการรวมตะกอน ได้แก่ค่าสารเคมีที่ใช้เป็นสารสร้างตะกอน (ดังแสดงในตารางที่ 5.7) และค่าสารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอช ของน้ำ ซึ่งจากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำล้างเครื่องพิมพ์ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ด้วย กรดซัลฟูริก 0.1 % พบว่าค่าพีเอชของน้ำเสียที่ถูกวิเคราะห์ จะมีการเปลี่ยนแปลง ดังภาพประกอบ 5.7 จากภาพประกอบดังกล่าว สามารถหาปริมาณกรดซัลฟูริก ที่ใช้ในการปรับพีเอชของน้ำตัวอย่าง เป็น 5 และ 6 ได้ และสามารถประมาณปริมาณกรดเข้มข้น ตลอดจนมูลค่าของกรด ที่ใช้ปรับค่าพีเอชได้ (ดังแสดงในตารางที่ 5.8) เมื่อ กรดเข้มข้นระดับการค้า (Commercial Grade) ความเข้มข้น 94 % มีราคา 600 บาท/ 20 ลิตร

ตาราง 5.7 ปริมาณและมูลค่าสารเคมี ที่ใช้เป็นสารสร้างตะกอนในกระบวนการรวมตะกอน

สารเคมี	ราคาสารเคมี (บาท/กก.)	ปริมาณที่ใช้ (มก./ลิตร)	ราคาสารเคมี (บาท/น้ำเสีย 1 ลบ.ม.)
-สารส้ม	7	800	5.6
-เฟอร์ริกคลอไรด์	40	60	0.42
-โพทัสเชียมเปอร์แมงกาเนต	40	40	1.6
-โพทัสเชียมเปอร์ซัลเฟต	300	4	1.2

ตาราง 5.8 ปริมาณและมูลค่ากรดซัลฟูริก 94 % ที่ใช้ในการปรับพีเอชของน้ำล้างเครื่องพิมพ์ 1 ลบ.ม.

ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณกรดซัลฟูริก เข้มข้นที่ใช้ (มิลลิลิตร)	มูลค่ากรด (บาท)
5	870	26.1
6	580	17.4



ภาพประกอบ 5.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงพีเอชของตัวอย่างน้ำล้างเครื่องพิมพ์ ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ที่ถูกติเตรดด้วยกรดซัลฟูริก 0.1%



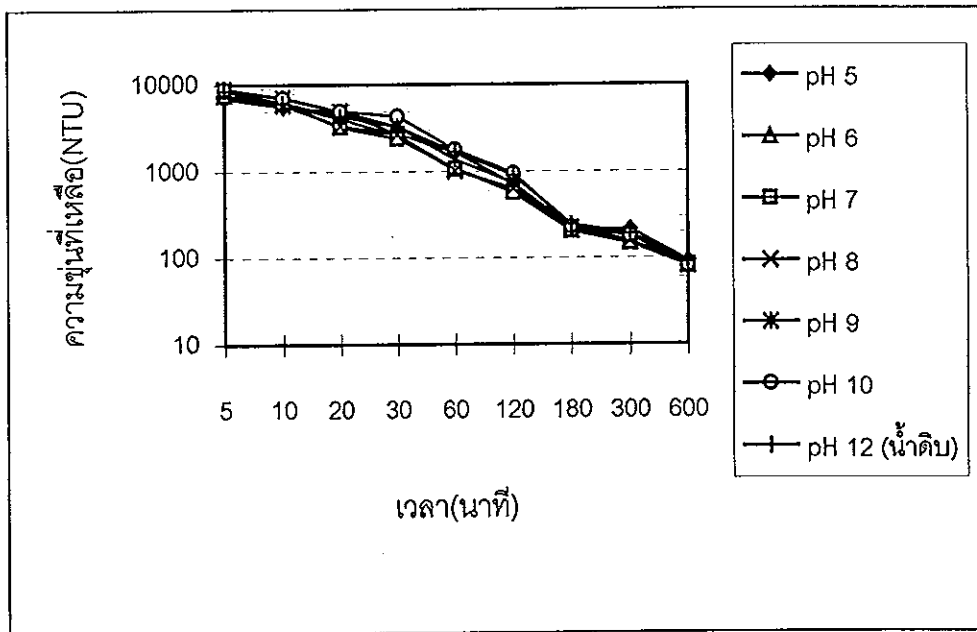
### 5.5.2 น้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟูก

จากผลการศึกษาระดับต้นอย่างง่ายพบว่า ในเวลาที่ศึกษา คือ 0-60 นาที พบมีการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน แต่เมื่อคั่งทิ้งค้างคืนไว้ พบมีการแยกชั้นน้ำ กับชั้นตะกอน ชัดเจน ดังนั้นจึงทำการศึกษารวมตะกอนและตกตะกอนของ น้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟูก โดยใช้สารส้ม ปริมาณ 0-100 มก./ลิตร และโพลิเมอร์ประจุบวก ปริมาณ 0-10 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5-12 ทำการรวมตะกอน และเก็บตัวอย่างน้ำเป็นช่วงเวลาที่ 5,10,30,60 นาที และที่ 3, 5 และ 10 ชั่วโมง มาหาความขุ่น โดยนำตัวอย่างน้ำ ชั่วโมงที่ 10 มาหาค่า COD

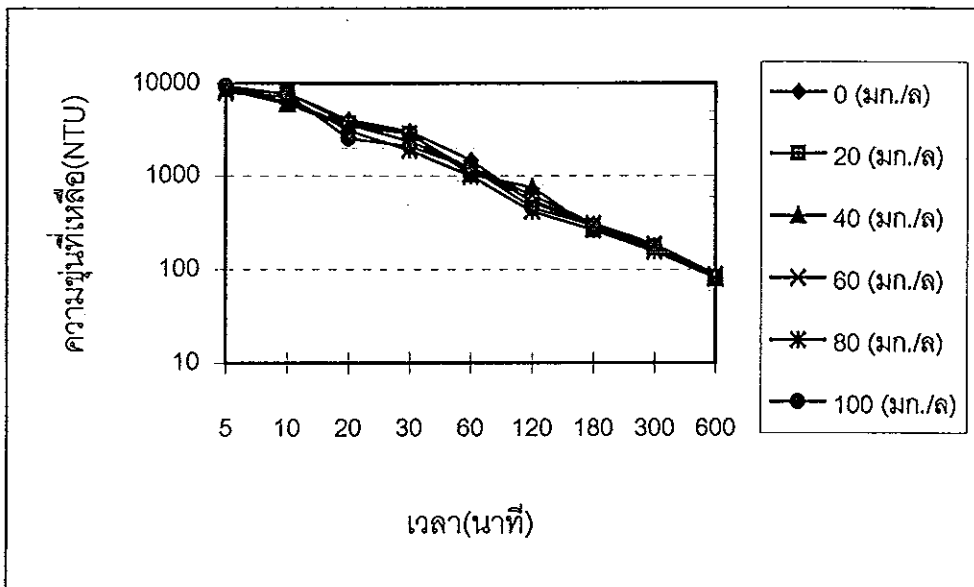
#### ก. การทดลองโดยใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน

ทำการทดลองโดยใช้สารส้มปริมาณ 40 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ซึ่งเป็นปริมาณที่เริ่มเห็นมีการก่อตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5-12 พบว่าที่พีเอชเท่ากับ 6-8 มีอัตราเร็วในการตกตะกอนใกล้เคียงกัน (ดูภาพประกอบที่ 5.8) คือสามารถลดความขุ่นที่มีค่า 9270 NTU ลงเหลือ 1018-1088 NTU ใน 60 นาทีแรก โดยที่พีเอชเท่ากับ 8 ความขุ่นที่เหลือที่ 60 นาที มีน้อยที่สุด คือ 1018 NTU

เมื่อทำการทดลองโดยใช้สารส้มปริมาณ 0-100 มก./ลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 8 พบว่า การใช้สารส้ม 80 มก./ลิตร. ลดความขุ่นเหลือ 1006 NTU ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดที่ 60 นาที (ดูภาพประกอบที่ 5.9)



ภาพประกอบ 5.8 แสดงค่าความขุ่นที่เหลือ (NTU) ที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้สารส้มปริมาณ 40 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5-12

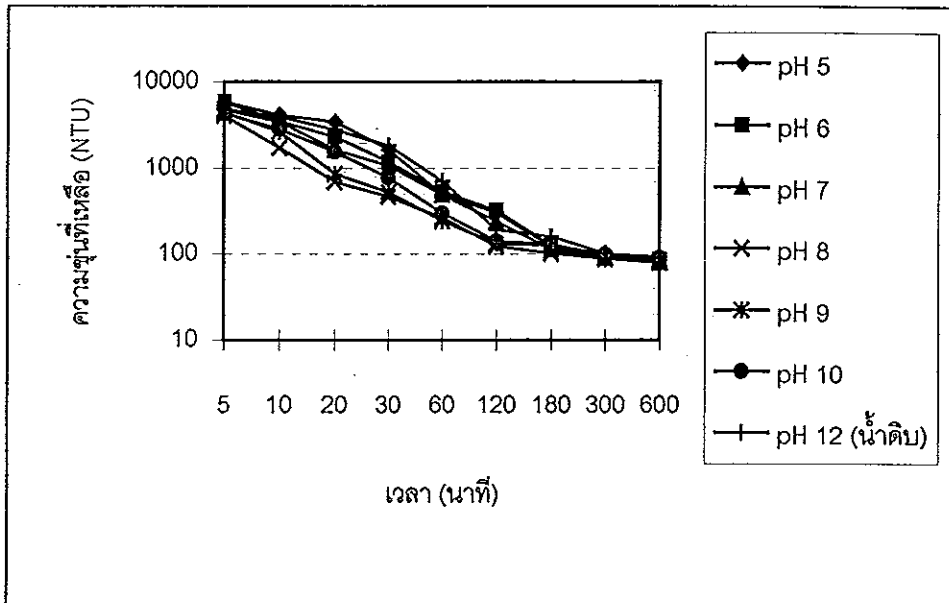


ภาพประกอบ 5.9 แสดงค่าความขุ่นที่เหลือ (NTU) ที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้สารส้มปริมาณ 0-100 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 8

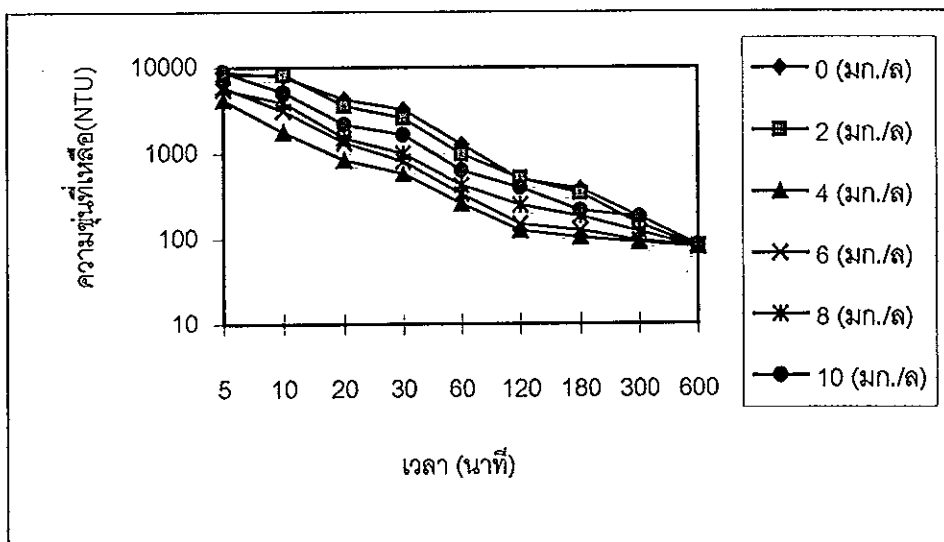
ข. การทดลองโดยใช้โพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน

ทำการทดลองโดยใช้โพลิเมอร์ประจุบวก ปริมาณ 4 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ซึ่งเป็นปริมาณที่เริ่มเห็นมีการก่อตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5-12 พบว่าที่พีเอชเท่ากับ 8 มีอัตราเร็วในการตกตะกอนมากที่สุด (ดูภาพประกอบที่ 5.10) คือสามารถลดความขุ่นที่มีค่า 9270 NTU ลงเหลือ 472 NTU ใน 30 นาทีแรก และเหลือ 265 NTU ใน นาทีที่ 60

เมื่อทำการทดลองโดยใช้โพลิเมอร์ประจุบวกปริมาณ 0-10 มก./ลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 8 พบว่าเมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวก 4 มก./ลิตร ความขุ่นที่เหลือที่ 60 นาที มีค่าน้อยที่สุด คือ 258 NTU (ภาพประกอบที่ 5.11)



ภาพประกอบ 5.10 แสดงค่าความขุ่นที่เหลือ (NTU) ที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวก ปริมาณ 4 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5-12



ภาพประกอบ 5.11 แสดงค่าความขุ่นที่เหลือ (NTU) ที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวก ปริมาณ 0-10 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 8

ค. สรุปผลการทดลอง ชนิดของสารสร้างตะกอนและระดับพีเอชที่เหมาะสมในการรวมตะกอนของน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟูก

จากผลการทดลอง จะเห็นว่าเมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 8 และความเข้มข้นเท่ากับ 4 มก./ลิตร ทำให้เกิดการรวมตะกอนได้ดี และตกตะกอนเร็วที่สุดคือ ในเวลา 10 นาทีแรก สามารถลดความขุ่นจาก 9270 NTU เหลือ 1764 NTU คิดเป็นร้อยละ 89.0 และในเวลา 60 นาที สามารถลดความขุ่นเหลือ 258 NTU คิดเป็นร้อยละ 97.2 ทั้งนี้เกิดจากการที่น้ำกาวมีค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวเป็นลบ ซึ่งเกิดจาก  $\text{OH}^-$  ในโซดาไฟ ที่เป็นส่วนผสมของกาว ทำให้เกิดแรงผลักกันระหว่างอนุภาค ดังนั้น เมื่อปรับพีเอช โดยการเติมกรดซัลฟูริก ซึ่งมี  $\text{H}^+$  ลงไปทำให้ความหนาของชั้นประจุบางลง มีผลทำให้ศักย์ไฟฟ้าลดลง และแรงผลักระหว่างอนุภาคลดลงด้วยอนุภาคจึงเข้าใกล้กันมากขึ้น หลังจากนั้นจึงถูกดึงดูดด้วยแรงวานเดอร์วาลส์ ทำให้เกิดการรวมตัวของตะกอน เมื่อใส่โพลิเมอร์ประจุบวกลงไป ประจุบวกของโพลิเมอร์ จะจับกับประจุลบที่เหลืออยู่ที่ผิวของอนุภาค เมื่ออนุภาคตั้งแต่ 2 อนุภาคขึ้นไป มาจับกับโพลิเมอร์ จะมีการสร้างสะพานคอลลอยด์สายความยาวของโพลิเมอร์ มีการรวมตัวกัน ทำให้มี ฟลอคขนาดใหญ่ขึ้น เกิดการตกตะกอนเร็วขึ้น

แต่อย่างไรก็ตาม การทดลองทุกชุด เมื่อตั้งทิ้งไว้เวลานาน 10 ชั่วโมง ค่า COD และความขุ่นที่เหลือของน้ำเสีย มีค่าใกล้เคียงกันแม้เมื่อไม่ได้เติมสารสร้างตะกอน คือสามารถลดค่า COD ที่มีค่าประมาณ 11570 มก./ลิตร ลงได้ประมาณร้อยละ 80-90 และลดค่าความขุ่น ที่มีค่าประมาณ 9270 NTU ลงได้ประมาณร้อยละ 99.5 (ดูผลการทดลองในตารางที่ 5.9-5.10) นั้นอาจกล่าวได้ว่า อนุภาคแป้ง มีขนาดของอนุภาคใหญ่พอที่จะวิ่งชนกัน แล้วเกาะติดกันเป็นฟลอค อีกทั้งแป้งยังเป็นสารอินทรีย์โพลิเมอร์ ซึ่งใช้เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer bridging) ตามธรรมชาติอยู่แล้ว (มันดิน ตัณหุลเวศน์, 2538) จึงสามารถเป็นสารสร้างตะกอน ในการกำจัดคอลลอยด์ได้ ดังนั้นอนุภาค จึงสามารถตกตะกอนได้เอง แต่ต้องใช้เวลามากขึ้น

จากผลการทดลองนี้ ทำให้พบทางเลือกในการจัดการน้ำเสียจากจุดนี้ เป็น 2 กรณี คือ การใช้สารสร้างตะกอนช่วยให้เกิดการรวมตะกอน และตกตะกอนในเวลาอันสั้น หรือ การปล่อยทิ้งไว้โดยไม่ต้องใช้สารเคมีใดๆ แต่ใช้เวลาในการตกตะกอนนานขึ้น สามารถคำนวณขนาดของถังตกตะกอนทั้ง 2 กรณี จากปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน และระยะเวลาที่ให้น้ำเสียอยู่ในถังตะกอน (Retention time) ได้ดังนี้ (ดูตัวอย่างการคำนวณจากภาคผนวก ค) ขนาดถังตกตะกอนเมื่อใช้โพลิเมอร์เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 8 มีปริมาตรเท่ากับ 2.25 ลบ.ม. และขนาดถังตกตะกอน เมื่อปล่อยทิ้งให้ตกตะกอนโดยไม่ใช้สารสร้างตะกอนใดๆ มีปริมาตรเท่ากับ 7.5 ลบ.ม.

ตาราง 5.9 แสดงค่ามลสารที่เหลือ ในชั่วโมงที่ 10 เมื่อใช้สารส้ม 40 มก./ลิตร และ โพลีเมอร์  
ประจุบวก 4 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชต่างๆ

พีเอช	สารส้ม				โพลีเมอร์ประจุบวก			
	CODที่เหลือ		ความขุ่นที่เหลือ		CODที่เหลือ		ความขุ่นที่เหลือ	
	มก./ลิตร	% Removal	NTU	% Removal	มก./ลิตร	% Removal	NTU	% Removal
5	2218	80.8	92	99.0	2026	82.5	84	99.1
6	2218	80.8	81	99.1	1868	83.9	80	99.1
7	2162	81.3	84	99.1	1906	83.5	80	99.1
8	2273	80.4	80	99.1	1826	84.2	80	99.1
9	1992	82.8	80	99.1	1826	84.2	85	99.1
10	2153	81.4	80	99.1	1756	84.8	90	99.0
12 (น้ำคิบ)	2256	80.5	89	99.0	1793	84.5	91	99.0

ตาราง 5.10 แสดงค่ามลสารที่เหลือ ในชั่วโมงที่ 10 เมื่อใช้สารส้มและ โพลีเมอร์ประจุบวกปริมาณ  
ต่างๆ เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 8

ปริมาณสารรวม ตะกอน (มก./ลิตร)		สารส้ม				โพลีเมอร์ประจุบวก			
สารส้ม	โพลีเมอร์ ประจุบวก	CODที่เหลือ		ความขุ่นที่เหลือ		CODที่เหลือ		ความขุ่นที่เหลือ	
		มก./ ลิตร	% Removal	NTU	% Removal	มก./ ลิตร	% Removal	NTU	% Removal
0	0	2280	80.1	80	99.1	1917	80.1	82	99.1
20	2	2231	80.7	84	99.1	2030	82.5	80	99.1
40	4	2250	80.6	80	99.1	1804	84.4	80	99.1
60	6	2270	80.4	88	99.1	1804	84.4	83	99.1
80	8	2290	80.2	81	99.1	1710	85.2	80	99.1
100	10	2231	80.7	82	99.1	1249	89.2	84	99.1

### 5.5.3 น้ำเสียรวม

จากการศึกษาขั้นต้นอย่างง่ายพบว่าน้ำเสียรวม ที่พีเอชเท่ากับ 6 เมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวก เป็นสารสร้างตะกอน จะเกิดการรวมตะกอนแต่ไม่พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 30 นาทีและเมื่อใช้เฟอริคคลอไรด์ และสารส้มเป็นสารสร้างตะกอน จะเกิดการรวมตะกอนพบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ใน 30 นาที และที่พีเอชเท่ากับ 5 เมื่อใช้สารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด จะเกิดการรวมตะกอนพบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนเร็วขึ้น ใน 5-10 นาที ดังนั้นในการศึกษาขั้นที่ 2 จึงทำการศึกษาการรวมตะกอนของ น้ำเสียรวม ที่พีเอชเท่ากับ 5 และ 6 โดยที่พีเอช 5 ใช้เฟอริคคลอไรด์ และสารส้ม ปริมาณ 0-100 มก./ลิตร และโพลิเมอร์ประจุบวก ปริมาณ 0-10 มก./ลิตร และที่พีเอชเท่ากับ 6 ใช้เฟอริคคลอไรด์ และสารส้ม ปริมาณ 200-1500 มก./ลิตร และโพลิเมอร์ประจุบวก ปริมาณ 0-100 มก./ลิตร

#### ก. การกำจัดมลสารเมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน

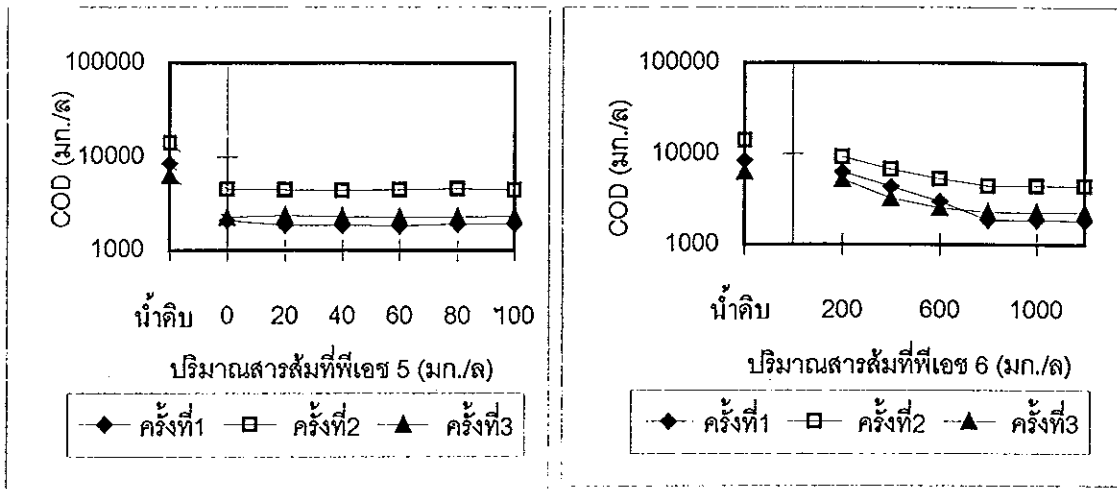
จากการทดลองพบว่า(ดูผลการทดลองในตาราง 5.11-5.12 และ ภาพประกอบ 5.12) เมื่อปรับพีเอชเท่ากับ 6 โดยไม่เติมสารส้ม มีการก่อตะกอนของน้ำเสียบ้าง แต่ไม่มีการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน และต้องเติมสารส้มสูงถึง 200 มก./ลิตร จึงพบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน โดยปริมาณสารส้มที่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคในน้ำเสีย ดีที่สุดที่พีเอช 6 เท่ากับ 800 มก./ลิตร โดยสามารถลดค่า COD ที่มีค่าระหว่าง 6317-13980 มก./ลิตร เหลือ 1850 -4430 มก./ลิตร และลดความขุ่น ที่มีค่าระหว่าง 3350-5825 NTU เหลือ 201-530 NTU และเมื่อปรับพีเอชเท่ากับ 5 โดยไม่เติมสารส้ม สามารถลดค่า COD ลงเหลือ 2064-4470 มก./ลิตร และความขุ่นเหลือ 233-880 NTU จะเห็นว่าเมื่อเติมสารส้ม ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารเพิ่มขึ้นได้อีกเล็กน้อย โดยปริมาณสารส้มที่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคในน้ำเสีย ที่ดีที่สุดที่พีเอช 5 คือ 40 มก./ลิตร สามารถลดค่า COD ลงเหลือ 1855-4324 มก./ลิตร และลดค่าความขุ่น ลงเหลือ 208-560 NTU

ตาราง 5.11 แสดงการกำจัดมลสารของน้ำเสียรวม เมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช 5

ลักษณะน้ำ	พีเอช	COD (มก./ลิตร)	ความขุ่น (NTU)	หมายเหตุ
- น้ำดิบ	9.5-12.5	6317-13980	3350-5825	
- หลังปรับพีเอชประมาณ 5 ด้วย $H_2SO_4$ 0.1 %	5.0-5.1	2060-4470	233-880	
- หลังเติมสารส้มปริมาณ (มก./ลิตร.)				
- 20	4.9-5.0	1865-4432	240-568	
- 40	4.9-5.0	1855-4324	208-560	
- 60	4.8-4.9	1816-4412	201-538	
- 80	4.7-4.8	1915-4561	193-574	
- 100	4.5-4.7	1908-4412	205-548	

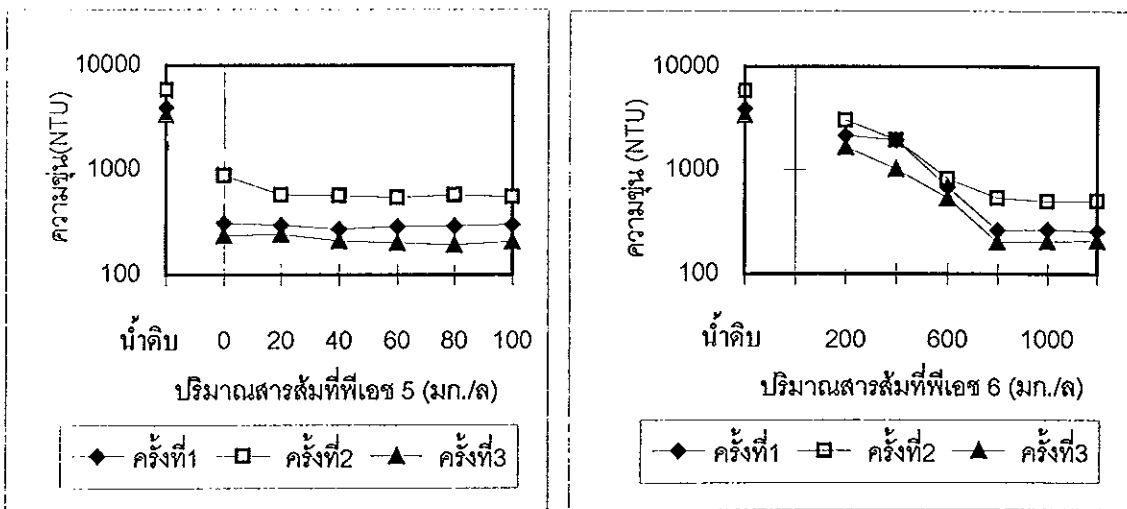
ตาราง 5.12 แสดงการกำจัดมลสารของน้ำเสียรวม เมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช 6

ลักษณะน้ำ	พีเอช	COD (มก./ลิตร)	ความขุ่น (NTU)	หมายเหตุ
- น้ำดิบ	9.5-12.5	6317-13980	3350-5825	
- หลังปรับพีเอชประมาณ 6 ด้วย $H_2SO_4$ 0.1 %	nd	nd	nd	เนื่องจากไม่พบการแยก ชั้นน้ำกับชั้น ตะกอน
- หลังเติมสารส้มปริมาณ (มก./ลิตร)				
- 200	5.8-5.9	5200-9200	1650-3012	
- 400	5.6-5.7	3250-6730	1012-1930	
- 600	5.4-5.5	2530-5260	530-820	
- 800	4.9-5.1	1850-4430	201-530	
- 1000	4.5-4.8	1846-4432	205-495	
- 1500	4.2-4.5	1830-4412	208-502	



ก.

ข.



ค.

ง.

ภาพประกอบ 5.12 แสดงผลการกำจัดมลสารเมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน เมื่อค่า COD เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 8500 มก./ลิตร ครั้งที่ 2 เท่ากับ 13980 มก./ลิตร และ ครั้งที่ 3 เท่ากับ 6317 มก./ลิตร และ ค่าความขุ่น เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 3900 NTU ครั้งที่ 2 เท่ากับ 5825 NTU ครั้งที่ 3 เท่ากับ 3350 NTU

- ก. แสดงค่า COD ที่เหลือเมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5  
 ข. แสดงค่า COD ที่เหลือเมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6  
 ค. แสดงค่า ความขุ่น ที่เหลือเมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5  
 ง. แสดงค่า ความขุ่น ที่เหลือเมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6



ข. การกำจัดมลสารเมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน

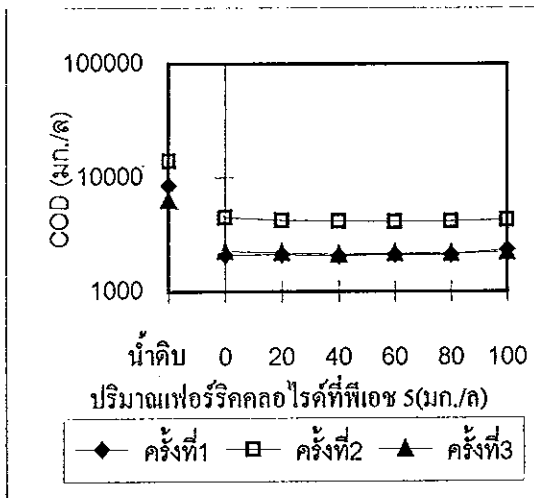
จากการทดลองพบว่า (ดูผลการทดลองในตาราง 5.13-5.14 และ ภาพประกอบ 5.13) เมื่อปรับพีเอชเท่ากับ 6 โดยไม่เติมเฟอร์ริกคลอไรด์มีการก่อตะกอนของน้ำเสียบ้าง แต่ไม่มีการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน และต้องเติมเฟอร์ริกคลอไรด์สูงถึง 200 มก./ลิตร จึงพบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน โดยปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ที่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคในน้ำเสีย ดีที่สุดที่พีเอช 6 เท่ากับ 600 มก./ลิตร โดยสามารถลดค่า COD ที่มีค่าระหว่าง 6317-13980 มก./ลิตร ลงเหลือ 2030-4100 มก./ลิตร และลดค่าความขุ่น ที่มีค่าระหว่าง 3350-5825 NTU เหลือ 245-880 NTU และเมื่อปรับพีเอชเท่ากับ 5 โดยไม่เติมเฟอร์ริกคลอไรด์สามารถลดค่า COD ลงเหลือ 2064-4470 มก./ลิตร และความขุ่นลงเหลือ 233-880 NTU เมื่อเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารเพิ่มขึ้นได้อีกเล็กน้อย โดยปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ที่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคในน้ำเสีย ที่ดีที่สุดที่พีเอช 5 คือ 40 มก./ลิตร สามารถลดค่า COD ลงเหลือ 2053-4136 มก./ลิตร และลดค่าความขุ่น ลงเหลือ 224-907 NTU

ตาราง 5.13 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียรวม เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 5

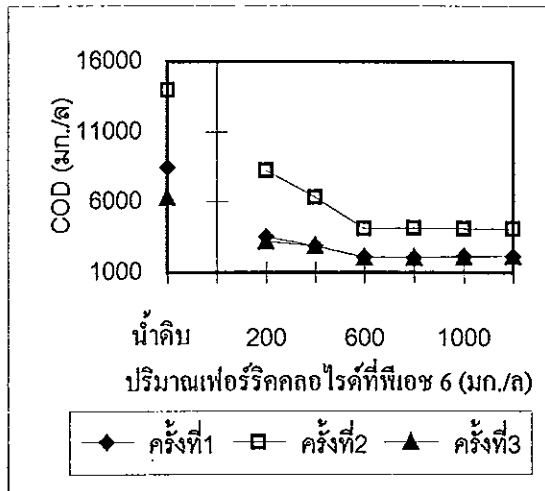
ลักษณะน้ำ	พีเอช	COD (มก./ลิตร)	ความขุ่น (NTU)	หมายเหตุ
- น้ำดิบ	9.5-12.5	6317-13980	3350-5825	
- หลังปรับพีเอชประมาณ 5 ด้วย $H_2SO_4$ 0.1 %	5.0-5.1	2064-4470	233-880	
- หลังเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ปริมาณ (มก./ลิตร)				
- 20	4.9-5.0	2089-4167	226-895	
- 40	4.9-5.0	2053-4136	224-907	
- 60	4.8-4.9	2090-4049	204-930	
- 80	4.5-4.8	2093-4135	224-907	
- 100	4.4-4.7	2121-4250	225-917	

ตาราง 5.14 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียรวม เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6

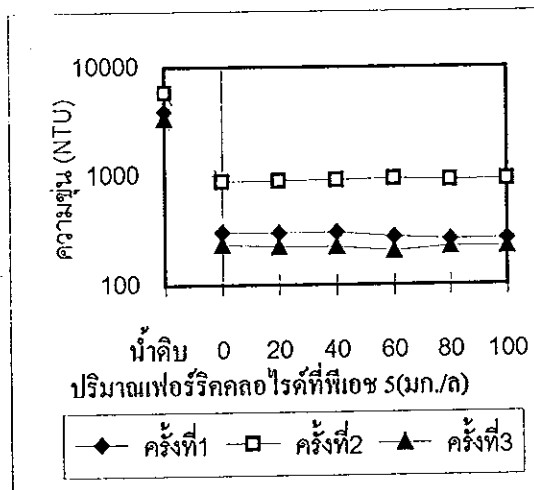
ลักษณะน้ำ	พีเอช	COD (มก./ลิตร)	ความขุ่น (NTU)	หมายเหตุ
- น้ำดิบ	9.5-12.5	6317-13980	3350-5825	
- หลังปรับพีเอชประมาณ 6 ด้วย $H_2SO_4$ 0.1 %	nd	nd	nd	เนื่องจากไม่พบการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน
- หลังเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ปริมาณ (มก./ลิตร)				
- 200	5.8-5.9	3210-8320	1350-2200	
- 400	5.4-5.6	2850-6350	850-1350	
- 600	4.9-5.1	2030-4100	245-880	
- 800	4.5-4.8	2047-4130	224-895	
- 1000	4.2-4.4	2093-4116	231-903	
- 1500	3.9-4.0	2130-4109	233-901	



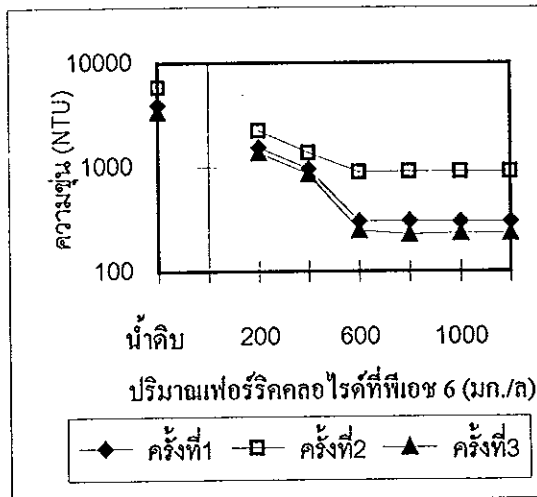
ก.



ข.



ค.



ง.

ภาพประกอบ 5.13 แสดงผลการกำจัดมลสารเมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน เมื่อค่า COD เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 8500 มก./ลิตร ครั้งที่ 2 เท่ากับ 13980 มก./ลิตร และ ครั้งที่ 3 เท่ากับ 6317 มก./ลิตร และ ค่าความขุ่น เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 3900 NTU ครั้งที่ 2 เท่ากับ 5825 NTU ครั้งที่ 3 เท่ากับ 3350 NTU

ก. แสดงค่า COD ที่เหลือเมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5

ข. แสดงค่า COD ที่เหลือเมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6

ค. แสดงค่า ความขุ่น ที่เหลือเมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5

ง. แสดงค่า ความขุ่น ที่เหลือเมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6

ค. การทดลองโดยใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก เป็นสารสร้างตะกอน

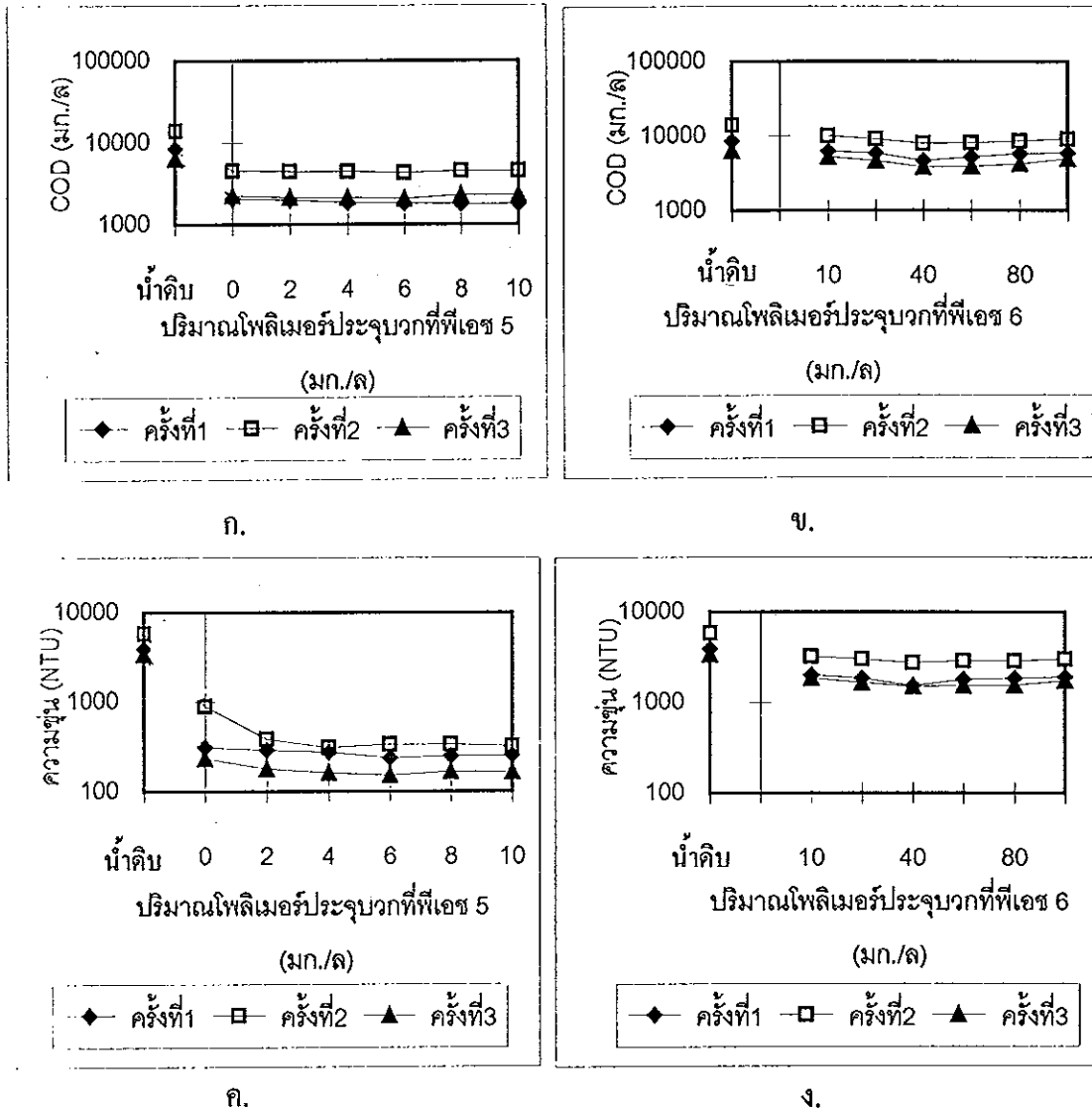
จากการทดลองพบว่า (ดูผลการทดลองใน ตาราง 5.15-5.16 และ ภาพประกอบ 5.14) เมื่อปรับพีเอชเท่ากับ 6 โดยไม่เติมโพลีเมอร์ประจุบวก ไม่มีการก่อตะกอนของน้ำเสีย และต้องเติมโพลีเมอร์ประจุบวก สูงถึง 40 มก./ลิตร จึงสามารถลดค่า COD ที่มีค่าระหว่าง 6317-13980 มก./ลิตร ลงเหลือ 3820-7930 มก./ลิตร และลดค่าความขุ่น ที่มีค่าระหว่าง 3350-5825 NTU เหลือ 1490-2700 NTU และเมื่อปรับพีเอชเท่ากับ 5 โดยไม่เติมโพลีเมอร์ประจุบวก สามารถลดค่า COD ลงเหลือ 2064-4470 มก./ลิตร และความขุ่นเหลือ 233-880 NTU เมื่อเติมโพลีเมอร์ประจุบวก ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารเพิ่มขึ้นได้อีกเล็กน้อย โดยปริมาณ โพลีเมอร์ประจุบวก ที่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคในน้ำเสีย ที่ดีที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 5 คือ 6 มก./ลิตร สามารถลดค่า COD ลงเหลือ 1796-4255 มก./ลิตร และลดค่าความขุ่น ลงเหลือ 150-336 NTU

ตาราง 5.15 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียรวม เมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอนที่พีเอชเท่ากับ 6

ลักษณะน้ำ	พีเอช	COD (มก./ลิตร)	ความขุ่น (NTU)	หมายเหตุ
- น้ำดิบ	9.5-12.5	6317-13980	3350-5825	
- หลังปรับพีเอชประมาณ 6 ด้วย $H_2SO_4$ 0.1 %	nd	nd	nd	เนื่องจาก
- หลังเติม โพลีเมอร์ประจุบวกปริมาณ(มก./ลิตร)				ไม่พบการ
- 10	5.9-6.0	5930-6820	1800-2000	แยกชั้นน้ำ
- 20	5.9-6.0	4831-6020	1500-1650	กับชั้น
- 40	5.9-6.0	3520-4970	1210-1400	ตะกอน
- 60	5.9	3010-3870	1080-1250	
- 80	5.8-5.9	3230-4035	990-1300	
- 100	5.8	3900-4550	1095-1430	

ตาราง 5.16 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียรวม เมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5

	พีเอช	COD (มก./ลิตร)	ความขุ่น (NTU)	หมายเหตุ
- น้ำดิบ	9.5-12.5	6317-13980	3350-5825	
- หลังปรับพีเอชประมาณ 5 ด้วย $H_2SO_4$ 0.1 %	5-5.1	2064-4470	233-880	
- หลังเติม โพลีเมอร์ประจุบวกปริมาณ(มก./ลิตร)				
- 2	5.0-5.1	636-845	177-380	
- 4	5.0-5.1	628-731	162-308	
- 6	5.1	603-700	150-336	
- 8	5.1	612-711	167-335	
- 10	5.1	620-733	163-320	



ภาพประกอบ 5.14 แสดงผลการกำจัดมลสารเมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน เมื่อค่า COD เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 8500 มก./ลิตร ครั้งที่ 2 เท่ากับ 13980 มก./ลิตร และ ครั้งที่ 3 เท่ากับ 6317 มก./ลิตร และ ค่าความขุ่น เริ่มต้น ครั้งที่ 1 เท่ากับ 3900 NTU ครั้งที่ 2 เท่ากับ 5825 NTU ครั้งที่ 3 เท่ากับ 3350 NTU

ก. แสดงค่า COD ที่เหลือเมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน ที่ที่เอชเท่ากับ 5

ข. แสดงค่า COD ที่เหลือเมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน ที่ที่เอชเท่ากับ 6

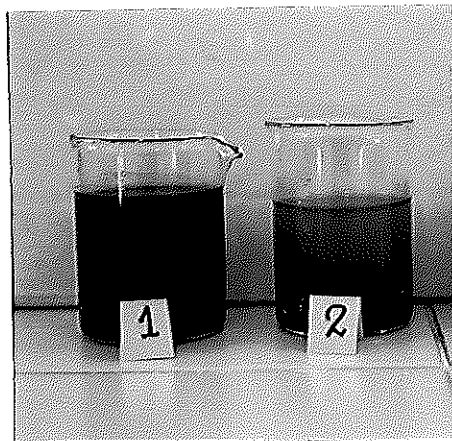
ค. แสดงค่า ความขุ่น ที่เหลือเมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน ที่ที่เอชเท่ากับ 5

ง. แสดงค่า ความขุ่น ที่เหลือเมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน ที่ที่เอชเท่ากับ 6

ง. สรุปผลการทดลอง ชนิดของสารสร้างตะกอนและพีเอชที่เหมาะสมในการรวมตะกอนของน้ำเสียรวม

จะเห็นว่าที่พีเอชเท่ากับ 5 เมื่อเติมสารสร้างตะกอนและเมื่อไม่ได้เติมสารสร้างตะกอน ผลการกำจัดมลสารใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับผลการกำจัดมลสารของน้ำล้างเครื่องพิมพ์ แต่ร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสารต่ำกว่า และความเข้มข้นของมลสารที่เหลือสูงกว่ามาก โดยคิดเป็นร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสาร พบว่า สามารถลดค่า COD ที่มีค่าระหว่าง 6,300-14,000 มก./ลิตร ได้ประมาณร้อยละ 69-73 และลดค่าความขุ่นที่มีค่าระหว่าง 3,300-5,800 NTU ได้ประมาณร้อยละ 90-94 เนื่องจากน้ำเสียในจุดนี้ มีทั้งอนุภาคสี และอนุภาคแข็งเป็นองค์ประกอบ เมื่อทำการศึกษารวมตะกอน และแยกตะกอนด้วยการลอยตะกอน ทำให้อนุภาคแข็งที่มีแนวโน้มว่าจะจม ไม่ลอยไปกับฟองอากาศที่เกิดขึ้น อนุภาคแข็งจึงยังคงปนอยู่ในชั้นน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัด ทำให้น้ำมีความเข้มข้นของมลสารที่เหลือ สูง (ดูภาพประกอบ 5.15)

จากผลการทดลองนี้ สามารถชี้ให้เห็นแนวทางการจัดการน้ำเสีย ที่เกิดจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ กล่าวคือ น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี แตกต่างกัน จึงควรมีการแยกการจัดการน้ำเสีย ตามที่มาของน้ำเสีย เพราะเมื่อน้ำเสียจากทั้ง 2 จุด มารวมกัน จะทำให้ยากต่อการจัดการมาก



ภาพประกอบ 5.15 แสดงน้ำเสียรวม (1) น้ำดิบ (2) น้ำผ่านกระบวนการรวมตะกอน

## บทที่ 6

### การศึกษาผลของความดันในระบบการลอยด้วยอากาศละลาย

#### 6.1 คำนำ

ระบบการลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย เป็นระบบที่อาศัยหลักการอัดอากาศลงไปใต้น้ำทั้ง ภายใต้อุณหภูมิสูงกว่าความดันบรรยากาศ เพื่อให้อากาศละลายลงในน้ำได้มากขึ้น จากนั้นจึงลด ความดันน้ำลงไปต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ทำให้อากาศส่วนเกินจากจุดอิ่มตัว แยกตัวออกมาเป็นฟอง ก๊าซขนาดเล็ก พาเอาตะกอนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ซึ่งในการคำนวณออกแบบระบบการลอยตะกอนด้วย อากาศละลายนี้ ตัวแปรพื้นฐานตัวแปรหนึ่งคือ ความดันที่เหมาะสม

#### 6.2 วัสดุ

- ถังใต้น้ำเสียขนาด 20 ลิตร
- ถังอัดความดันขนาด 20 ลิตร
- เครื่องอัดลม
- ถังลอยตะกอนขนาด 12 ลิตร
- เครื่องกวน รุ่น Re 162 ของ Kika-Labortechnik

#### 6.3 จุดประสงค์

เพื่อศึกษาความดันที่เหมาะสม ในการออกแบบระบบการลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย

#### 6.4 วิธีวิจัย

จากผลการทดลองในบทที่ 5 พบว่า กระบวนการการแยกตะกอนด้วยระบบอากาศละลาย ใช้ได้ ผลดีกับน้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องพิมพ์เท่านั้น ดังนั้นในการศึกษาผลของความดันที่มีต่อการแยกตะกอน ของระบบการลอยด้วยอากาศละลาย จึงใช้น้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องพิมพ์ ทำการรวมตะกอนโดยปรับพี เอชเท่ากับ 5 ทดลองที่ความดัน 40, 50, 60 และ 70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยใช้ถังอัดความดัน ซึ่งเป็นถัง แสตนเลส ขนาด 20 ลิตร ทนต่อแรงอัดอากาศได้ 70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทำการศึกษาเป็นขั้นตอน (รูปภาพประกอบ 6.1 -6.2) โดยแต่ละขั้นตอน ทำการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch test) ดังนี้

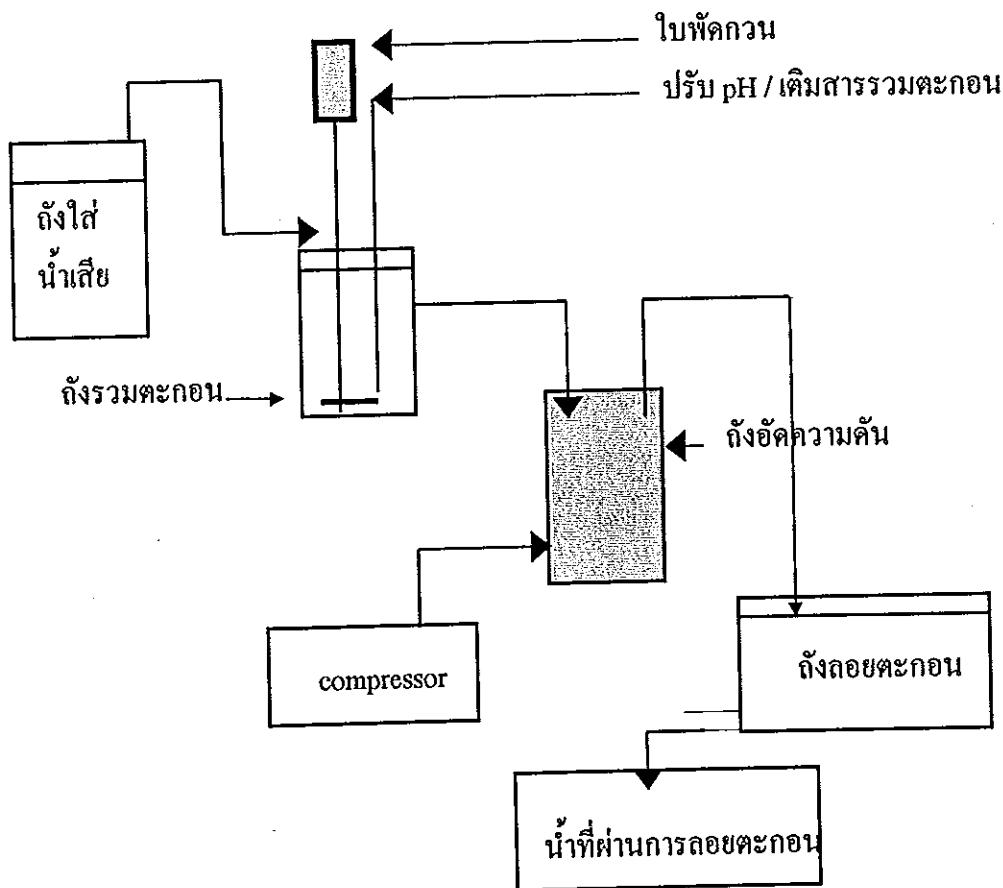
6.4.1 กระบวนการรวมตะกอน ทำการทดลองในถังรวมตะกอนขนาด 12 ลิตร ซึ่งมีการกวน ด้วยความเร็ว 1000 รอบ/นาที ตลอดเวลาที่ปรับพีเอช ให้เท่ากับ 5



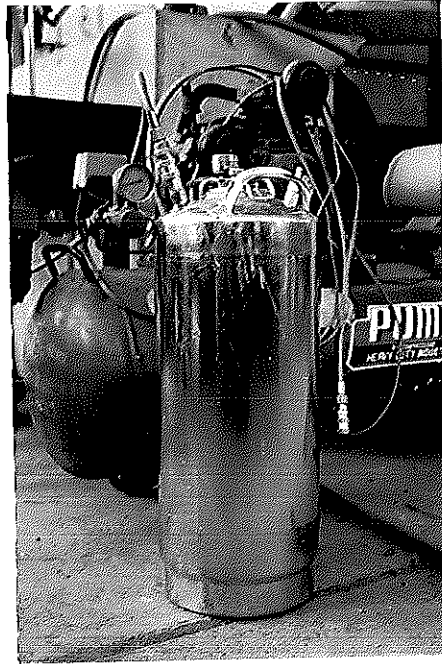
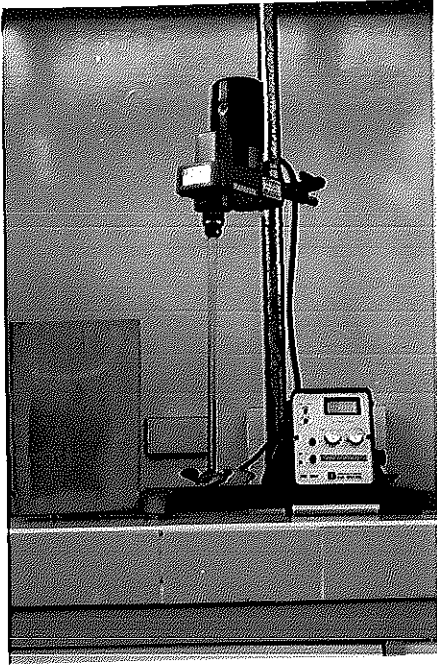
6.4.2 การอัดความดัน น้ำจากถังรวมตะกอนจะถูกสูบเข้าสู่ ถังอัดความดัน ทำการอัดอากาศที่ความดัน 40, 50, 60 และ 70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยระยะเวลาที่น้ำเสี้ยวอยู่ในถังเท่ากับ 5 นาที

6.4.3 กระบวนการลอยตะกอน หลังจากน้ำตัวอย่างผ่านการอัดความดันแล้ว ปล่อยน้ำเสี้ยวที่อยู่ในถังอัดความดัน เข้าสู่ถังลอยตะกอน ตั้งทิ้งไว้มีระยะเวลาในการเก็บกักน้ำ (Detention time) ประมาณ 1 ชั่วโมง ส่วนชั้นตะกอนจะลอยขึ้นส่วนบนของถัง ส่วนชั้นน้ำ จะไหลออกจากถังโดยการเปิดวาล์วบริเวณก้นถัง นำไปวิเคราะห์ปริมาณมลสารที่เหลือ วัดค่าตัวแปรคือความขุ่น และ COD โดยที่ความดันที่เหมาะสม วัดค่า BOD, SS, Cd และ Pb ด้วย

6.4.4 เขียนกราฟระหว่างความขุ่น และ COD ที่เหลือ ที่ความดันต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบผลของความดันที่มีต่อการแยกตะกอน

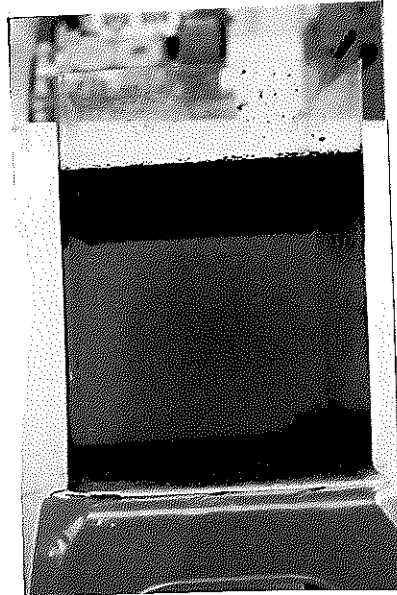


ภาพประกอบ 6.1 แสดงแบบจำลองการศึกษาผลของความดันในระบบการลอยด้วยอากาศละลาย



ก.

ข.



ค.

ภาพประกอบ 6.2 แสดงชุดการทดลองในห้องปฏิบัติการ

ก.ชุดการทดลองกระบวนการรวมตะกอน      ข. ชุดการทดลองกระบวนการอัดความดัน

ค.ชุดการทดลองกระบวนการลอยรวมตะกอน

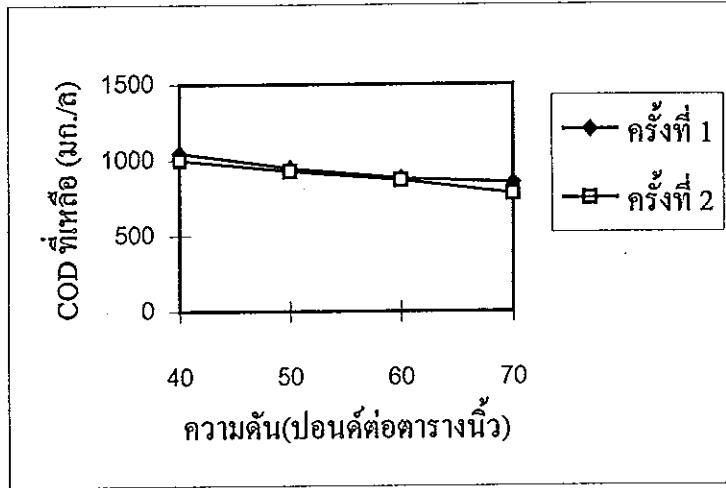
### 6.5 ผลและวิจารณ์ผล

จากการทดลองพบว่าที่ความดันสูงสุดที่ทำการทดสอบ และความดันสูงสุดที่ถึงอค์ความดัน รับได้ คือ 70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสูงสุด คือ สามารถลดค่า COD จาก 6550 มก./ลิตร ลงเหลือ 850 มก./ลิตร และลดค่าความขุ่น จาก 2837 NTU ลงเหลือ 58.8 NTU (ดูผลการทดลองในตารางที่ 6.1 และภาพประกอบ 6.3-6.4) จะเห็นว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปได้ว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้น การละลายของอากาศในน้ำจะมากขึ้น ดังนั้นเมื่อปล่อยน้ำเสียออกสู่ถังลอยตะกอน ซึ่งเป็นการลดความดันลง อากาศจะกลับตัวเป็นฟองอากาศเล็กๆ จำนวนมากที่ผิวของอนุภาค ห่อหุ้มอนุภาคไว้ และสามารถพาอนุภาคให้ลอยขึ้นไปที่ผิวน้ำได้มากขึ้น

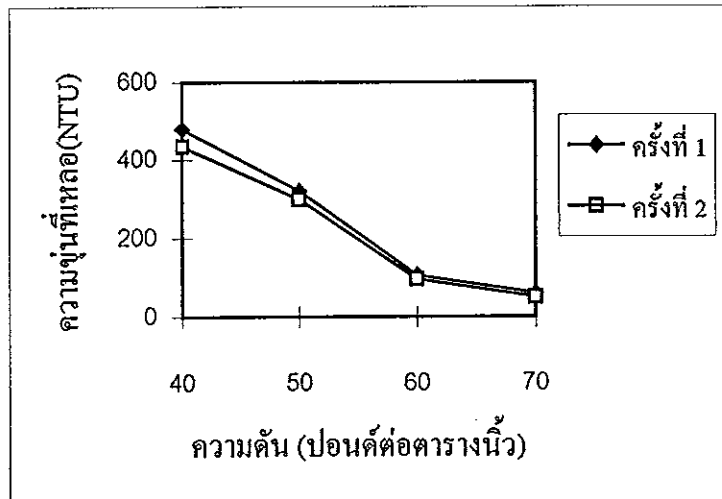
ตาราง 6.1 แสดงผลของความดันที่มีต่อการแยกตะกอนของระบบ ลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย ที่ความดัน 40, 50, 60 และ 70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ครั้งที่	ตัวแปร	น้ำดิบ	ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)			
			40	50	60	70
1	pH	8.1	4.9	5.0	4.9	4.9
	COD (มก./ลิตร)	6550	1048	950	880	850
	ความขุ่น(NTU)	2831	480	320	105	58.8
	BOD <sub>5</sub> (มก./ลิตร)	810	-	-	-	121
	SS (มก./ลิตร)	1240	-	-	-	23
	Cd (ppm)	0.005	-	-	-	nd
	Pb (ppm)	1	-	-	-	nd
2	pH	8.5	5.0	5.0	4.9	4.9
	COD (มก./ลิตร)	7050	998	925	867	780
	ความขุ่น(NTU)	2000	435	298	95	50.2
	BOD <sub>5</sub> (มก./ลิตร)	950	-	-	-	107
	SS (มก./ลิตร)	1142	-	-	-	16
	Cd (ppm)	0.01	-	-	-	nd
	Pb (ppm)	1.5	-	-	-	nd

หมายเหตุ : วัดค่าตัวแปร BOD<sub>5</sub>,SS,Cd และ Pb ที่ความดันที่เหมาะสม



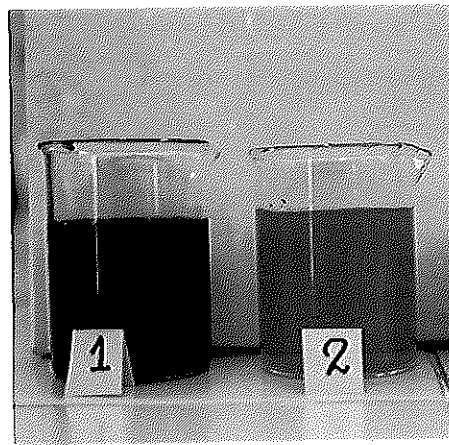
ภาพประกอบ 6.3 แสดงค่า COD ที่เหลือ ณ ความขุ่นต่างๆ ที่ใช้ในการแยกตะกอนด้วยระบบการลอยตัวด้วยอากาศละลายเมื่อ COD เริ่มต้นของน้ำดิบครั้งที่ 1 เท่ากับ 6550 มก./ลิตร และครั้งที่ 2 เท่ากับ 7050 มก./ลิตร



ภาพประกอบ 6.4 แสดงค่าความขุ่นที่เหลือ ณ ความขุ่นต่างๆ ที่ใช้ในการแยกตะกอนด้วยระบบการลอยตัวด้วยอากาศละลายเมื่อความขุ่นเริ่มต้นของน้ำดิบครั้งที่ 1 เท่ากับ 2837 NTU และครั้งที่ 2 เท่ากับ 2000 NTU

## 6.6 บทสรุป

จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดมลสาร เมื่อใช้กระบวนการรวมตะกอนและการแยกตะกอนด้วยระบบอากาศละลาย ที่ความดัน 70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สามารถกำจัดมลสารได้มากถึงร้อยละ 90 แต่ปริมาณมลสารที่เหลือ ยังเกินมาตรฐานอยู่มาก โดยเฉพาะ ค่า COD ที่เหลือ จะอยู่ในช่วง 600-700 มก./ลิตร เนื่องจากยังมีส่วนของสารให้สีที่เป็นสีขี้ม และสารเคมีอื่นๆ ที่เป็นส่วนประกอบของหมึกพิมพ์ ไม่สามารถรวมตัวเป็นฟล็อกได้ ดังจะเห็นว่าน้ำที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอน และการแยกตะกอนด้วยระบบอากาศละลาย จะมีลักษณะเป็นสีชมพู หรือม่วงอ่อนๆ (ดูภาพประกอบที่ 6.5) ไม่สามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นน้ำล้างเครื่องพิมพ์ ที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอน และการแยกตะกอนด้วยระบบอากาศละลาย จึงจำเป็นต้องได้รับการบำบัดขั้นต่อไปอีก เพื่อให้ได้น้ำทิ้งที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน



ภาพประกอบ 6.5 แสดงน้ำล้างเครื่องพิมพ์ (1) น้ำดิบ (2) น้ำที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอน

## บทที่ 7

การศึกษาระบบบำบัดขั้นต่อไป เพื่อบำบัดให้ได้น้ำที่เข้าเกณฑ์มาตรฐาน

### 7.1 คำนำ

การบำบัดน้ำเสีย มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทและปริมาณของน้ำเสีย เพื่อให้ได้น้ำทิ้งที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน ซึ่งวิธีบำบัดน้ำเสียแต่ละวิธี จะมีความสามารถในการกำจัดมลสารได้แตกต่างกัน ดังนั้น ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งหนึ่งๆ อาจจำเป็นต้องอาศัยวิธีการบำบัดน้ำเสียหลายวิธีก็ได้ จากการตรวจสอบเอกสารพบว่า วิธีการบำบัดน้ำเสียที่มีอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบ กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เป็นกระบวนการหนึ่งที่ยิมนำมาใช้ และให้ผลดี

### 7.2 วัสดุ

- เครื่องสูบน้ำ(Peristaltic pump) ยี่ห้อ Eylea รุ่น MP-3
- คอลัมน์ถ่านกัมมันต์ ท่อพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4.3 cm<sup>2</sup> สูง 50 cm<sup>2</sup>
- ถังเก็บน้ำขนาด 20 ลิตร

### 7.3 จุดประสงค์

7.3.1 เพื่อศึกษาการบำบัดน้ำที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนแล้ว บำบัดให้ได้น้ำที่เข้าเกณฑ์มาตรฐาน โดยวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

7.3.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านกัมมันต์ แบบต่อเนื่อง

### 7.4 วิธีวิจัย

7.4.1 ศึกษาการบำบัดน้ำที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอน โดยวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ โดยนำน้ำที่ได้จากขั้นตอนการรวมตะกอนจากการทดลองในบทที่ 5 ผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง การนำน้ำเสีรวมที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนมากรองโดยตรง และการแยกจัดการกับน้ำจากน้ำล้างเครื่องพิมพ์ กับน้ำจากน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกปูก มาทำการรวมตะกอนก่อน แล้วจึงนำมากรอง โดยศึกษาเป็นขั้นตอน ดังนี้

7.4.1.1 เตรียมถ่านโดยใช้กรรขัลดฟริกเจือจาง และน้ำกลั่น ล้างถ่านกัมมันต์ แล้วแช่ถ่านในน้ำกลั่น ให้ถ่านอิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อถ่านอิ่มน้ำ จึงบรรจุถ่านด้วยแบบจำลอง (รูปภาพประกอบ 7.1-7.2)

7.4.1.2 ปล่อยน้ำทิ้งเข้าสู่แบบจำลองด้วยอัตราน้ำล้นผิวคงที่ 2 ลิตร/ชั่วโมง

7.4.1.3 เก็บตัวอย่างทุกๆ 20 นาที เป็นเวลา 220 นาที มาวิเคราะห์ค่า COD ฟิเอช และความขุ่น

7.4.1.4 เขียนกราฟระหว่างร้อยละของการลดความขุ่น และ COD กับปริมาตรของน้ำตัวอย่าง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์

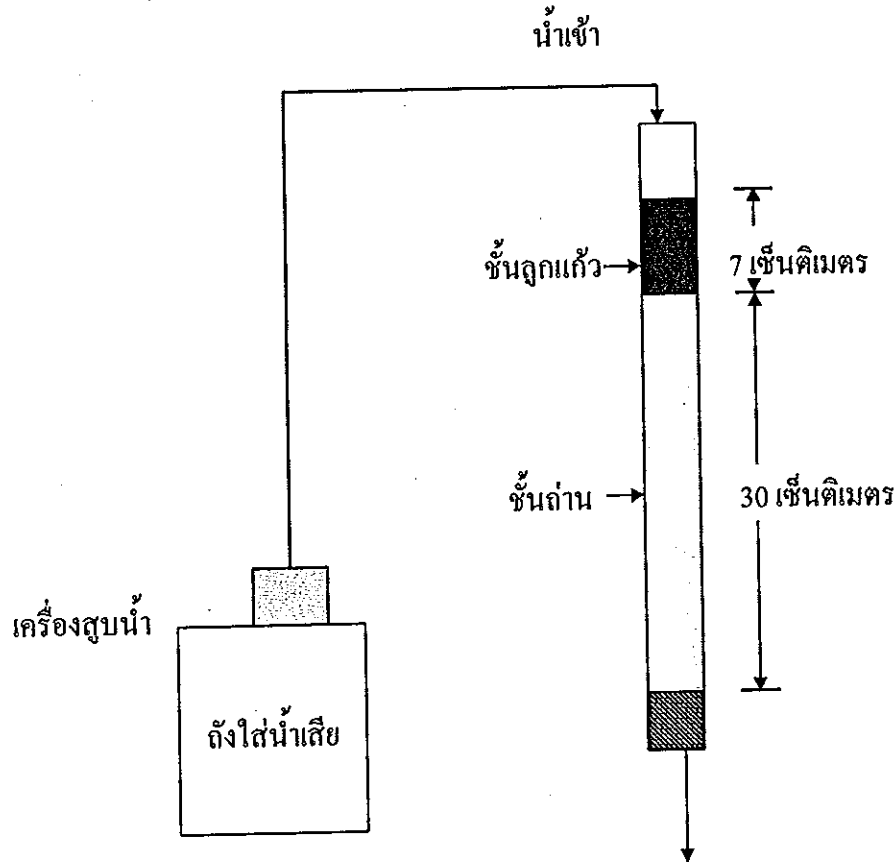
7.4.2 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านกัมมันต์ แบบต่อเนื่องด้วยกราฟเบรคทรู

จากผลการศึกษาข้อ 7.4.1 นำมาศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านกัมมันต์ แบบต่อเนื่องด้วย กราฟเบรคทรูเพื่อหาอายุการใช้งานของถ่านกัมมันต์ ทำการศึกษาเป็นขั้นตอน ดังนี้

7.4.2.1 ทำการทดลองตามวิธีการในข้อ 7.4.1.1-7.4.2.2

7.4.2.2 เก็บตัวอย่างน้ำทุก 30 นาที ใน 10 ชั่วโมง ทุก 1 ชั่วโมง ตั้งแต่ ชั่วโมงที่ 11-20 และทุก 5 ชั่วโมง ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 20 เป็นต้นไป นำไปวัดค่า ฟิเอช COD และ ความขุ่น โดยชั่วโมงที่ 0.5,1,2,3,5 และ 10 หาค่า BOD<sub>5</sub> , SS, Cd และ Pb ด้วย

7.4.2.3 เขียนกราฟเบรคทรูโดยใช้ค่าความเข้มข้นของ COD และความขุ่นที่เหลือ (C) ต่อความเข้มข้นเริ่มต้น (C<sub>0</sub>) และปริมาตรของน้ำที่ผ่านคอลัมน์ในหน่วยเทียบเท่าของปริมาตรถ่านกัมมันต์ในคอลัมน์ (Bed Volume ,BV) เพื่อคำนวณหาอายุการใช้งานของถ่าน



ภาพประกอบ 7.1 แบบจำลองการกรองถ่านกัมมันต์ในห้องปฏิบัติการ



ภาพประกอบ 7.2 แสดงชุดการทดลองการกรองถ่านกัมมันต์ในห้องปฏิบัติการ

## 7.5 ผลและวิจารณ์ผล

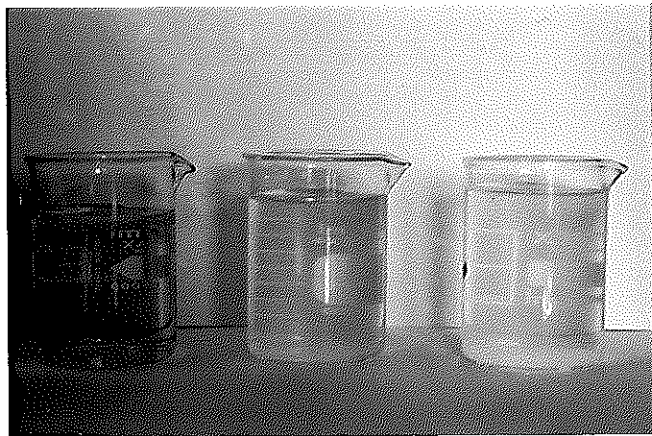
### 7.5.1 การบำบัดน้ำที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอน โดยวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ โดยใช้ตัวอย่างน้ำจากน้ำล้างเครื่องพิมพ์ น้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟุ้ง และน้ำเสียรวม ที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนแล้ว ผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ โดยใช้ความเร็วในการกรองประมาณ 2 ลิตรต่อชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำทุกๆ 20 นาที นำมาวิเคราะห์หาค่า COD และ ความขุ่น (ดูผลการทดลองในตารางที่ 7.1 และ ภาพประกอบ 7.4 และ 7.5) พบว่าถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารของในน้ำเสีย จากน้ำล้างเครื่องพิมพ์มากที่สุด เช่นในช่วงเวลาที่ 220 สามารถลดค่า COD สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์ จาก 835 มก./ลิตร ลงเหลือ 63.6 มก./ลิตร คิดเป็นร้อยละ 92.38 น้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟุ้งจาก 1804 มก./ลิตร ลงเหลือ 1330 มก./ลิตร คิด เป็นร้อยละ 26.3 และน้ำเสียรวมจาก 1013 มก./ลิตร ลงเหลือ 1457 มก./ลิตร คิดเป็นร้อยละ 27.61 สำหรับประสิทธิภาพในการลดความขุ่น สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์ จาก 8.75 NTU ลงเหลือ 1.59 NTU คิดเป็นร้อยละ 81.83 น้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟุ้ง จาก 80 NTU ลงเหลือ 75 NTU คิดเป็นร้อยละ 6.3 และน้ำเสียรวมจาก 205 NTU ลงเหลือ 52.3 NTU คิดเป็นร้อยละ 74.48 เป็นต้น



จากผลการทดลอง จะเห็นว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารด้วยถ่านกัมมันต์ ในน้ำเสียรวม และน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟอก ต่ำกว่าน้ำล้างเครื่องพิมพ์มาก เนื่องจากน้ำเสียรวมและน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟอก จะมีแป้งเป็นองค์ประกอบ โดยปกติ อนุภาคแป้งจะมีขนาดประมาณ 3-35 ไมโครเมตร หรือ โดยเฉลี่ยประมาณ 15 ไมโครเมตร ขนาดของอนุภาคแป้ง มีผลของการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เนื่องจาก ขนาดของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ มีอิทธิพลต่อการดูดซับ กล่าวคือ โมเลกุลขนาดใหญ่ จะถูกดูดซับได้ดีกว่า โมเลกุลขนาดเล็ก แต่ทั้งนี้ต้องไม่ใหญ่กว่าขนาดรูพรุนของถ่าน มิฉะนั้นจะทำให้เกิดการอุดตันของถ่าน และการดูดซับที่ต่ำลง (Ford,1981) โดยทั่วไป ขนาดของรูพรุนของถ่าน ประมาณ 0.001-10 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าขนาดของอนุภาคแป้งโดยเฉลี่ย ดังนั้นจึงทำให้เกิดการอุดตันของถ่าน และการดูดซับที่ต่ำลง เมื่อมองดูสีน้ำที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ จะเห็นว่ามีความแตกต่างกัน (ดูภาพประกอบ 7.3) คือน้ำจากน้ำล้างเครื่องพิมพ์ จะมีลักษณะใสไม่มีสี ในขณะที่ น้ำจากน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟอกและน้ำเสียรวม จะขุ่น ความขุ่นที่เกิดขึ้น อาจเกิดจากอนุภาคแป้งที่ถ่านกัมมันต์ไม่สามารถดูดซับได้ นั่นเอง

สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์และน้ำเสียรวมที่ผ่านกระบวนการกรอง จะเห็นว่า ไม่มีสี นั้นสามารถกล่าวได้ว่า กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับสี ที่เหลือจากกระบวนการรวมตะกอนได้ อีกทั้งน้ำล้างเครื่องพิมพ์และน้ำเสียรวมที่ผ่านกระบวนการกรอง จะมีพีเอชประมาณ 5 ซึ่งที่พีเอชต่ำ จะส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน( $H_3O^+$ ) ที่มีความเข้มข้น ทำให้การดูดซับไอออนลบได้มากขึ้น (Ford,1981)



ก.

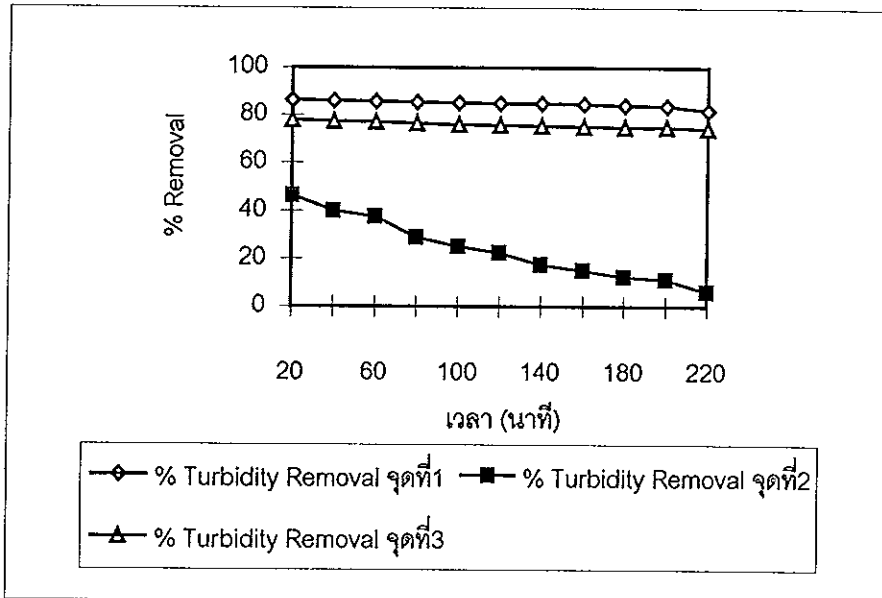
ข.

ค.

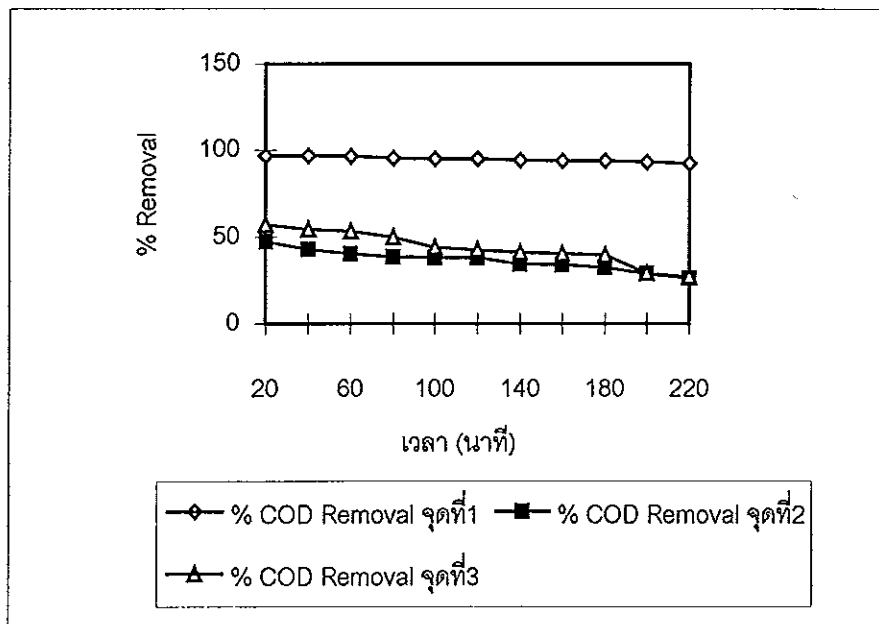
ภาพประกอบ 7.3 แสดงลักษณะน้ำที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์  
ก. น้ำล้างเครื่องพิมพ์ ข. น้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟอก ค. น้ำเสียรวม

ตาราง 7.1 แสดงผลการกำจัดมลสารในน้ำเสียเมื่อผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ที่เวลาต่างๆ

เวลา (นาที)	น้ำล้างเครื่องพิมพ์				น้ำเสียรวม				น้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก			
	COD		ความขุ่น		COD		ความขุ่น		COD		ความขุ่น	
	มก/ล	% removal	NTU	% removal	มก/ล	% removal	NTU	% removal	มก/ล	% removal	NTU	% removal
(น้ำดิบ)	835	-	40	-	2013	-	205	-	1804	-	80	-
20	28	97	1.2	86.3	868	56.9	45.3	77.9	947	47.5	43	46.3
40	28	97	1.2	86.1	918	54.4	46.4	77.4	1036	43	48	40
60	31	96.3	1.2	85.81	938	53.4	47.2	77	1073	40.5	50	37.5
80	39	95.3	1.3	85.5	1007	50	47.9	76.64	1113	38.5	57	28.8
100	43	94.9	1.3	85.3	1127	44.0	49.4	75.92	1131	38.3	60	25
120	45	94.7	1.3	84.9	1158	42.5	49.7	75.8	1132	38.3	62	22.5
140	49	94.2	1.3	84.8	1187	41.0	50.2	75.5	1183	34.5	66	17.5
160	51	93.9	1.4	84.6	1204	40.2	50.9	75.2	1191	34	68	15
180	53	93.7	1.4	84.1	1217	39.6	51.3	75	1218	32.5	70	12.5
200	59	92.9	1.4	83.8	1427	29.1	51.5	74.98	1284	28.8	71	11.3
220	64	92.3	1.6	81.8	1457	27.6	52.3	74.5	1330	26.3	75	6.3



ภาพประกอบ 7.4 แสดงร้อยละของการลดความขุ่น เมื่อกรองผ่านถ่านกัมมันต์ที่เวลาต่างๆ

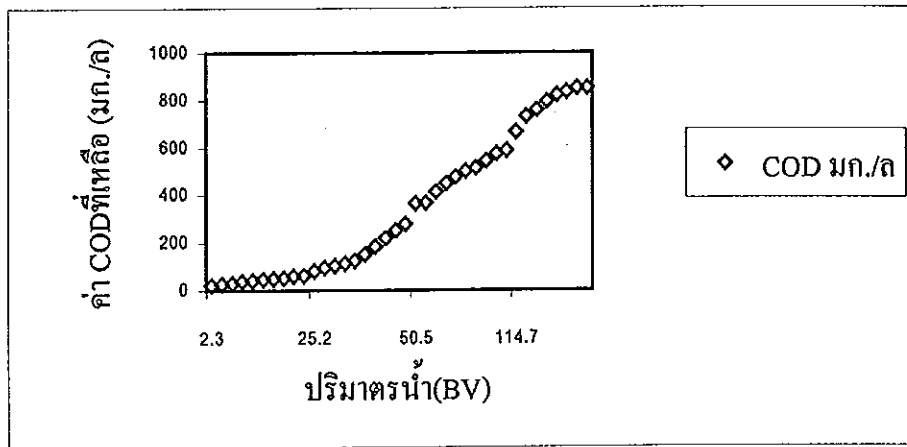


ภาพประกอบ 7.5 แสดงร้อยละของการลดCODเมื่อกรองผ่านถ่านกัมมันต์ที่เวลาต่างๆ

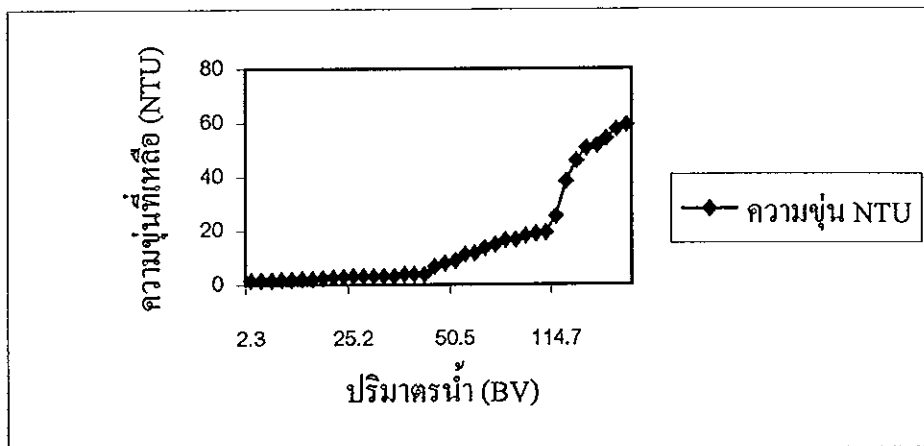
### 7.5.2 การศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านกัมมันต์ แบบต่อเนื่อง

จากการศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอน ด้วยวิธีการดูดซับด้วย ถ่านกัมมันต์ พบว่าถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพการดูดซับมลสารของน้ำเสีย จากน้ำล้างเครื่องพิมพ์ ที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนแล้ว มากที่สุด ในการศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของถ่าน กัมมันต์ แบบต่อเนื่อง จึงเลือกน้ำเสีย จากน้ำล้างเครื่องพิมพ์ที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนแล้ว มาใช้เป็นน้ำตัวอย่าง โดยทำการกรอง และเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ค่า COD และความขุ่น ที่ออกจากระบบ จนน้ำที่ออกจากระบบ มีค่า COD และความขุ่น เท่ากับน้ำเสียที่เข้าระบบ โดยแทน ความเข้มข้นของ COD และความขุ่นที่เหลือในน้ำหลังผ่านคอลัมน์ถ่านกัมมันต์แล้วเท่ากับ C และ แทนความเข้มข้นของ COD และความขุ่นเริ่มต้น เท่ากับ  $C_0$  จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการ กรองน้ำผ่านคอลัมน์ ค่า COD และความขุ่นจะเพิ่มมากขึ้น ตามระยะเวลาและปริมาณน้ำที่ผ่าน ระบบเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่อน้ำไหลผ่านชั้นถ่าน เม็ดถ่านชั้นบนจะหมดประสิทธิภาพในการ ดูดซับก่อน และชั้นเม็ดถ่านที่หมดประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามเวลาการใช้งาน หรือปริมาณ น้ำที่ไหลผ่านชั้นถ่าน ดังนั้นความเข้มข้นของสิ่งสกปรกในน้ำทิ้งที่ผ่านการดูดซับ จะเพิ่มขึ้นตาม เวลาจนในที่สุดความเข้มข้นจะถึงค่าสูงสุดที่กำหนด (ดูผลการทดลองในตารางภาคผนวก และภาพ ประกอบ 7.6-7.7)

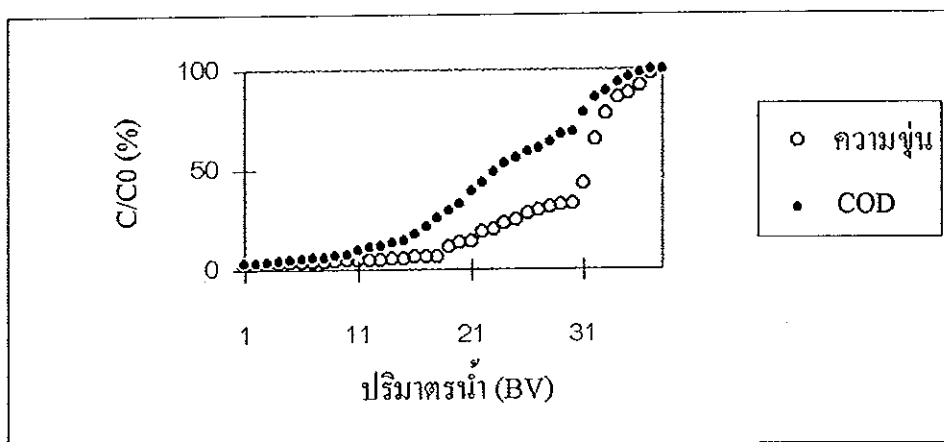
เมื่อเขียนกราฟเบรคทู (ดูภาพประกอบ 7.8) โดยใช้ค่าปริมาณน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ใน หน่วยเทียบเท่าของปริมาตรถ่านกัมมันต์ในคอลัมน์ (Bed Volume ,BV) คำนวณปริมาตรถ่าน กัมมันต์ในคอลัมน์ (1 BV) เท่ากับ 0.436 ลิตร (ดูตัวอย่างการคำนวณใน ภาคผนวก ค) และจาก กราฟเบรคทู สามารถคำนวณอายุการใช้งาน โดยกำหนด ค่า COD สูงสุดที่ยอมให้มีได้ มีค่าเท่ากับ 120 มก./ลิตร ซึ่งเป็นจุดที่เท่ากับเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม จาก การทดลองกับคอลัมน์ถ่านกัมมันต์ พบว่าถ้ากรองน้ำปริมาณมากไม่เกิน 33.5 เท่า ของปริมาตรถ่าน กัมมันต์ในคอลัมน์ แล้วน้ำกรองจะมีคุณภาพผ่านค่ามาตรฐาน COD และถ่านกัมมันต์ที่ใช้จะหมด ประสิทธิภาพการดูดซับอย่างสิ้นเชิงเมื่อใช้กรองน้ำปริมาณมากถึง 252.4 เท่าของปริมาตรคอลัมน์ ซึ่งอายุของถ่านกัมมันต์ที่คำนวณได้ สามารถนำไปใช้ในการออกแบบระบบการกรอง เป็นแบบ 2 หรือ 3 คอลัมน์ต่อไป



ภาพประกอบที่ 7.6 กราฟแสดงค่า COD ที่เหลือ กับปริมาณน้ำ (BV)



ภาพประกอบที่ 7.7 กราฟแสดงค่าความขุ่น ที่เหลือ กับปริมาณน้ำ (BV)



ภาพประกอบที่ 7.8 แสดง กราฟไปเบรคทรู ระหว่าง C/C<sub>0</sub>(%) ของ COD และความขุ่น กับปริมาณน้ำ (BV)

## 7.6 บทสรุป

จากการทดลองพบว่า การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ ที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอน โดยวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ได้ผลไม่ดีกว่าน้ำเสียจากบ่อบำบัดน้ำเสียรวม และน้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟูก เพราะเกิดการอุดตันของถ่าน และการดูดซับที่ต่ำลง ทำให้อายุการใช้งานของถ่านน้อย แต่สำหรับน้ำจากน้ำล้างเครื่องพิมพ์ ใช้ได้ผลดี โดยน้ำที่ผ่านการกรอง จะมีคุณภาพได้มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม สามารถปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมได้ แต่อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่าถ่านกัมมันต์มีราคาแพง ดังนั้น เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย สามารถนำถ่านที่ใช้ดูดซับมลสาร จนหมดอายุการใช้งานแล้วมาใช้ใหม่ โดยการฟื้นฟูสภาพ (Regenerate) กระทำโดย การกำจัดสารที่ถูกดูดซับไว้ ออกจากโพรงของเม็ดถ่าน สามารถทำได้หลายวิธี การใช้ความร้อน การใช้ตัวทำละลาย เป็นต้น สำหรับการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับมลสารในน้ำเสีย มักกระทำโดยใช้ความร้อน และอุปกรณ์ที่นิยมใช้ คือ เตาเผาแบบมัลติเจิตฮาร์ท (Multiple-heart furnace) (VonDreusdhe,1981) และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพ จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับ COD มากกว่าถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน และภายหลังการฟื้นฟูสภาพถ่าน 10 ครั้ง พบว่าถ่านกัมมันต์ มีแนวโน้มที่จะดูดซับ สี และ COD ได้มากขึ้น (จินตนา แก้วบริสุทธิ์ , 2541)

อย่างไรก็ตาม ทางเลือกในการบำบัดขั้นต่อไป เพื่อบำบัดให้ได้น้ำที่ได้เข้าเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากวิธีการกรองด้วยถ่านกัมมันต์แล้ว ยังสามารถเลือกใช้ระบบอื่นๆได้อีก เช่นระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยา ซึ่งใช้พื้นที่ในการติดตั้งระบบค่อนข้างมาก หรือเลือกการบำบัดทางกายภาพ ด้วยวิธีอื่นๆก็ได้

## บทที่ 8

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ เกิดจากกระบวนการผลิต 2 จุด คือ น้ำล้างเครื่องพิมพ์ และน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก ซึ่งลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีค่าเกินมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม และมีองค์ประกอบทางกายภาพ และเคมี แตกต่างกัน โดยน้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องพิมพ์ มีค่าพีเอช ประมาณ 8 ค่า COD ประมาณ 6,000 มก./ลิตร ค่าBOD<sub>5</sub> ประมาณ 900 มก./ลิตร ความขุ่นประมาณ 2,500 NTU และปริมาณน้ำเสียประมาณ 6 ลบ.ม ต่อวัน น้ำเสียจากจุดนี้มีโลหะหนักปน คือ ตะกั่วและแคดเมียม ส่วนน้ำจากน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก จะมีกาวและเยื่อกระดาษเป็นส่วนประกอบหลัก น้ำจุดนี้มีค่าความสกปรกต่างๆค่อนข้างสูง คือ มีค่าพีเอชอยู่ในช่วงประมาณ 11-12 ค่า COD ประมาณ 12,000 มก./ลิตร ค่าBOD<sub>5</sub> ประมาณ 5,700 มก./ลิตร ความขุ่นประมาณ 8,900 NTU และปริมาณน้ำเสียประมาณ 3-6 ลบ.ม ต่อวัน ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวันมีไม่มาก แต่มีความเข้มข้นของมลสารสูง และองค์ประกอบของน้ำเสียแตกต่าง เมื่อน้ำเสียทั้ง 2 จุดมารวมกัน ในบ่อบำบัดน้ำเสียรวมของโรงงาน ทำให้ลักษณะน้ำมีความแปรปรวนสูง ขาดต่อการจัดการ ดังนั้น แนวทางการจัดการน้ำเสีย จากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ จึงควรแยกจัดการน้ำเสีย ตามที่มาของน้ำเสีย ซึ่งจะช่วยให้การบำบัดมลสารในน้ำทิ้ง ทำได้ง่าย และมีประสิทธิภาพสูง ดังนี้

#### 1. น้ำล้างเครื่องพิมพ์ สามารถสรุปกระบวนการจัดการน้ำเสียได้ดังนี้

ก. กระบวนการรวมตะกอน จากการศึกษา พบว่าการใช้โพลิเมอร์ประจุบวก 6 มก./ลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 5 ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีคุณภาพดีที่สุด คือสามารถลดค่า COD จาก 6550 มก./ลิตร ลงเหลือ 603 มก./ลิตร และลดค่าความขุ่น จาก 2837 NTU เหลือ 20 NTU เมื่อคิดเป็นร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสาร สามารถลดค่า COD ได้ประมาณร้อยละ 90 และลดค่าความขุ่นได้ประมาณร้อยละ 99 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดมลสาร พบว่าที่พีเอชเท่ากับ 5 เมื่อเติมสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด และเมื่อไม่ได้เติมสารสร้างตะกอน น้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดมีคุณภาพใกล้เคียงกันมาก ดังนั้น การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการรวมตะกอน จากจุดนี้ ซึ่งเมื่อนำไปประยุกต์ใช้งานจริง ควรเลือกวิธีการบำบัดที่สามารถดูแลระบบได้ง่าย ดังนั้น จึงน่าจะเลือก วิธีการบำบัดโดยการรวมตะกอน ด้วยการปรับพีเอชเท่ากับ 5 และไม่เติมสารสร้างตะกอนเลย ซึ่งมูลค่าการคัฟรุ้คที่ใช้ในการปรับพีเอชเป็น 5 ของน้ำล้างเครื่องพิมพ์ เท่ากับ 26 บาท ต่อหน้า 1 ลบ.ม.

เมื่อผ่านกระบวนการรวมตะกอนแล้ว ทำการแยกตะกอนด้วยระบบการลอยด้วยอากาศละลาย ซึ่งจากการศึกษาพบว่าที่ความดันสูงสุดที่ทำการทดสอบ และความดันสูงสุดที่ถึงอัดความดัน รับได้ คือ 70 ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสูงสุด คือ สามารถลดค่า COD จาก 6550 มก./ลิตร ลงเหลือ 850 มก./ลิตร และลดค่าความขุ่น จาก 2837 NTU ลงเหลือ 59 NTU สามารถ ออกแบบขนาดถังอัดอากาศได้จากปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น และระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในถังอัดอากาศ โดยอาจออกแบบกระบวนการให้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) เพราะปริมาณน้ำทิ้งแต่ละวันมีไม่ มาก ทั้งนี้อาจจะทำวันละหลายครั้ง เพื่อลดขนาดถังอัดความดันลง เช่น ใช้ขนาดถังปริมาตรเท่ากับ 1.5 ลบ.ม. ทำการอัดอากาศวันละ 6 ครั้ง เป็นต้น

ข. การบำบัดน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนโดยวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ จากการศึกษาสามารถคำนวณอายุการใช้งาน และมูลค่าของถ่านโดยกำหนด ค่า COD สูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ มีค่าเท่ากับ 120 มก./ลิตร ซึ่งเป็นจุดที่เท่ากับเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม จากการทดลองกับคอลัมน์ถ่านกัมมันต์ พบว่าถ้ากรองน้ำปริมาณมากไม่เกิน 33.5 เท่า ของ ปริมาตรถ่านกัมมันต์ในคอลัมน์ แล้วน้ำกรองจะมีคุณภาพผ่านค่ามาตรฐาน COD โดยคิดค่าถ่าน กัมมันต์เท่ากับ 418 บาท ต่อน้ำเสีย 1 ลบ.ม. และถ่านกัมมันต์ที่ใช้จะหมดประสิทธิภาพการดูดซับ อย่างสิ้นเชิงเมื่อใช้กรองน้ำปริมาณมากถึง 252.4 เท่าของปริมาตรคอลัมน์ โดยมูลค่าถ่านเท่ากับ 55 บาทต่อน้ำเสีย 1 ลบ.ม. ซึ่งอายุของถ่านกัมมันต์ที่คำนวณได้ สามารถนำไปใช้ในการออกแบบระบบ การกรอง เป็นแบบ 2 หรือ 3 คอลัมน์ต่อไป จะเห็นว่าการนำถ่านกัมมันต์มาใช้ในกระบวนการ บำบัดน้ำเสียจะต้องลงทุนสูง เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีราคาค่อนข้างแพง ดังนั้น หากต้องการพัฒนา ระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มาใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำจากโรงงาน จึงควรมีแนวทางในการฟื้นฟู สภาพถ่านเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ เพื่อความคุ้มค่า และความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วย

ค. การจัดการกากตะกอนที่เกิดขึ้น เนื่องจากตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียมี ปริมาณมาก ดังนั้น การจัดการกากตะกอนที่เกิดขึ้นอาจใช้กรรมวิธีการตากแห้ง เพื่อลดปริมาตร ตะกอนลง และเก็บไว้เพื่อจัดการต่อไป เช่นอาจนำไปทำการฝังกลบ (Landfilling) การทำเป็นก้อน ด้วยเคมี (Chemical fixation) เป็นต้น

## 2. น้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟูก สามารถสรุปกระบวนการจัดการน้ำเสียได้ดังนี้

ก. กระบวนการรวมตะกอน จากผลการศึกษา พบว่าเมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวก 4 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 8 ทำให้เกิดการรวมตะกอนได้ดี และตกตะกอนเร็วที่สุด คือ ในเวลา 10 นาทีแรก สามารถลดความขุ่นจาก 9270 NTU เหลือ 1764 NTU คิดเป็นร้อยละ 79 และ ในเวลา 60 นาที สามารถลดความขุ่นเหลือ 258 NTU คิดเป็นร้อยละ 97 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อตั้งทิ้ง ไว้วัน 10 ชั่วโมง ค่า COD และความขุ่นที่เหลือของน้ำเสียมียังค่าใกล้เคียงกันแม้ไม่ได้เติมสารสร้าง





### ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติม

1. ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอน โดยใช้ระบบบำบัดแบบชีววิทยา
2. เนื่องจากตะกอนที่เกิดขึ้นจากระบวนการบำบัดน้ำเสียมีปริมาณมาก จึงควรศึกษาวิธีการจัดการกับตะกอนที่เกิดขึ้น เช่นการหมุนเวียนกลับไปใช้ใหม่ หรือการกำจัดที่เหมาะสม
3. ควรศึกษาวิธีการลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงาน เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย
4. ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองโดยใช้สารกรองหรือถ่านกับมันต์ชนิดอื่นๆ ที่มีราคาถูกกว่า เช่น แกลบ ทราช หรือถ่านแอนทราไซท์ เป็นต้น
5. อัตราการกรองที่ศึกษา คือ 2 ลิตรต่อชั่วโมง เมื่อนำไปประยุกต์ใช้จริง อาจต้องอาศัยเวลาในการบำบัดนาน ดังนั้นจึงควรศึกษาอัตราการกรองอื่น ที่ทำให้การกำจัดมลสารได้ดี และเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้
6. ควรศึกษาการบำบัดน้ำเสียในระดับโรงประลอง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเป็นขนาดจริงในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต

บรรณานุกรม

- กฤษณ์ ถาวรวงศ์. 2530. "การกำจัดสีของน้ำเสียจากกองขยะโดยกระบวนการทางเคมี" วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2535. วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสียเล่ม2. กรุงเทพฯ : มิตรนรา.
- จินตนา แก้วบริสุทธิ. 2541. "การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์ม โดยกระบวนการดูดซับในชั้นตริง", วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชัชชัย แก้วขจร. 2539. "อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์", วารสารเศรษฐศาสตร์. 4 (มกราคม-มีนาคม 2539), 19-29.
- ชาติ มหาบรรพต. 2536. "การพิมพ์ซิลค์สกรีน", วารสารจันทร์เกษม. 197(กรกฎาคม-สิงหาคม 2530), 38-44
- คำรง ชุมมงคล และอภิสิทธิ์ เจริญกุล. 2533. "การผลิตถ่านกัมมันต์ โดยใช้ NaCl เป็นตัวกระตุ้น", วิศวกรรมสาร. 43(6), 96-99.
- นวลละออ เนียมสลึง. , 2536. "การกำจัดสารอินทรีย์พร้อมกันโดยใช้ระบบ PAC-แอกติเวทสลับ", วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ คณะวิศวกรรมสุขาภิบาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นันทา วิฑูลีศักดิ์. 2527. หนังสือและการพิมพ์. กรุงเทพฯ : บุรพาสาส์น.
- นิคม ธรรมปัญญา และ สุภา ศิริกุลวัฒนา. 2534. "เทคโนโลยีอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง", วารสารเทคโนโลยี. 12(ธันวาคม 2534), 20-23
- บุษยา วุฒิชชาญ และวรวรรณ กীরคิอคุลย์. 2539. "อุตสาหกรรมการพิมพ์และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เติบโตอย่างไร", วารสารส่งเสริมการลงทุน. 7(กรกฎาคม 2539), 33-40

พิศมัย เจนวนิชปัญญากุล. 2527. “ผงสี”, วารสารวิทยาศาสตร์. 11(พฤศจิกายน 2527), 605-618

พิชญ บุญนวล. 2537. “การแก้ปัญหาน้ำขุ่นด้วยกระบวนการก่อก้อน” ใน อุตสาหกรรมแร่และพลังงานเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ : การประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่ครั้งที่ 5 จัดโดยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ณ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 24-25 พฤศจิกายน 2537 5-86 - 5-93.

มัลลนา พงษ์ไทยพัฒน์. 2533. “สีสำหรับย้อมผ้า”, วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 123 (พฤษภาคม 2533), 20-22.

มันติน คณกุลเวศม์. 2538. วิศวกรรมกรรมประปาเล่ม 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ ก.วิวรรณ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2532. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม  
ถ่านกัมมันต์ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม : กรุงเทพฯ ฯ

บุษศักดิ์ คณาสวัสดิ์. 2539. “เทคโนโลยีการพิมพ์”, วารสารส่งเสริมการลงทุน. 7(กรกฎาคม 2539), 20-23

เขาวเรศ อาวุฒนะ, ดวงธรรม วรกุลถัญฐานีย์, เกลิมราช วันทวิน และ อนรรักษ์ ปีติรัญสกุล. 2536. “การใช้ Dissolved Air Flotation ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมพิมพ์ผ้า”, ใน เอกสารการประชุมใหญ่วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 27-30 พฤศจิกายน 2538, 947-950.

วิไลพร วณิชชั้วโรคม. 2536. “การบำบัดสีของน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ โดยขบวนการดูดซับด้วยแอคทีเวตเต็ดคาร์บอน” วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมคิด วงศ์ชัยสุวรรณ. 2525. “การกำจัดสีของน้ำเสียจากการย้อมผ้าโดยใช้เมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮดรอกไซด์”, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- APHA, AWWA and WEF. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th ed. New York : American Public Health Association.
- AWWA. 1991. AWWA Standard for Granular Activated Carbon. Approved by American National Element in Geochemistry Prospecting”, Journal of Geochemical Exploration. 2 : 272-279.
- Beszedits, S. ; Lugowaki, A. and Miyamoto, H.K. 1979. Color Removal from Wastewater. 18th ed. New York : American Public Health Association.
- Brugton , C. W. 1981. “Principle of Liquid – Phase Adsorption”, In Application of Adsorption to Wastewater Treatment, p.29-66. Eckenfelder, Wealey W. Jr., eds. T.N. : Enviro Press, Inc.
- Bunnaul, P. 1993. “Charification, Sedimentation and Consolidation of Flocculated Suspension” ,Ph.D. Thesis, Pennsylvania State University.
- Chen, Cuizhen. 1995. “Flocculation Effect of MGS Toward Reactive Red X.”, Chemical Abstract. 124,1995.
- Deraquin, B.V. and Landau, L.D. 1941. “Theory of the Stability of Strongly Charged Lyophobic Solids and Adhesion of Strongly Charged Particles in Solution in Electrolytes”, Acta Physiochim. V. 14, pp. 633.
- Dunn, H. ; Bohdan, V. ; James, K.B. and Greubel, P.W. 1996. “Ink” Encyclopedia of Chemical Technology. New York : Interscience Pub.
- Eckenfelder, W. Wesley Jr. 1989. Industrial Water Pollution Control. McGraw - Hill Book Company.
- Ellenhorn, M. J. and Barceloux, D. G. 1988. Medical Toxicology Diagnosis and Treatment of Human Poisoning. New York. Elsevier.

- Ford, D.L. 1981. "Wastewater Characteristic and Treatment", In Activated Carbon Adsorption For Wastewater Treatment. p. 1-27. Perrich J.R., eds. Fla. : CRC Press, Inc.
- Ghoah, M.M. ; Woodard, F.E. ; Sproul, O.J. ; Knowlton, P.B. and Gvertin, P.D. 1978. "Treatability Studies and Design Considerations for Textile Wastewater" Water and Waste Eng. 15(4) 35-41.
- Hanlon, J.F. 1971. Handbook of Package Engineering. New York : McGraw - Hill ,Ltd.
- Henry, C. ; Tsang, K.L. and M.L. 1987. "Treatment of Wastewater from Small to Medium Sized Bleaching and Dyeing Factory" In Proceedings on Seminar on Air and Water Pollution Control for Small and Medium Industry. Hong Kong.:Carl Duisberg Gesellschaft.
- Holland , FA. and Chapman , F.S. 1966. Liquid Mixing and Processing in Stirred Tanks. New York : Reinhold Publishing Co.
- Judkins, J.F. and Hornsby, J.S. 1978. "Color Removal from Textile Dye Waste Using Magnesium Carbonate" Journal Water Pollution Control. 50(11), 2446-2456.
- Key , R.O. and Hogg ,R. 1979. "Mixing Problems in Polymer Flocculation." In The American Institute of Chemical Engineer. V.75, pp. 63-72.
- Kirk-Othmer. 1985. Encyclopedia of Chemical Technology. New York : Interscience Publishing Co.
- Koprivance, N. ; Bosanac, A.G. ; Grabaric, Z. and Papic, S. 1993. "Treatment of Wastewaters from Dye Industry" Environment Technology. 14., 385-390.
- Kuo, W.G. 1992. "Decolorizing Dye Wastewater with Fenton'Reagent" Water Research. 26., 881-886.

- Layfield, D.G. 1990. "Conversion of Packaging Materials.", Industrial Package Adhesives. Booth, eds. London : Blockie.
- Layla, M.A. and Rawi, S.M. 1988. "Impact of Mosul Textile Factory Effluents on Tigris River Water Quality" ASFA Abstract. 1988-9/95.
- Leach,R.H. 1988. The Printing Ink Manual. London : Blueprint.
- Liu, Gauqing and GO, Yuny. 1991. "Treatment of Dyeing Wastewater by Return Sludge Calcium Oxide Coagulation Method" Chemical Abstract. No 200346t.
- Livke, V.A. ; Ostrovka, V.I. ; and Gendruseva, N.P. 1989. "Tertiary Coagulant Treatment of Aniline Dye Industry Wastewater." Soviet Journal of Water chemical and Technology. (English Translation of Khimiya I Tekhnologiya vody.) 11(2), 115- 117.
- Maltenfort, G.G. 1970. "Corrugated Containers." Handbook of Pulp and Paper Technology. Britt, K.W. eds. New York : Van Nostrand.
- Mamonotova, A.A. and Klimenko, N.A. 1988. "Organic Coagulant to Extract Dyes from Wastewater" Soviet Journal of Water Chemical and Technology. (English Translation of Khimiya I Tekhnologiya vody.) 10(2), 119-121.
- Mckey, G. 1979. "Waste Color Removal from Textile Effluents." American Dyestuff Reporter. April 1979
- Metcalf and Eddy. 1991. Waste Water Engineering : Treatment Disposal and Reuse. 3<sup>rd</sup> Edition, New York : McGraw-Hill,Inc.

- Nuphan, P. 1992. "Treatment of Jeans Bleach Factory Wastewater for Removal of Color, COD and Manganese by Ferrous Sulphate, Ferric Sulphate in Conjunction with Polymer Coagulant Aids" Master's Thesis, Kasatsart University.
- Oldham, W.K. and Rush, R.J. 1978. "Color Removal in Kraft Wastewater with Magnesium". Journal Water Pollution Control. 50 ( January 1978 ) : 41-45.
- Porter, J.J. and Sinder, E.H. 1976. "Long Term Biodegradability of Textile Chemicals" Journal Water Pollution Control. V.48, pp. 2198-2210
- Qiu, Jin and Zhanta, Sunwei. 1994 "Comparative Study on the Decolorization of Textile Printing and Dyeing Wastewater" Chemical Abstract. 124,1995
- Rana, B.C. and Palria, S. 1987. "Pollution Abatement of Certain Waste Waters Using Biological and Chemical Method." Indian Journal Ecology. 14 :1-6 ASFA Abstract 1988-9/95
- Ray, D.T. and Hogg, R. 1987. "Agglomerate Breakage in Polymer Flocculated Suspension.", In Journal of Colloid and Interface Science. V.116, pp. 256-268.
- Robetaccio, Jr., F.L. 1972. "Powdered Activated Carbon Addition to Biological Reactors", In Proc 6 th Mid Atlantic Industrial Waste Conference University of Delaware. New York.
- Ruzickova, Danuse. 1989. "Treatment of Wastewaters Containning Pigment and Dye" Chemical Abstract. 112 : Abstract No 11498a.
- Schuliger, W.G. 1978. "Purification of Industrial Liquids with Granular Activated Carbon : Techniques for Obtaining and Interpreting Data and Electing the Type of Commercial System", In Carbon Adsorptions. p 56-58. Cheremisinoff P.N., eds. Mich. : Ann Arbor Science, Publisher, Inc.



- Steven Medlar, P.E. and Associate. 1975. "Operating Experiences with Granular Activated Carbon" Water and Sewage Works, 122(2) : 70-73.
- Stokes' Sir. G.G. 1891. "Mathematical and Physical Paper 3", Cambridge University Press. En Textile Mill Effluent. Canada.:Technomic Inc.
- Traybal, R.E. 1981. Mass Transfer Operation. Kogakusha : McGraw - Hill ,Ltd.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1978. "Textile Dyeing Wastewater: Characterization and Treatment" EPA-600/2-78-098.
- Van Olphen, H. 1963. An Introduction to Clay Colloid Chemistry. New York : Interscience.
- Vanderhoff, J.W. 1973. "Rheology and Dispersion of Printing Inks", In Pigment Handbook Volume 3 Characterization and Physical Relationship. New York : John Wiley & Sons.
- Vermeulin , T., Klen, G. and Hiester,N.K. 1973. "Adsorption and Ion Exchange ; Section 16"  
In Chemical Engineer's Handbook. Pp.1-15 Perry,Robert H.ed. New York : McGraw-Hill , Ltd.
- Verwey , E.J. and Overbeek , J. G. 1948. Theory of the Stability of Lyphobic Colloids.  
Amsterdam : Elsevier.
- VonDreuche, Jr., C.F. 1981. "Regeneration Systems.", In Activated Carbon Adsorption for Wastewater Treatment , p137-153. Perrich J.R., eds. Fla. : CRB Press, Inc.
- Weber, Walter J.Jr. 1981. "Concept and Principles of Carbon Application in Wastewater Treatment", In Application of Adsorption to Wastewater Treatment. p. 5-28.

Wagner N.J. and Jular R.J. 1981. "Activated Carbon Adsorption", In Activated Carbon Adsorption for Wastewater Treatment, p41-59. Perrich J.R., eds. Fla. : CRB Press, Inc

Whistler, R.L.ed., Bemiller, J.N.ji. ed. And Paschall, E.F. ji. ed. 1984. Starch Chemistry and Technology. San Diego : Academic Press.

Yana, Zhen and Liu, Jianjum. 1993. "Treatment of Pprinting and Dying Wastewater with Polyferroaluminium Compound Prepared from Coal Gangues". Chemical Abstract. 120,1994; Abstract No 278975z.

Zollinger, Heinrich. 1987. Color Chemistry : Syntheses, Properties and Application of Organic Dyes and Pigment. New York :VCH.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
การวิเคราะห์น้ำ

1. การวิเคราะห์ทางเคมี

1.1 Biochemical Oxygen Demand (BOD<sub>5</sub>) (APHA, AWWA and WEF, 1995)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดแก้วมาตรฐาน ขนาดความจุ 250-300 มิลลิลิตร มีจุกปิดได้สนิท ปากกว้างออกเล็กน้อย ทำให้มีร่องเหนือจุกและปากขวด เพื่อให้มีน้ำหล่ออยู่เสมอ ขณะ incubate ที่ 20 °ซ เพื่อป้องกันการ ค้างอากาศจากภายนอกเข้าไปในขวด ขวดนี้ต้องล้างให้สะอาดทุกครั้งก่อนใช้
2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิที่ 20 °ซ
3. ผู้เขียนขนาด 6 ลูกบาศก์ฟุต หรือใหญ่กว่า
4. กระบอกตวง ขนาด 1 ลิตร

สารละลายที่ใช้

1. น้ำกลั่นบริสุทธิ์ ปราศจากคลอรีน คลอรามิน ความเป็นด่าง (Alkalinity) กรด และสารอินทรีย์ มีทองแดงปนได้ไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร
2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ละลาย H<sub>2</sub>KPO<sub>4</sub> 8.5 กรัม KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 21.75 กรัม Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 33.4 กรัม และ NH<sub>4</sub>Cl 1.7 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร แล้วเจือจางจนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ควรมีค่า pH 7.2
3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ละลาย MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 22.5 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางจนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร
4. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ละลาย CaCl<sub>2</sub> ที่อบแห้ง 27.5 กรัม แล้วเจือจางจนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร
5. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ละลาย FeCl<sub>3</sub>·6 H<sub>2</sub>O 0.25 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
6. สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ 0.025 นอร์มัล ละลาย Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> ที่อบแห้ง 1.575 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วจึงเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร สารละลายนี้สลายตัวได้ง่าย จึงควรเตรียมเฉพาะเวลาที่ต้องการใช้เท่านั้น
7. สารละลายกรดซัลฟูริกและด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล สำหรับใช้ปรับค่า pH ให้เป็นกลาง

## วิธีการ

### 1. การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง

1.1 ตวงน้ำกลั่นให้มากกว่าปริมาตรที่ต้องการใช้ 1 ลิตร ใส่ลงในภาชนะที่สะอาด

1.2 เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ แมกนีเซียมคลอไรด์ และเฟอริคคลอไรด์ ตามลำดับ ใช้สารละลายแต่ละชนิด 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำเจือจาง 1 ลิตร

1.3 เป่าอากาศที่สะอาด เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับน้ำเจือจางเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

### 2. การเตรียมตัวอย่างน้ำที่จะหา

2.1 ตัวอย่างน้ำที่เป็นค้างหรือกรด จะต้องปรับ pH ให้เป็นกลาง คือประมาณ 7 ด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 นอร์มัล หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล แล้วแต่กรณี

2.2 ตัวอย่างน้ำที่มีโลหะหนักหรือสารเป็นพิษอื่นเจือปนอยู่ จะต้องศึกษาและกำจัดเสียก่อน

## วิธีการเจือจาง

1. เลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างในการเจือจางที่คาดว่าค่า BOD<sub>5</sub> อยู่ในช่วงที่กำหนด แล้วจึงเลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือจาง ที่สูงกว่าและต่ำกว่า ที่อยู่ติดกันอีก 2 ชั้น ตามตารางผนวกที่ 1 ดังนั้น จึงควรรู้ค่า BOD<sub>5</sub> โดยประมาณก่อน

2. ค่อยๆ รินน้ำเจือจาง 700-800 มิลลิลิตร ในกระบอกตวงขนาด 1000 มิลลิลิตร โดยพยายามอย่าให้มีฟองอากาศ

3. เติมตัวอย่างน้ำจำนวนที่ต้องการ แล้วจึงเติมน้ำเจือจางจนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4. ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน อย่าให้มีฟองอากาศ

5. ค่อยๆ รินใส่ขวด BOD<sub>5</sub> 3 ขวด ปิดจุก นำไปเก็บในตู้ Incubator ที่ 20 °ซ 2 ขวด อีกขวดนำไปหาค่า DO ที่จุดเริ่มต้น (D<sub>1</sub>)

6. ทำเช่นเดียวกันตั้งแต่ข้อ 2 ถึงข้อ 5 สำหรับเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือจางที่สูงกว่าและต่ำกว่าตามลำดับ

3. การหาปริมาณ DO หาปริมาณ DO ที่จุดเริ่มต้น โดยวิธี Azide modification of the idometric method ดังจะกล่าวในข้อ 1.2

### 4. การเพาะเลี้ยง (Incubation)

จะเพาะเลี้ยงโดยเก็บ 2 ขวดของแต่ละเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือจางในตู้เย็นมืด อุณหภูมิ 20 ± 1 °ซ เป็นเวลา 5 วัน จึงนำออกมาหาปริมาณ DO (D<sub>2</sub>) ตามหัวข้อที่ 4

### 5. การควบคุมคุณภาพน้ำเจือจาง

รินน้ำกลั่นที่ใช้เจือจาง แต่ไม่ได้ใส่น้ำเชื้อลงไปขวด BOD<sub>5</sub> 2 ใบ ปิดจุกแล้วเอาขวดหนึ่งเพาะที่ 20 °ซ ส่วนอีกขวดหนึ่งหาปริมาณ DO ทันที

6. การพิจารณาผลเพื่อใช้คำนวณค่า BOD<sub>5</sub>

ผลที่น่าเชื่อถือและจะใช้คำนวณต่อไปนั้น จะต้องมามีค่า DO เหลืออยู่อย่างน้อย 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร และต้องมีการลด DO ลงไปอย่างน้อย 2 มิลลิกรัม/ลิตร จึงจะทำให้ค่า BOD<sub>5</sub> ที่คำนวณออกมาได้ ถูกต้องที่สุด

7. การคำนวณ (ดูในหัวข้อ การคำนวณออกซิเจนละลายได้)

ตารางผนวก 1 ช่วงของค่า BOD<sub>5</sub> ที่วัดได้ตามเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างของการเจือจาง

ช่วง BOD <sub>5</sub>	เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่าง
20,000-70,000	0.01
10,000-25,000	0.02
4,000-14,000	0.05
2,000-7,000	0.1
1,000-3,500	0.2
400-1,400	0.5
200-700	1.0
100-350	2.0
40-140	5.0
20-70	10.0
10-35	20.0
4-14	50.0
0-7	100.0

1.2 ออกซิเจนละลายได้ (Dissolved oxygen) โดยวิธี Azide modification of the iodometric method

สารละลายที่ใช้

1. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต ละลาย MnSO<sub>4</sub> · 4H<sub>2</sub>O 480 กรัม หรือ MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 364 กรัม หรือ MnSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O 400 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

2. สารละลายอัลคาไล-ไฮโอไดค์ ละลาย NaOH 500 กรัม และ NaI 135 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เสร็จแล้วเติม NaN<sub>3</sub> 10 กรัม ที่ละลายในน้ำกลั่น 40 ลิตร

### 3. กรดซัลฟูริกเข้มข้น

4. น้ำแข็ง ละลายแข็งมัน 5 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 50 มิลลิลิตร ค่อยๆ เทลงในน้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตร ที่คัมजनเดือดและคนจนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเติมน้ำจนเป็น 1 ลิตร ปล่อยให้เดือดประมาณ 5 นาที ปิดไฟตั้งทิ้งให้เย็นเติมกรด Salicylic 1.25 กรัม หรือใช้ Toluene 2-3 หยด เติกลงในสารละลายน้ำแข็งเพื่อป้องกันบูด

5. สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล ใช้ในการไตเตรท ละลาย  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  6.205 กรัม ในน้ำกลั่นที่คัมเดือดใหม่ๆ และปล่อยให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้สามารถเก็บรักษาให้คงสภาพโดยเติม NaOH 0.4 กรัมต่อลิตร สารละลายมาตรฐานนี้ 1 มิลลิลิตร จะมีค่าเท่ากับปริมาณสารละลายออกซิเจน (DO) 0.2 กรัม

### การหาค่ามาตรฐานของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ด้วยสารละลายไดโครเมท

1. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมท 0.025 นอร์มัล ละลาย  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ที่อบแห้ง 1.226 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2. ละลาย KI 2 กรัม ในขวดแก้วเออเลนเมเยอร์ฟลาส ด้วยน้ำกลั่น 100 - 150 มิลลิลิตร

3. เติม  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1+9) 10 มิลลิลิตร

4. เติมสารละลายมาตรฐาน โปแตสเซียมไดโครเมท ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) 20 มิลลิลิตร

5. ตั้งทิ้งไว้ในที่มีด 5 นาที

6. เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 400 มิลลิลิตร โดยประมาณ

7. ไตเตรท ไอโอดีนที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต

8. Normality ของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต  $a \times N/20$

$a$  = มิลลิลิตร โซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้

$N$  = Normality ของสารละลายมาตรฐาน  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

9. ปรับสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ให้มีความเข้มข้นแน่นอนเป็น 0.025 นอร์มัล

### วิธีการ

1. จากน้ำที่เก็บได้ในขวด 250-300 มิลลิลิตร เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 มิลลิลิตร

2. แล้วเติมสารละลายอัลคาไลด์-ฮาไซค์ ตามลงไปทันที 2 มิลลิลิตร ให้ปลายหลอดจมอยู่ในน้ำตัวอย่าง

3. ปิดจุก ระวังอย่าให้มีฟองอากาศติดอยู่ในขวด จับขวดคว่ำลงเขย่าลงแบบพลิกฝ่ามือให้ขวดตั้งขึ้นและคว่ำลงสลับกันอย่างน้อย 15 ครั้ง ตั้งปล่อยให้ทิ้งไว้ให้ตะกอนที่เกิดขึ้นนอนก้น

4. รอจนได้น้ำใสส่วนบนประมาณ 100 มิลลิลิตร ค่อยๆ เปิดจุกแล้วเติมกรดเข้มข้นลงทันที 2 มิลลิลิตรให้กรดไหลลงไปตามคอขวด

5. บิดจุกค่อยๆ เขย่าจนกระทั่งตะกอนละลายหมด

6. ตวงสารละลายที่ได้ 203 มิลลิลิตร ใส่ลงในฟลาสขนาด 500 มิลลิลิตร (ปริมาตรจำนวนนี้จะแทนปริมาตรของน้ำตัวอย่างจริงๆ 200 มิลลิลิตร เนื่องจากปริมาตรของตัวอย่างน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำยาทั้งหมด 4 มิลลิลิตร ที่เติมลงไปในช่วงขนาด 300 มิลลิลิตร ดังนั้นปริมาตรที่จะนำมาเพื่อไตเตรทจึงควรเป็น

$$\frac{200 \times 300}{(300 - 4)} = 203 \text{ mL}$$

7. ไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไครโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัลจนได้สีเหลืองอ่อน

8. เติมน้ำแข็ง 1-2 มิลลิลิตร และไตเตรทจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป

#### การคำนวณ

ออกซิเจนละลาย (DO)

$$1 \text{ ml } 0.025 \text{ N Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 1 \text{ ml/ DO (ในน้ำตัวอย่าง 200 ml)}$$

BOD<sub>5</sub> (เมื่อไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์)

$$\text{BOD}_5 (\text{mg/L}) = (D_1 - D_2) / P$$

BOD<sub>5</sub> (เมื่อเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์)

$$\text{BOD}_5 (\text{mg/L}) = [(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2) f] / P$$

โดยที่ D<sub>1</sub> = ค่าออกซิเจนละลายในวันแรก (มิลลิกรัมต่อลิตร)

D<sub>2</sub> = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำในวันที่ 5 (มิลลิกรัมต่อลิตร)

P = อัตราส่วนของการเจือจางตัวอย่างน้ำ

B<sub>1</sub> = ค่าออกซิเจนละลายในวันแรกของหัวเชื้อจุลินทรีย์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

B<sub>2</sub> = ค่าออกซิเจนละลายน้ำในวันที่ 5 ของหัวเชื้อจุลินทรีย์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

f = อัตราส่วนของปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำต่อปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างที่เตรียมไว้สำหรับการแก้ค่าเนื่องจากการเติมหัวเชื้อ

1.3 ค่า Chemical oxygen demand วิธี Dichromate reflux method (APHA, AWWA and WEF, 1995)

#### เครื่องมือ

1. Reflux apparatus ประกอบด้วยขวดขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งมีคอที่ทำด้วย Ground glass 24/40 และ Condenser 300 mm Jacket liebig ซึ่งมีข้อต่อทำด้วย Ground glass 24/40



2. Hot Plate

3. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร

### สารละลายที่ใช้

1. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.25 นอร์มัล ละลาย  $K_2Cr_2O_7$  12.259 กรัม (อบแห้งที่ 103 °ซ เป็นเวลา 2 ชม.) ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำจนได้ปริมาตร 1 ลิตร (ถ้าจำเป็นให้เติมกรดซัลฟามิก 120 มิลลิลิตร เพื่อกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจาก  $NO_2$ )

2. สารละลายกรดซัลฟูริก เดิม  $Ag_2SO_4$  22 กรัม ลงในขวดกรดซัลฟูริกเข้มข้น ขนาด 9 ปอนด์ หรือ 4 กิโลกรัม ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ละลาย

3. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 นอร์มัล ละลาย  $Fe(NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$  39 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ลงไป ทำให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร

### การหานอร์มัลมาตรฐานของเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ( $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ )

ดูดสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมตมา 10 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปต เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 30 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นไตเตรทด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ใช้เฟอร์โรอินเป็นอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด

$$\text{Normality of FAS solution} = \frac{\text{Volume of } K_2Cr_2O_7 \text{ solution titrated, ml} \times 0.25}{\text{Volume FAS used in titration, ml}}$$

4. สารละลายเฟอร์โรอินดิเคเตอร์ ละลายฟีแนนโทโรลีน โมโนไฮเดรต (1-10 Phenanthroline - monohydrate) 1.485 กรัม และ  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  695 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

5. เงินซัลเฟต ( $Ag_2SO_4$ ) เป็นผง

6. เมอร์คิวรีซัลเฟต ( $HgSO_4$ ) เป็นผง

### วิธีการ

1. ดูดตัวอย่างในปริมาตร 20 มิลลิลิตร และปรับปริมาตร น้ำหนักและนอร์มัลลิตีของน้ำยาเคมี โดยดูจากตารางผนวก 2 เพื่อหาอัตราส่วนของตัวอย่างกับน้ำยาเคมีที่จะเติม

2. เติมเมอร์คิวรี(II)ซัลเฟต ( $HgSO_4$ ) ตามอัตราส่วนที่กำหนดในตารางผนวก และใส่ลูกแก้ว (Glass beads) และสารละลายกรดซัลฟูริก ควรเติมกรดช้าๆ เขย่าเพื่อละลายเมอร์คิวรี(II)ซัลเฟต

3. เติมสารละลายโปรแตสเซียมไดโครเมตมาตรฐานตามปริมาตรที่กำหนดในตารางผนวก 2 และผสมอีกครั้ง สวมขวนครีฟลักซ์เข้ากับเครื่องคอนเดนเซอร์ เปิดน้ำให้ไหลผ่านคอนเดนเซอร์ ก่อนเปิดเครื่องให้ความร้อน

4. ทำการรีฟลักซ์ของผสมเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นปล่อยให้เย็น แล้วใช้น้ำกลั่นล้างล้างคอนเดนเซอร์

5. เจือจางของผสมในขวดด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรประมาณ 2 เท่า ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ไตเตรทไตโครเมทที่เกินพอด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ใช้เฟอร์โรอิน 2-3 หยด (0.1-0.15 มิลลิลิตร) เป็นอินดิเคเตอร์ ควรให้ปริมาตรของอินดิเคเตอร์ที่ใช้คงที่ทุกครั้ง ถือเอาจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีน้ำเงิน-เขียวเป็นสีน้ำตาลแดงทันทีเป็นจุดยุติ ถึงแม้ว่าเมื่อตั้งทิ้งไว้ 2-3 นาที สีน้ำเงิน-เขียวจะกลับคืนมาก็ตาม

6. ทำแบลนด์โดยใช้น้ำกลั่นในปริมาตรที่เท่ากับตัวอย่าง ทำการรีฟลักซ์เหมือนตัวอย่างทุกประการรวมทั้งน้ำยาเคมีที่ใช้ด้วย

#### การคำนวณ

$$\text{COD as mg O}_2/\text{L} = \frac{(a-b) N \times 8,000}{\text{ml. Sample}}$$

เมื่อ COD = ค่า Chemical Oxygen Demand จากไตโครเมท

a = มิลลิลิตร ของเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ที่ใช้ในการไตเตรทแบลนด์

b = มิลลิลิตรของเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง

N = นอร์มัลลิตีของเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้

ตารางผนวก 2 น้ำหนักและความเข้มข้นของน้ำยาเคมีที่ใช้กับขนาดของตัวอย่างต่างๆ

Sample Size	0.25 N Standard Dicromate (ml)	Conc. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> with Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)	HgSO <sub>4</sub> (mg)	Normality of Fe(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Final Volume before Titration
10.0	5.0	15	0.2	0.05	70
20.0	10.0	30	0.4	0.10	140
30.0	15.0	45	0.6	0.15	210
40.0	20.0	60	0.8	0.20	280
50.0	25.0	75	1.0	0.25	350

1.4 ของแข็งแขวนลอย (Suspended solids : SS) โดยวิธี Gravimetric method (APHA, AWWA and WEF, 1995)

#### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระดาษกรองใยแก้ว
2. กรวยกรองบุคเนอร์ (Bucher funnel)
3. เครื่องดูดอากาศ (Suction pump)
4. ตู้อบ (Drying oven)
5. เครื่องชั่งละเอียด

#### วิธีการ

1. อบกระดาษกรองให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ ประมาณ 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในคิตเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก
2. เลือกปริมาณน้ำตัวอย่าง ที่ให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยไม่น้อยกว่า 2.5 มิลลิกรัม
3. วางกระดาษกรองลงบนกรวยบุคเนอร์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศ แล้วใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียกเพื่อให้ติดแน่นกับกรวยบุคเนอร์
4. กรองน้ำตัวอย่างโดยเปิดเครื่องดูดสุญญากาศ ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างของแข็งที่ติดอยู่บนหมด
5. ปิดเครื่องดูดสุญญากาศ คีบกระดาษกรอง แล้ววางบนภาชนะที่ทนความร้อน นำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ ในตู้อบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
6. นำไปใส่ในคิตเคเตอร์แล้วปล่อยให้เย็นจนเท่ากับอุณหภูมิห้อง ชั่งหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

#### การคำนวณ

ของแข็งแขวนลอย (mg/L) = ((A-B) x 1000) / ปริมาณน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

โดยที่            A        =    น้ำหนักกระดาษกรองก่อนการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

                      B        =    น้ำหนักกระดาษกรองหลังการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

1.5 โลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม โครเมียม และ ตะกั่ว โดยวิธี Atomic absorption spectrophotometer (APHA, AWWA and WEF, 1995)

#### สารละลายที่ใช้

1. สารละลายแคดเมียมมาตรฐาน
2. สารละลายโครเมียมมาตรฐาน
3. สารละลายตะกั่วมาตรฐาน
4. สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น

## วิธีการ

1. เตรียมสารละลายมาตรฐาน ของ แคลเมียม โครเมียม และ ตะกั่ว ที่มีความเข้มข้น 0.05 ,0.1 ,0.2 ,0.3 ,0.5 , 0.7 และ 1 มิลลิกรัม/ลิตร. โดยใช้ 0.5 โมลาร์ของกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) เป็นตัวทำละลาย
2. นำสารละลายมาตรฐาน มาวัดค่าแอมป์โดยแบนซ์ ที่ความยาวคลื่น 248.3 นาโนเมตร
3. นำค่าแอมป์ของสารละลายมาตรฐาน มาสร้างกราฟเส้นตรง โดยใช้แกน Y เป็นค่าแอมป์และแกน X เป็นความเข้มข้นของสารละลาย
4. นำตัวอย่างที่ต้องการทราบความเข้มข้น มาหาค่าแอมป์แล้วคำนวณหาปริมาณโลหะหนักในน้ำ เทียบกับกราฟที่ได้จากการวัดสารละลายมาตรฐาน

## 2. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

### 2.1 สารละลายสารส้มมาตรฐาน (10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

สารส้มเป็นสารส้มที่มีขายตามท้องตลาด ทำได้โดยละลายสารส้ม  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  10 กรัม ในน้ำกลั่น 0.8 ลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

### 2.2 สารละลาย โพลีเมอร์ประจุบวก (0.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

สารโพลีเมอร์ประจุบวกเป็นของ Best Flocc KS 36C lot.410.121 ทำได้โดยละลายสารโพลีเมอร์ 0.5 กรัม ในน้ำกลั่น 0.8 ลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

### 2.3 สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

เฟอร์ริกคลอไรด์ เป็นเฟอร์ริกคลอไรด์ ที่มีขายตามท้องตลาด ทำได้โดยละลายเฟอร์ริกคลอไรด์  $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  10 กรัม ในน้ำกลั่น ในน้ำกลั่น 0.8 ลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

## 3. ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง

เป็นถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ของ บริษัทคาร์โบกาญจน์

Product : Hard wood Activated carbon

Grade : PHO H 8/30

Test Method : ASTM , Unless otherwise stated

ตารางผนวก 3 ลักษณะถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกาง ของบริษัทคาร์โบกาญจน์ ที่ใช้ทดลอง

สิ่งที่ตรวจสอบ	ค่าที่ตรวจวัดได้
Apparent density (g/cm <sup>3</sup> )	Min 0.280
Moisture (% by weight)(As packed)	Max 0.8 %
Ash (% by weight)(As packed)	Max 0.8 %
pH	9-10
Surface area (Sq. m/g) BET	Min 1110
Iodine adsorption (mg/g)(AWWA B604)	Min 1050
Carbon tetrachloride adsorption (% by weight)	Min 50
Hardness No.	Min 90
Methylene blue ( mg/L) (JIS K1470-1967)	Min 170

## ภาคผนวก ข

## ผลการทดลอง

## ข-1 การศึกษาการรวมตะกอน โดยวิธี การศึกษาขั้นต้นอย่างง่าย

ตารางผนวก 4 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์

การทดลอง	ปริมาณสารส้ม (มก./ลิตร)										
	ครั้งที่	0	20	40	60	80	100	200	400	600	800
1	0	0	1	1	1	1	1	4	4	5	6
2	0	0	1	1	1	2	2	3	3	4	6
3	0	0	0	1	2	2	2	3	4	6	6
เฉลี่ย	0	0	0.7	1	1.3	1.7	1.7	3.3	3.4	5	6

ตารางผนวก 5 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้สารส้ม 40 มก./ล ที่พีเอชต่างๆ สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์

การทดลอง	พีเอช					
	ครั้งที่	4	5	6	7	8
1	6	6	2	1	1	0
2	6	6	2	2	1	0
3	6	6	2	1	0	0
เฉลี่ย	6	6	2	1.3	0.6	0

ตารางผนวก 6 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ สารส้มในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6 สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์

การทดลอง	ปริมาณสารส้ม (มก./ลิตร)					
	ครั้งที่	0	20	40	60	80
1	1	1	1	1	2	2
2	1	1	1	1	2	2
3	1	1	1	1	2	3
เฉลี่ย	1	1	1	1	2	2.3

ตารางผนวก 7 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ สารส้ม ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร  
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5 สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณสารส้ม (มก./ลิตร)					
	0	20	40	60	80	100
1	6	6	6	6	6	6
2	6	6	6	6	6	6
3	6	6	6	6	6	6
เฉลี่ย	6	6	6	6	6	6

ตารางผนวก 8 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอริกคลอไรด์ ในปริมาณต่างๆ  
เป็นสารสร้างตะกอน สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณ เฟอริกคลอไรด์ (มก./ลิตร)										
	0	20	40	60	80	100	200	400	600	800	1000
1	0	0	1	2	2	2	2	2	5	6	6
2	0	0	1	1	2	2	2	3	6	6	6
3	0	1	1	1	1	1	3	5	6	6	6
เฉลี่ย	0	0.3	1	1.3	1.7	1.7	2.3	3.3	5.7	6	6

ตารางผนวก 9 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอริกคลอไรด์ ในปริมาณ 40 มก./ลิตร  
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชต่างๆ สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์

การทดลอง ครั้งที่	พีเอช					
	4	5	6	7	8	9
1	6	7	2	1	1	0
2	7	7	2	2	1	0
3	7	7	2	1	1	0
เฉลี่ย	6.7	7	2	1.3	1	0





ตารางผนวก 13 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ในปริมาณ 4 มก./ลิตร  
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชต่างๆ สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์

การทดลอง ครั้งที่	พีเอช					
	4	5	6	7	8	9
1	6	6	1	1	1	0
2	7	7	1	1	1	0
3	7	7	2	1	1	0
เฉลี่ย	6.7	6.7	1.3	1	1	0

ตารางผนวก 14 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ปริมาณ 0-10 มก./ลิตร  
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6 สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณ โพลีเมอร์ประจุบวก(มก./ลิตร)					
	0	2	4	6	8	10
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
เฉลี่ย	1	1	1	1	1	1

ตารางผนวก 15 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ปริมาณ 0-10 มก./ลิตร  
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5 สำหรับน้ำล้างเครื่องพิมพ์

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณ โพลีเมอร์ประจุบวก(มก./ลิตร)					
	0	2	4	6	8	10
1	6	6	6	6	5	5
2	6	6	6	6	6	6
3	6	6	6	6	6	6
เฉลี่ย	6	6	6	6	5.7	5.7

ตารางผนวก 16 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ในปริมาณต่างๆ  
เป็นสารสร้างตะกอน สำหรับน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณ โพลีเมอร์ประจุบวก(มก./ลิตร)										
	0	2	4	6	8	10	20	40	60	80	100
1	0	0	1	1	1	2	2	2	1	1	1
2	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	1
3	0	0	1	1	1	3	3	2	2	2	2
เฉลี่ย	0	0	1	1	1	2.3	2.3	2	1.7	1.7	1.3

ตารางผนวก 17 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ในปริมาณ 4 มก./ลิตร  
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชต่างๆ สำหรับน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก

การทดลอง ครั้งที่	พีเอช					
	4	5	6	7	8	9
1	2	2	2	2	3	3
2	1	1	1	2	3	3
3	1	1	1	1	2	2
เฉลี่ย	1.3	1.3	1.3	1.7	2.7	2.7

ตารางผนวก 18 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้สารส้ม ในปริมาณต่างๆเป็นสารสร้าง  
ตะกอน สำหรับน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณสารส้ม (มก./ลิตร)										
	0	20	40	60	80	100	200	400	600	800	1000
1	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2
2	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2
3	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2
เฉลี่ย	0	0	0.7	1	1	1	1.7	2	2	2	2

ตารางผนวก 19 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้สารส้ม ในปริมาณ 40 มก./ลิตร  
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช ต่างๆ สำหรับน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก

การทดลอง	พีเอช					
	4	5	6	7	8	9
ครั้งที่						
1	1	1	1	1	2	2
2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	2
เฉลี่ย	1.3	1.3	1.7	1.7	2	2

ตารางผนวก 20 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอร์ริกคลอไรด์ ในปริมาณต่างๆเป็นสาร  
สร้างตะกอน สำหรับน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก

การทดลอง	ปริมาณ เฟอร์ริกคลอไรด์ (มก./ลิตร)										
	0	20	40	60	80	100	200	400	600	800	1000
ครั้งที่											
1	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2
2	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2
3	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
เฉลี่ย	0	0.3	1	1	1	1	2	2	2	2	2

ตารางผนวก 21 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอร์ริกคลอไรด์ ในปริมาณ 40 มก./ลิตร  
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชต่างๆ สำหรับน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก

การทดลอง	พีเอช					
	4	5	6	7	8	9
ครั้งที่						
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2
3	1	1	1	1	2	2
เฉลี่ย	1	1	1	1	1.7	1.7

ตารางผนวก 22 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้สารส้ม ในปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน สำหรับน้ำเสียรวม

การทดลอง	ปริมาณสารส้ม (มก./ลิตร)											
	ครั้งที่	0	20	40	60	80	100	200	400	600	800	1000
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3
2	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3
3	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	3	3
เฉลี่ย	0	0	0.6	0.6	1	1.3	1.7	1.7	1.7	2	3	3

ตารางผนวก 23 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้สารส้ม ในปริมาณ 40 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช ต่างๆ สำหรับน้ำเสียรวม

การทดลอง	พีเอช						
	ครั้งที่	4	5	6	7	8	9
1	3	3	2	1	0	0	0
2	3	3	3	1	1	0	0
3	3	3	2	0	0	0	0
เฉลี่ย	3	3	2.3	0.6	0.3	0	0

ตารางผนวก 24 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ สารส้ม ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6 สำหรับน้ำเสียรวม

การทดลอง	ปริมาณสารส้ม (มก./ลิตร)						
	ครั้งที่	0	20	40	60	80	100
1	1	1	1	2	2	3	3
2	1	1	1	2	3	3	3
3	1	1	2	3	3	3	3
เฉลี่ย	1	1	1.3	2.3	2.7	3	3

ตารางผนวก 25 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ สารส้ม ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร เป็นสาร  
สร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5 สำหรับน้ำเสียรวม

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณสารส้ม (มก./ลิตร)					
	0	20	40	60	80	100
1	2	2	3	3	3	3
2	3	3	3	3	3	3
3	2	3	3	3	3	3
เฉลี่ย	2.3	2.7	3	3	3	3

ตารางผนวก 26 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอร์ริกคลอไรด์ ในปริมาณต่างๆเป็นสาร  
สร้างตะกอน สำหรับน้ำเสียรวม

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณ เฟอร์ริกคลอไรด์ (มก./ลิตร)										
	0	20	40	60	80	100	200	400	600	800	1000
1	0	0	1	1	2	2	2	2	3	3	3
2	0	0	1	1	2	2	2	3	3	3	3
3	0	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3
เฉลี่ย	0	0.3	1	1	1.3	1.3	2	2.3	3	3	3

ตารางผนวก 27 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอร์ริกคลอไรด์ ในปริมาณ 40 มก./ลิตร  
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชต่างๆ สำหรับน้ำเสียรวม

การทดลอง ครั้งที่	พีเอช					
	4	5	6	7	8	9
1	3	3	2	1	1	0
2	3	3	3	2	1	0
3	3	2	1	1	1	0
เฉลี่ย	3	2.7	2	0.6	1	0

ตารางผนวก 28 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอร์ริกคลอไรด์ ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร  
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6 สำหรับน้ำเสียรวม

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ (มก./ลิตร)					
	0	20	40	60	80	100
1	1	1	1	2	3	3
2	1	1	2	2	3	3
3	1	2	2	3	3	3
เฉลี่ย	1	1.3	1.7	2.3	3	3

ตารางผนวก 29 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ เฟอร์ริกคลอไรด์ ในปริมาณ 0-100 มก./ลิตร  
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5 สำหรับน้ำเสียรวม

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณ เฟอร์ริกคลอไรด์ (มก./ลิตร)					
	0	20	40	60	80	100
1	2	3	3	3	3	3
2	3	3	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3	3
เฉลี่ย	2.7	3	3	3	3	3

ตารางผนวก 30 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ในปริมาณต่างๆ  
เป็นสารสร้างตะกอน สำหรับน้ำเสียรวม

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณ โพลีเมอร์ประจุบวก(มก./ลิตร)										
	0	2	4	6	8	10	20	40	60	80	100
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
เฉลี่ย	0	0	0.3	0.3	0.3	1	1	1	1	1	1

ตารางผนวก 31 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ในปริมาณ 4 มก./ลิตร  
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชต่างๆ สำหรับน้ำเสียรวม

การทดลอง	พีเอช					
	ครั้งที่ 4	5	6	7	8	9
1	3	2	0	0	0	0
2	3	2	0	0	0	0
3	3	2	0	0	0	0
เฉลี่ย	3	2	0	0	0	0

ตารางผนวก 32 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ปริมาณ 0-10 มก./ลิตร  
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6 สำหรับน้ำเสียรวม

การทดลอง	ปริมาณ โพลีเมอร์ประจุบวก(มก./ลิตร)					
	0	2	4	6	8	10
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
เฉลี่ย	1	1	1	1	1	1

ตารางผนวก 33 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ โพลีเมอร์ประจุบวก ปริมาณ 0-10 มก./ลิตร  
เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5 สำหรับน้ำเสียรวม

การทดลอง	ปริมาณ โพลีเมอร์ประจุบวก(มก./ลิตร)					
	0	2	4	6	8	10
1	3	3	3	3	3	3
2	3	3	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3	3
เฉลี่ย	3	3	3	3	3	3

ข-2 การศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษด้วยวิธีการรวมตะกอน

ตารางผนวก 34 แสดงค่าความขุ่นที่เหลือ (NTU) ที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้สารส้มปริมาณ 40 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5-12 ของน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก

พีเอช	เวลา (นาที)								
	5	10	20	30	60	120	180	300	600
5	6930	5550	4910	2728	1660	710	210	215	92
6	7660	6070	4015	2584	1066	600	207	149	81
7	8640	6196	3250	2388	1088	564	206	147	84
8	8604	5846	3350	2684	1018	638	224	158	80
9	9043	7084	4990	3315	1376	727	222	179	80
10	8850	7036	4980	4300	1790	945	227	180	80
12 (น้ำคิบ)	8525	6220	4325	3280	1680	900	244	189	89

ตารางภาคผนวก 35 แสดงค่าความขุ่นที่เหลือ (NTU) ที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้สารส้ม 0-100 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 8 ของน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก

ปริมาณสาร สร้างตะกอน (มก./ลิตร)	เวลา (นาที)								
	5	10	20	30	60	120	180	300	600
0	8980	7772	4048	3017	1478	516	306	168	80
20	8500	7823	3724	2862	1248	556	289	177	84
40	8652	5960	3408	2866	1138	751	267	174	80
60	8484	6336	3580	2382	1214	626	307	184	88
80	7944	7128	3056	1896	1006	416	264	156	81
100	9372	7654	2524	2100	1232	462	290	178	82



ตารางผนวก 36 แสดงค่าความขุ่นที่เหลือ (NTU) ที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวก 4 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 5-12 ของน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟูก

พีเอช	เวลา (นาที)								
	5	10	20	30	60	120	180	300	600
5	5880	4176	3472	1632	496	307	120	88	84
6	5824	3488	2332	1186	540	320	124	88	80
7	4808	3460	1640	1076	496	240	112	92	80
8	4068	1722	700	472	265	123	101	89	80
9	4440	2660	860	530	246	132	125	90	85
10	4332	2852	1550	772	299	141	130	98	90
12 (น้ำดิบ)	4872	3936	2800	1840	715	192	160	102	91

ตารางผนวก 37 แสดงค่าความขุ่นที่เหลือ (NTU) ที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวก 0-10 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 8 ของน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟูก

ปริมาณสาร สร้างตะกอน (มก./ลิตร)	เวลา (นาที)								
	5	10	20	30	60	120	180	300	600
0	8892	7873	4285	3232	1272	498	380	180	82
2	8196	8268	3576	2604	982	514	343	150	80
4	4176	1764	842	582	258	125	103	90	80
6	5976	3136	1344	810	334	148	125	95	83
8	8550	3894	1512	1008	427	250	184	120	80
10	8820	5136	2172	1650	638	398	216	180	84

ตารางผนวก 38 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่1(น้ำล้างเครื่องพิมพ์) เมื่อใช้สารส้มปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช 5

การทดลองครั้งที่	ตัวแปร	น้ำดิบ	หลังปรับพีเอช 5		หลังเติมสารส้ม ปริมาณ (มก./ลิตร )									
			ด้วย $H_2SO_4$ 0.1 %		20	%	40	%	60	%	80	%	100	%
				% Removal		Removal		Removal		Removal		Removal		Removal
1	pH	8.1	5.0	-	4.9	-	4.8	-	4.8	-	4.7	-	4.5	-
	COD	6550	845	86.9	784	88.0	764	88.3	706	89.2	723	89.0	705	89.2
	Turbidity	2837	45	98.4	38.3	98.6	24.5	99.1	20.0	99.3	22.7	99.2	15.7	99.5
2	pH	8.5	5.0	-	5.0	-	4.9	-	4.8	-	4.8	-	4.5	-
	COD	7050	859	87.8	851	87.9	828	88.3	798	88.7	805	88.6	798	88.7
	Turbidity	2000	44.2	97.8	28.3	98.6	24.3	98.8	15.4	99.2	18.7	99.1	15.7	99.2
3	pH	8.3	5.1	-	5.1	-	4.9	-	4.9	-	4.8	-	4.6	-
	COD	6300	860	86.3	864	86.3	864	86.3	871	86.2	870	86.2	869	86.2
	Turbidity	2500	32.7	98.7	30.7	98.8	26.6	99	19.5	99.2	24.4	99	25.0	99.0

ตารางผนวก 39 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่ 1 (น้ำล้างเครื่องพิมพ์) เมื่อใช้สารส้มปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช 6

การ ทดลอง ครั้งที่	ตัวแปร	น้ำดิบ	หลังเติมสารส้ม ปริมาณ (มก./ลิตร )											
			200	% Removal	400	% Removal	600	% Removal	800	% Removal	1000	1500	100	% Removal
1	pH	8.1	5.89	-	5.65	-	5.37	-	5.15	-	4.68	-	4.4	-
	COD	6550	2395	63.4	1235	81.2	722	89	684	89.6	646	90.1	756	88.5
	Turbidity	2837	1630	50.2	83	97.1	40	98.6	38	98.7	45.7	98.4	40.4	98.6
2	pH	8.5	5.98	-	5.71	-	5.43	-	5.02	-	4.53	-	4.23	-
	COD	7050	2375	66.3	957	85.4	745	89.5	702	90.0	819	88.4	762	89.2
	Turbidity	2000	1325	33	81	96	52.8	97.4	35.5	98.2	30.8	98.5	30.3	98.5
3	pH	8.3	6.0	-	5.83	-	5.48	-	4.95	-	4.49	-	4.14	-
	COD	6300	2134	60.6	1214	76.8	1131	78.8	803	87.3	816	87.1	900	85.7
	Turbidity	2500	1194	52.2	78	98.1	50	98	42.3	98.3	48.3	98.1	41.8	98.3

ตารางผนวก 40 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่ 1 (น้ำล้างเครื่องพิมพ์) เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช 5

การทดลองครั้งที่	ตัวแปร	น้ำดิบ	หลังปรับพีเอช 5 ด้วย $H_2SO_4$ 0.1 %		หลังเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ ปริมาณ (มก./ลิตร)									
				% Removal	20	% Removal	40	% Removal	60	% Removal	80	% Removal	100	% Removal
1	pH	8.1	5.0	-	5.0	-	4.9	-	4.9	-	4.8	-	4.5	-
	COD	6550	845	86.9	842	87.1	686	89.5	705	89.2	744	88.6	735	88.8
	Turbidity	2837	45	98.4	42.1	98.5	39.1	99.6	42	98.5	40.4	98.6	45.1	98.3
2	pH	8.5	5.0	-	5.0	-	5.0	-	4.9	-	4.7	-	4.6	-
	COD	7050	859	87.8	859	87.8	833	88.2	844	88	846	88	856	88
	Turbidity	2000	44.2	97.8	44.2	97.8	31.7	98.4	34.3	98.3	34	98.9	34.5	98.9
3	pH	8	5.1	-	5.0	-	4.9	-	4.8	-	4.6	-	4.5	-
	COD	6300	860	86.3	850	86.5	801	87.3	800	87.3	820	87.0	835	86.8
	Turbidity	2500	32.7	98.7	31.1	98.8	28.2	98.9	27.2	98.9	31.9	98.7	33.3	98.7

ตารางผนวก 41 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่1(น้ำล้างเครื่องพิมพ์) เมื่อใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช 6

การทดลองครั้งที่	ตัวแปร	น้ำดิบ	หลังเติมเฟอร์ริคคลอไรด์ ปริมาณ (มก./ลิตร )											
			200	% Removal	400	% Removal	600	% Removal	800	% Removal	1000	% Removal	1500	% Removal
1	pH	8.1	5.8	-	5.3	-	4.9	-	4.7	-	4.3	-	4.1	-
	COD	6550	1710	73.9	684	89.6	646	90.1	650	90.1	644	90.2	645	90.2
	Turbidity	2837	130	96.2	41	98.6	32	98.9	35	98.8	33	98.8	35	98.8
2	pH	8.5	5.8	-	5.4	-	5.0	-	4.8	-	4.4	-	4.2	-
	COD	7050	1235	82.5	779	89	707	90	710	89.9	712	89.9	721	89.8
	Turbidity	2000	125	93.8	55	97.3	38	98.1	41	98	42	97.9	41	98
3	pH	8.3	5.7	-	5.3	-	4.9	-	4.7	-	4.4	-	4.2	-
	COD	6300	1250	76.1	1131	78.4	902	85.7	927	85.3	918	85.4	917	85.7
	Turbidity	2500	115	95.4	52	97.9	29	98.8	37	98.5	40	98.4	42	98.3

ตารางผนวก 42 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่1(น้ำล้างเครื่องพิมพ์) เมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวกปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช 5

การทดลองครั้งที่	ตัวแปร	น้ำดิบ	หลังปรับพีเอช 5 ด้วยH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.1 %		หลังเติมโพลิเมอร์ประจุบวกปริมาณ (มก./ลิตร )									
				% Removal	2	% Removal	4	% Removal	6	% Removal	8	% Removal	10	% Removal
1	pH	8.1	5.1	-	5.1	-	5.1	-	5.0	-	5.0	-	5.0	-
	COD	6550	845	86.9	733	88.8	628	90.4	603	90.8	630	90.4	715	89.1
	Turbidity	2837	45	98.4	33	98.8	23	99.2	20	99.3	23	99.2	23.5	99.2
2	pH	8.5	5.1	-	5.1	-	5.11	-	5.0	-	5.0	-	5.0	-
	COD	7050	859	87.8	636	91.0	630	91.1	612	91.3	612	91.3	620	91.2
	Turbidity	2000	44.2	97.8	22.2	98.9	21.0	99	18	99.1	18	99.1	18.2	99.1
3	pH	8.3	5.1	-	5.0	-	5.0	-	5.0	-	5.0	-	5.0	-
	COD	6300	860	86.3	845	86.6	731	88.4	700	88.9	711	88.7	733	88.4
	Turbidity	2500	32.7	98.7	29.5	98.8	25.2	99	23	99.1	28.8	98.6	28.8	98.9

ตารางผนวก 43 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่1(น้ำล้างเครื่องพิมพ์) เมื่อใช้โพลิเมอร์ประจุบวกปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่ พีเอช 6

การทดลองครั้งที่	ตัวแปร	น้ำดิบ	หลังเติมโพลิเมอร์ประจุบวกปริมาณ (มก./ลิตร )											
			10	% Removal	20	% Removal	40	% Removal	60	% Removal	80	% Removal	100	% Removal
1	pH	8.1	6	-	6	-	5.9	-	5.9	-	5.8	-	5.8	-
	COD	6550	6005	8.3	5700	13.0	4002	3879	3250	50.4	3520	46.3	3930	40.0
	Turbidity	2837	2000	29.5	1650	41.8	1400	50.7	1250	55.9	1300	54.2	1430	49.6
2	pH	8.5	6	-	6	-	6	-	5.9	-	5.9	-	5.8	-
	COD	7050	6820	3.3	6020	14.6	4970	29.5	3870	45.1	4035	42.7	4550	35.5
	Turbidity	2000	1800	10	1530	23.5	1210	39.5	1080	46	990	50.5	1095	45.6
3	pH	8.3	5.9	-	6	-	6	-	5.9	-	5.8	-	5.8	-
	COD	6300	5930	5.9	4831	23.3	3520	41.1	3010	52.2	3230	48.7	3900	38.1
	Turbidity	2500	1950	20.8	1500	40	1350	46	1130	54.8	1200	52	1420	43.2

ตารางผนวก 44 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่3(น้ำเสีรวม) เมื่อใช้สารส้มปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่ พีเอช 5

การ ทดลอง ครั้งที่	ตัวแปร	น้ำดิบ	หลังปรับพีเอช 5 ด้วยH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.1 %		หลังเติมสารส้มปริมาณ (มก./ลิตร )									
				% Removal	20	% Removal	40	% Removal	60	% Removal	80	% Removal	100	% Removal
1	pH	11.8	5.1	-	5.0	-	5.0	-	4.9	-	4.8	-	4.5	-
	COD	8500	2064	75.7	1865	78.1	1855	78.2	1816	78.6	1915	77.4	1908	77.6
	Turbidity	3900	305	92.2	292	92.5	268	93.1	286	92.7	290	92.6	297	92.4
2	pH	12.5	5.0	-	4.9	-	4.9	-	4.9	-	4.8	-	4.7	-
	COD	13980	4471	68	4432	68.3	4324	77.7	4412	68.4	4561	64.5	4412	68.4
	Turbidity	5825	880	84.9	568	90.3	560	90.4	538	90.8	574	90.2	548	90.6
3	pH	9.5	5.1	-	5.0	-	4.90	-	4.90	-	4.80	-	4.70	-
	COD	6317	2246	64.4	2353	62.8	2290	63.8	2259	64.2	2290	63.8	2300	63.6
	Turbidity	3350	233	93	240	92.8	208	93.8	201	94.0	193	94.2	205	93.8



ตารางภาคผนวก 45 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่3(น้ำเสีรวม) เมื่อใช้สารส้มปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช 6

การทดลองครั้งที่	ตัวแปร	น้ำดิบ	หลังเติมสารส้มปริมาณ (มก./ลิตร )											
			200	% Removal	400	% Removal	600	% Removal	800	% Removal	1000	% Removal	1500	% Removal
1	pH	11.5	5.9	-	5.7	-	5.5	-	5.1	-	4.8	-	4.5	-
	COD	8500	6300	25.9	4350	48.8	3005	64.7	1850	78.2	1846	78.3	1830	78.5
	Turbidity	3900	2125	45.5	1930	50.5	680	82.6	260	93.3	265	93.2	258	93.4
2	pH	12.5	5.8	-	5.6	-	5.4	-	5.0	-	4.7	-	4.4	-
	COD	13980	9200	34.2	6730	51.9	5260	62.4	4430	68.3	4432	68.3	4412	68.4
	Turbidity	5825	3012	48.3	1930	66.9	820	85.9	530	90.9	495	91.5	502	91.4
3	pH	9.5	5.9	-	5.6	-	5.4	-	4.9	-	4.5	-	4.2	-
	COD	6317	5200	17.7	3250	48.6	2530	60.0	2250	64.4	2248	64.4	2258	64.3
	Turbidity	3350	1650	50.8	1012	69.8	530	84.2	201	94	205	93.9	208	93.8

ตารางผนวก 46 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่3 (น้ำเสียรวม) เมื่อใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช 5

การทดลองครั้งที่	ตัวแปร	น้ำดิบ	หลังปรับพีเอช 5 ด้วย H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.1 %		หลังเติมเฟอร์ริคคลอไรด์ ปริมาณ (มก./ลิตร )									
				% Removal	20	% Removal	40	% Removal	60	% Removal	80	% Removal	100	% Removal
1	pH	11.8	5.1	-	5.0	-	5.0	-	4.9	-	4.8	-	4.7	-
	COD	8500	2064	75.7	2089	75.4	2053	75.9	2090	76.2	2093	75.4	2121	75.1
	Turbidity	3900	305	92.2	298	92.4	303	92.2	274	93.0	262	93.3	268	93.2
2	pH	12.5	5.0	-	4.9	-	4.8	-	4.7	-	4.6	-	4.5	-
	COD	13980	4471	68	4167	70.2	4136	70.4	4049	71.0	4135	70.4	4250	69.6
	Turbidity	5825	880	84.9	895	84.6	907	84.4	930	84.0	907	84.4	917	84.3
3	pH	9.5	5.1	-	5.0	-	4.8	-	4.7	-	4.4	-	4.4	-
	COD	6317	2246	64.4	2189	65.4	2097	66.8	2147	66.0	2153	65.9	2197	65.2
	Turbidity	3350	233	93	226	93.3	224	93.3	204	93.9	224	93.3	225	93.3

ตารางผนวก 47 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่3 (น้ำเสี้ยวรวม) เมื่อใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช 6

การทดลองครั้งที่	ตัวแปร	น้ำดิบ	หลังเติมเฟอร์ริคคลอไรด์ ปริมาณ (มก./ลิตร )											
			200	% Removal	400	% Removal	600	% Removal	800	% Removal	1000	% Removal	1500	% Removal
1	pH	11.8	5.9	-	5.5	-	5.1	-	4.8	-	4.4	-	4.0	-
	COD	8500	3500	58.8	2850	66.5	2080	75.5	2053	75.9	2123	75.0	2130	74.9
	Turbidity	3900	1520	61.0	950	75.6	300	92.3	305	92.2	299	93.6	301	92.3
2	pH	12.5	5.8	-	5.4	-	5.0	-	4.6	-	4.2	-	3.9	-
	COD	13980	8230	41.1	6350	54.6	4100	70.7	4130	70.5	4116	70.6	4109	70.6
	Turbidity	5825	2200	74.1	1350	76.8	880	84.9	895	84.6	903	84.5	901	84.5
3	pH	9.5	5.9	-	5.6	-	4.9	-	4.5	-	4.3	-	4.0	-
	COD	6317	3210	49.2	2850	54.9	2030	67.9	2047	67.6	2093	66.9	2144	66.1
	Turbidity	3350	1350	59.7	850	74.6	245	92.7	224	93.3	231	93.1	233	93.1

ตารางผนวก 48 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่ 6 (น้ำเสี้ยวรวม) เมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวก ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช 5

การทดลองครั้งที่	ตัวแปร	น้ำดิบ	หลังปรับพีเอช 5 ด้วย H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.1 %		หลังเติม โพลีเมอร์ประจุบวก ปริมาณ (มก./ลิตร )									
				% Removal	2	% Removal	4	% Removal	6	% Removal	8	% Removal	10	% Removal
1	pH	11.8	5.1	-	5.0	-	5.0	-	5.0	-	5.0	-	5.0	-
	COD	8500	2064	75.7	1964	76.9	1845	78.3	1796	78.9	1776	79.1	1776	79.1
	Turbidity	3900	305	92.2	286	92.7	273	93	234	94	249	93.6	251	93.6
2	pH	12.5	5.05	-	4.9	-	4.9	-	4.9	-	4.9	-	4.9	-
	COD	13980	4471	68	4425	68.4	4421	68.4	4255	69.6	4490	67.9	4494	67.9
	Turbidity	5825	880	84.9	380	93.5	308	94.7	336	94.2	335	94.3	320	94.5
3	pH	9.5	5.1	-	5.1	-	5.1	-	5.1	-	5.0	-	5.0	-
	COD	6317	2246	64.4	2124	66.4	2129	66.3	2052	67.5	2266	64.1	2277	64.0
	Turbidity	3350	233	93	177.6	94.7	162	95.2	150	95.5	167.4	95	163.4	95.1

ตารางผนวก 49 แสดงผลการกำจัดมลสารของน้ำเสียจุดที่ 6 (น้ำเสี้ยวรวม) เมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวก ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอช 6

การทดลองครั้งที่	ตัวแปร	น้ำดิบ	หลังเติม โพลีเมอร์ประจุบวก ปริมาณ (มก./ลิตร )											
			10	% Removal	20	% Removal	40	% Removal	60	% Removal	80	% Removal	100	% Removal
1	pH	11.8	6	-	6	-	5.9	-	5.9	-	5.9	-	5.9	-
	COD	8500	6250	26.5	5840	31.3	4605	45.8	5230	38.5	5780	32	5930	30.2
	Turbidity	3900	2000	48.7	1830	53.1	1520	61.0	1790	54.1	1850	52.6	1900	51.3
2	pH	12.5	6	-	6	-	5.9	-	5.9	-	5.9	-	5.9	-
	COD	13980	9930	29	9005	35.6	7930	43.3	8100	42.1	8500	39.2	9050	35.3
	Turbidity	5825	3200	45.1	3000	48.5	2700	53.6	2850	51.1	2850	51.1	3010	48.3
3	pH	9.5	6	-	5.9	-	5.9	-	5.9	-	5.9	-	5.9	-
	COD	6317	5270	16.6	4630	26.7	3820	39.5	3890	38.4	4200	33.5	4920	22.1
	Turbidity	3350	1850	44.8	1630	51.3	1490	55.5	1520	54.6	1550	53.7	1720	48.7

ตารางผนวก 50 แสดงผลการกำจัดมลสารในน้ำเสีย เมื่อผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาตรน้ำ (ลิตร)	ปริมาตรน้ำ (BV)	BOD <sub>5</sub> (มก./ลิตร)	SS (มก./ลิตร)	Cd/Pb/Cr (มก./ลิตร)	ความขุ่น		COD	
						(NTU)	C/C <sub>0</sub>	(มก./ลิตร)	C/C <sub>0</sub>
0.5	1	2.3	5	1	nd	1.59	2.7	22.5	3.0
1.0	2	4.6	6	3	nd	1.63	2.8	27.5	3.2
1.5	3	6.9	-	-	-	1.77	3.0	30.4	3.6
2.0	4	9.2	7	5	nd	1.96	3.3	37.0	4.3
2.5	5	11.5	-	-	-	2.01	3.5	40.3	4.7
3.0	6	13.8	8	7	nd	2.09	3.6	45.6	5.4
3.5	7	16.1	-	-	-	2.13	3.7	49.0	5.8
4.0	8	18.4	-	-	-	2.29	3.9	50.5	5.9
4.5	9	20.7	-	-	-	2.62	4.5	59.7	7.0
5.0	10	22.9	10.2	11	nd	2.91	4.9	63.3	7.4
5.5	11	25.2	-	-	-	2.99	5.1	82	9.6
6.0	12	27.5	-	-	-	3.01	5.1	95	11.2
6.5	13	29.8	-	-	-	3.02	5.1	102	12.0

ตารางผนวก 50 (ต่อ) แสดงผลการกำจัดมลสารในน้ำเสีย เมื่อผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาตรน้ำ (ลิตร)	ปริมาตรน้ำ (BV)	BOD <sub>5</sub> (มก./ลิตร)	SS (มก./ลิตร)	Cd/Pb/Cr (มก./ลิตร)	ความขุ่น		COD	
						(NTU)	C/C <sub>0</sub>	(มก./ลิตร)	C/C <sub>0</sub>
7.0	14	32.1	-	-	-	3.08	5.2	115	13.5
7.5	15	34.4	-	-	-	3.20	5.4	125	14.7
8.0	16	36.7	-	-	-	3.71	6.3	151	17.8
8.5	17	39.1	-	-	-	3.87	6.6	183	21.5
9.0	18	41.3	-	-	-	3.89	6.6	220	25.9
9.5	19	43.6	-	-	-	6.67	11.3	253	29.8
10	20	45.9	39	11	nd	7.81	13.3	279	32.8
11	22	50.5	-	-	-	8.89	14.1	365	39.4
12	24	55.1	-	-	-	11.2	19	368	43.7
13	26	59.7	-	-	-	11.8	20	415	48.8
14	28	64.2	-	-	-	13.5	23	451	53
15	30	68	-	-	-	14.7	25	476	56
16	32	74.6	-	-	-	16.5	28	502	59

ตารางผนวก 50 (ต่อ) แสดงผลการกำจัดมลสารในน้ำเสีย เมื่อผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาตรน้ำ (ลิตร)	ปริมาตรน้ำ (BV)	BOD <sub>5</sub> (มก./ลิตร)	SS (มก./ลิตร)	Cd/Pb/Cr (มก./ลิตร)	ความขุ่น		COD	
						(NTU)	C/C <sub>0</sub>	(มก./ลิตร)	C/C <sub>0</sub>
17	34	80.2	-	-	-	16.2	28.5	514	60.5
18	36	86.8	-	-	-	16.8	31	544	64
19	38	82.4	-	-	-	18.8	32	574	64
20	40	91.9	-	-	-	19.4	33	587	67.5
256	50	114.7	-	-	-	25.3	43	667	69
30	60	137.7	-	-	-	38.2	65	731	78.5
35	70	160.6	-	-	-	45.9	78	758	86
40	80	183.6	-	-	-	50.6	86	795	89.2
45	90	203.5	-	-	-	51.7	88	820	93.5
50	100	229.4	-	-	-	54.1	92	834	96.5
55	110	252.4	-	-	-	57.6	98	852	98.5
60	120	279.7	-	-	-	59.3	100	851	100



## ภาคผนวก ก

## การคำนวณ

## การคำนวณปริมาตรของถ่านในคอลัมน์ และการนำไปใช้

การนำความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้น และปริมาตรของถ่านในคอลัมน์ ไปสร้างเป็นกราฟ เบรคทรู จะใช้ประโยชน์ได้ดี โดยสามารถนำความสัมพันธ์ที่ได้ ไปใช้งานได้ทันที โดยไม่ต้องรู้ขนาดของคอลัมน์

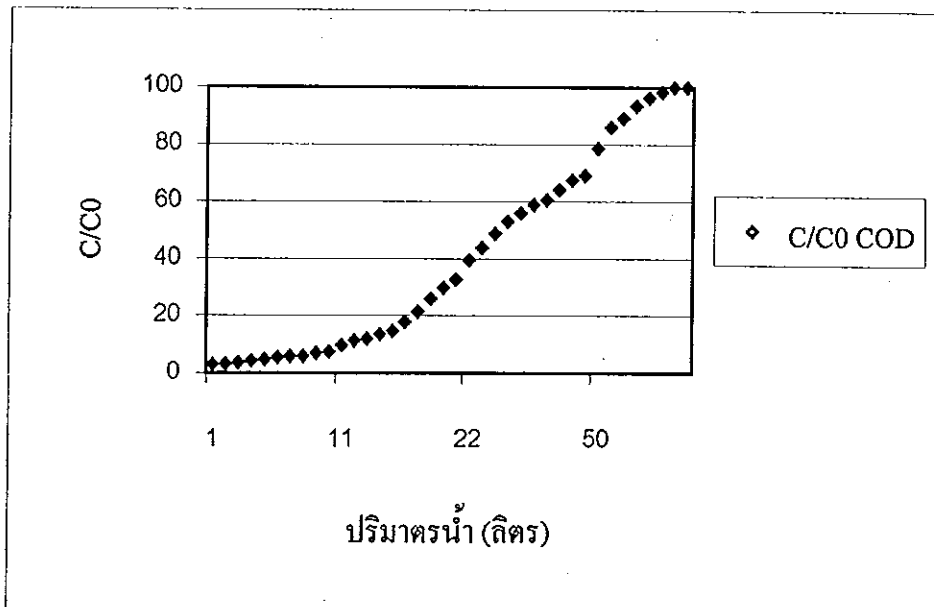
Bed Volume ,BV = ปริมาตรของถ่านกัมมันต์ในคอลัมน์

$$BV = \frac{\pi d^2 h}{4} \text{ (cm}^3\text{)}$$

4

เมื่อ  $d$  = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในคอลัมน์ (เซนติเมตร)

$h$  = ความสูงของถ่านในคอลัมน์ (เซนติเมตร)



ภาพประกอบผนวก 1 ตัวอย่างการคำนวณปริมาตรถ่านในคอลัมน์

การคำนวณ

จากการทดลอง ใช้คอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในคอลัมน์ (d) เท่ากับ 4.3 เซนติเมตร  
ความสูงของชั้นถ่านในคอลัมน์ (h) เท่ากับ 30 เซนติเมตร

$$\text{ดังนั้น} \quad BV = \frac{\pi \times 4.3^2 \times 30}{4} \times \frac{1}{1000} \quad \text{ลิตร}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น} \quad 1 \text{ BV} = 0.436 \text{ ลิตร}$$

จากกราฟ สามารถคำนวณอายุการใช้งานของถ่านกัมมันต์ โดยกำหนดเมื่อค่า COD มีค่าที่  
เท่ากับเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เท่ากับ 120 มก./ลิตร

เพราะฉะนั้น น้ำกรองที่ผ่านค่ามาตรฐาน COD อายุการใช้งานของถ่านกัมมันต์ ( $t_1$ ) เท่ากับ  
ปริมาตรน้ำ 33.5 BV หรือ 33.5 เท่า ของปริมาตรถ่านกัมมันต์ในคอลัมน์ และอายุของถ่านกัมมันต์ที่  
ใช้จนหมดประสิทธิภาพการดูดซับ เท่ากับการกรองน้ำนาน 55 ชั่วโมง หรือปริมาตรน้ำ 252.4 BV  
ตัวอย่าง การคำนวณอายุการใช้งานของคอลัมน์ถ่านกัมมันต์ และมูลค่าถ่านกัมมันต์

สมมุติว่าออกแบบคอลัมน์การกรองของโรงงาน

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในคอลัมน์ เท่ากับ 30 เซนติเมตร

ขนาดความสูงของชั้นถ่าน ในคอลัมน์เท่ากับ 200 เซนติเมตร

$$\text{ดังนั้น} \quad BV = \frac{\pi \times 30^2 \times 200}{4} \times \frac{1}{1000} \quad \text{ลิตร} = 141.4 \text{ ลิตร}$$

สามารถคำนวณมูลค่าถ่านได้จาก

$$\text{มูลค่าถ่าน} = \text{ปริมาตรถ่าน} \times \text{bulk density} \times \text{ราคา}$$

$$\text{เมื่อ ปริมาตรถ่าน} = 141.4 \text{ ลิตร}$$

$$\text{bulk density} = .28 \text{ กิโลกรัมต่อลิตร}$$

$$\text{ราคา} = 50 \text{ B/Kg}$$

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้น} \quad \text{มูลค่าถ่านในคอลัมน์} &= 141.4 \times 0.28 \times 50 \\ &= 1980 \text{ บาท} \end{aligned}$$

คำนวณอายุการใช้งานของคอลัมน์ถ่านกัมมันต์

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำกรองที่ผ่านค่ามาตรฐาน COD จากคอลัมน์} &= 33.5 \text{ BV} \\
 \text{หรือสามารถกรองน้ำได้เป็นปริมาตร} &= 141.4 \times 33.5 = 4738 \text{ ลิตร} \\
 \text{น้ำกรองที่ผ่านคอลัมน์จนถ่านหมดประสิทธิภาพ} &= 252.4 \text{ BV} \\
 \text{หรือสามารถกรองน้ำได้เป็นปริมาตร} &= 141.4 \times 252.4 = 35690 \text{ ลิตร}
 \end{aligned}$$

คำนวณมูลค่าถ่านกัมมันต์ ค่อน้ำเสีย 1 ลบ.ม ที่เวลา  $t_1$  และ  $t_2$

$$\begin{aligned}
 \text{มูลค่าถ่านที่เวลา } t_1 &= \frac{1980 \text{ บาท}}{4.74 \text{ ลบ.ม}} = 418 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร} \\
 \text{มูลค่าถ่านที่เวลา } t_2 &= \frac{1980 \text{ บาท}}{3.569 \text{ ลบ.ม}} = 55 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร}
 \end{aligned}$$

สรุปอายุการใช้งานของคอลัมน์ถ่านกัมมันต์ และมูลค่าถ่าน เมื่อใช้อัตราเร็วในการกรอง 2 ลิตรต่อชั่วโมง

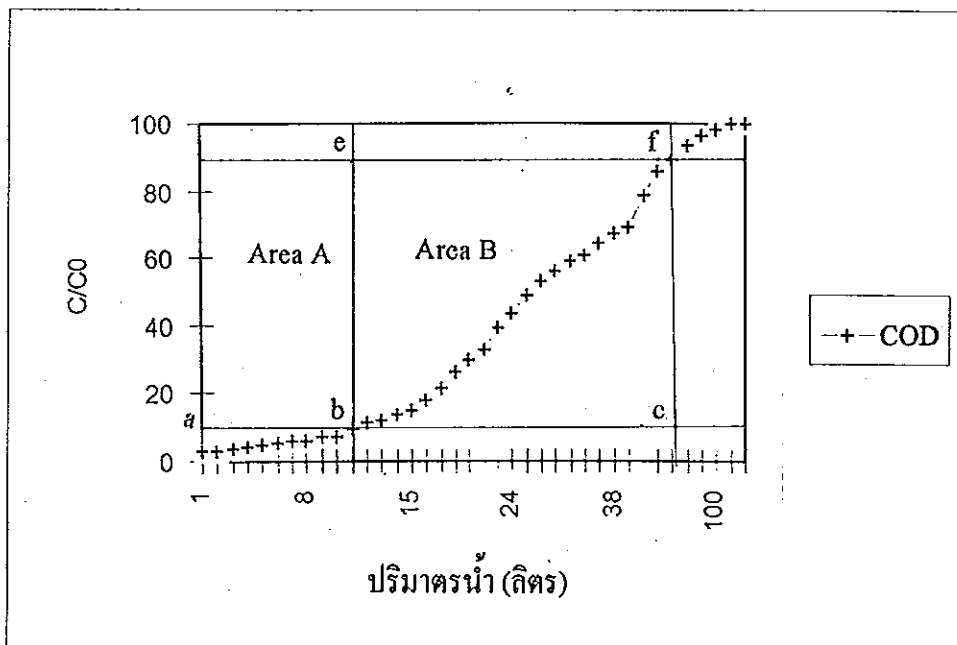
$$\begin{aligned}
 \text{อายุของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านค่ามาตรฐาน COD เท่ากับ การกรองน้ำ 4738 ลิตร} & \\
 \text{มูลค่าถ่านเท่ากับ 418 บาทต่อลูกบาศก์เมตร} & \\
 \text{อายุของถ่านกัมมันต์ที่ใช้งานถ่านหมดประสิทธิภาพเท่ากับ การกรองน้ำ 35,690 ลิตร} & \\
 \text{มูลค่าถ่านเท่ากับ 55 บาทต่อลูกบาศก์เมตร} &
 \end{aligned}$$

### ตัวอย่างการคำนวณความสามารถในการดูดซับ แบบต่อเนื่อง

ความสามารถในการดูดซับ COD ของถ่าน ที่บรรจุในคอลัมน์ถ่านกัมมันต์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ภายในคอลัมน์เท่ากับ 4.3 เซนติเมตร และความสูงของชั้นถ่านในคอลัมน์เท่ากับ 30 เซนติเมตร โดย COD เริ่มต้น เท่ากับ 850 มก./ลิตร และอัตราการไหล 2 ลิตร ต่อ ชั่วโมง

$$\text{ปริมาตรของถ่านในคอลัมน์} = \pi \times 4.3^2 \times 30 = 0.436 \text{ ลิตร}$$

4



ภาพประกอบผนวก 2 แสดงตัวอย่างการคำนวณความสามารถในการดูดซับแบบต่อเนื่อง การคำนวณ (Vermeulen *et al.*, 1973)

$$\text{Adsorption capacity} = \text{Area (A+B)}$$

$$\text{Area A} = ab \times be = 11.9 \text{ ลิตร} \times (80/100) = 9.52$$

$$= 9.52 \text{ ลิตร} \times 850 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} = 8092 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$\text{Area B} = (bc \times cf) / 2 = \{ (75 - 11.9) \text{ ลิตร} \times (80/100) \} / 2 = 25.24 \text{ ลิตร}$$

$$= 25.24 \text{ ลิตร} \times 850 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} = 21454 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น Adsorption Capacity} = 8092 \text{ มิลลิกรัม} + 21454 \text{ มิลลิกรัม} = 29546 \text{ มิลลิกรัม}$$

ถ่านกัมมันต์ปริมาตร 436 ซม<sup>3</sup> มีความสามารถในการดูดซับ COD เท่ากับ 29546 มิลลิกรัม

ดังนั้น ถ่านกัมมันต์ปริมาตร 1 ซม<sup>3</sup> จึงมีความสามารถในการดูดซับ COD เท่ากับ 67.8 มิลลิกรัม

### การคำนวณปริมาตรถังตกตะกอน

เนื่องจากโรงงาน มีน้ำเสียต่อวันในปริมาณไม่มาก ความต้องการพื้นที่ของถังตกตะกอนจึงน้อย แต่จะถูกบังคับด้วยค่าของช่วงเวลาต่ำสุด ที่ต้องการให้น้ำเสียอยู่ในถังตกตะกอน (Retention time , Tm) ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$V = Q \times T_m$$

เมื่อ  $V$  = ปริมาตรถังตกตะกอน (ลบ.ม.)

$Q$  = อัตราการไหลของน้ำเสีย (ลบ.ม./ชม.)

#### การคำนวณ

จากปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นสูงสุด ตลอดช่วงเวลาทำงานในแต่ละวัน หรือ 8 ชั่วโมง เท่ากับ 6 ลบ.ม. หรือคิดเป็น 0.75 ลบ.ม./ชั่วโมง

กรณีที่ 1 ต้องการให้ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในถังตกตะกอนสั้น

จากการทดลองที่ 3.2 พบว่า เมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 8 จะได้  $T_m$  เท่ากับ 3 ชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้น } V &= 0.625 \times 3 \\ &= 2.25 \text{ ลบ.ม.} \end{aligned}$$

กรณีที่ 2 การปล่อยทิ้งให้ตกตะกอน โดยไม่ใช้สารสร้างตะกอน

จากการทดลองที่ 3.2 พบว่า เมื่อปล่อยทิ้งให้ตกตะกอน โดยไม่ใช้สารสร้างตะกอน จะได้  $T_m$  เท่ากับ 10 ชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้น } V &= 0.625 \times 10 \\ &= 7.5 \text{ ลบ.ม.} \end{aligned}$$

## การคำนวณบ่อบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผสมและบ่อปรับสภาพ

การคำนวณขนาดบ่อบำบัดน้ำเสียสามารถคำนวณได้โดยอาศัยข้อมูลการออกแบบ ดังนี้

ตารางผนวก 51 ตัวแปรออกแบบระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย

ระบบบ่อ	ความลึก (เมตร)	ระยะเวลาพัก (วัน)	BOD <sub>5</sub> Loading (kg.BOD <sub>5</sub> /ha.d)	ประสิทธิภาพ การลดBOD <sub>5</sub> (%)
บ่อฝั่ง	1.0-1.2	10-40	70-130	80-95
บ่อปรับสภาพ	1.0-1.5	5-20	≤ 20	60-80
บ่อแบบผสม	1.2-2.0	5-30	50-200	80-95
บ่อแอนแอโรบิก	2.5-5.0	20-50	220-560	50-85

ที่มา : Metcalf and Eddy, 1991

เมื่อลักษณะน้ำเสียจากน้ำล้างเครื่องผลิตกระดาษถูกฟูก ที่ผ่านกระบวนการตกตะกอน

$$\text{มีค่า BOD}_5 = 200 \text{ มก./ลิตร}$$

$$\text{ปริมาตรน้ำเสียสูงสุด (V)} = 6 \text{ ลบ.ม/วัน}$$

ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผสม โดยกำหนด

$$\text{ระยะเวลาพักของน้ำ (t)} = 20 \text{ วัน}$$

$$\text{ความลึกของบ่อ (D)} = 2.00 \text{ เมตร}$$

### 1. คำนวณปริมาตรของบ่อบำบัด (V)

$$\begin{aligned} V &= Qt \\ &= 6 \times 20 = 120 \text{ ลบ.ม} \end{aligned}$$

### 2. คำนวณขนาดพื้นที่ผิวของบ่อบำบัด (A)

$$\begin{aligned} A &= V/D \\ &= 120/2 = 60 \text{ ตรม.} \\ &= 60 \times 10^{-4} \text{ ha.} = 15 \text{ ไร่.} \end{aligned}$$

3. ตรวจสอบค่า BOD<sub>5</sub> loading

$$\begin{aligned}
 \text{BOD}_5 \text{ loading} &= (\text{BOD}_5)(Q)/1000 A \\
 &= \frac{200 \times 6}{1000 \times 60 \times 10^{-4}} \\
 &= 200 \text{ กก.}(\text{BOD}_5)/(\text{ha.วัน}) \text{ ถือว่าใช้ได้}
 \end{aligned}$$

4. คำนวณค่า BOD<sub>5</sub> ที่ออกจากระบบ

เมื่อประสิทธิภาพการลด BOD<sub>5</sub> ของบ่อแบบผสม อย่างน้อย 80%

$$\begin{aligned}
 \text{BOD}_{5 \text{ out}} &= 200 \times 0.2 \\
 &= 40 \text{ มก./ลิตร} \text{ ซึ่งยังเกินมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม}
 \end{aligned}$$

ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับสภาพ เมื่อลักษณะน้ำเสียที่ผ่านบ่อผสม

$$\begin{aligned}
 \text{มีค่า } \text{BOD}_5 &= 40 \text{ มก./ลิตร.} \\
 \text{ปริมาณน้ำเสียสูงสุด (V)} &= 6 \text{ ลบ.ม/วัน}
 \end{aligned}$$

โดยกำหนด

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลาพักของน้ำ (t)} &= 20 \text{ วัน} \\
 \text{ความลึกของบ่อ (D)} &= 1.0 \text{ เมตร}
 \end{aligned}$$

## 1. คำนวณปริมาตรของบ่อบำบัด (V)

$$\begin{aligned}
 V &= Qt \\
 &= 6 \times 20 = 120 \text{ ลบ.ม}
 \end{aligned}$$

## 2. คำนวณขนาดพื้นที่ผิวของบ่อบำบัด (A)

$$\begin{aligned}
 A &= V/D \\
 &= 120/1 = 120 \text{ ตรม.} = 120 \times 10^{-4} \text{ ha.}
 \end{aligned}$$

3. ตรวจสอบค่า BOD<sub>5</sub> loading

$$\begin{aligned}
 \text{BOD}_5 \text{ loading} &= (\text{BOD}_5)(Q)/1000 A \\
 &= \frac{40 \times 6}{1000 \times 120 \times 10^{-4}} \\
 &= 20 \text{ กก.}(\text{BOD}_5)/(\text{ha.วัน}) \quad \text{ถือว่าใช้ได้}
 \end{aligned}$$

4. ประสิทธิภาพการลด BOD<sub>5</sub> (%)

เมื่อประสิทธิภาพการลด BOD<sub>5</sub> ของบ่อแบบผสม อย่างน้อย 60%

$$\begin{aligned}
 \text{BOD}_{5 \text{ out}} &= 40 \times 0.4 \\
 &= 16 \text{ มก./ลิตร} \quad \text{ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงาน} \\
 &\quad \text{อุตสาหกรรม}
 \end{aligned}$$

ตารางผนวก 52 สรุปขนาดพื้นที่บ่อบำบัดน้ำเสียที่คำนวณได้

ระบบบ่อ	ความลึกของบ่อ (เมตร)	พื้นที่ (ตารางวา)
บ่อผสม	2	15
บ่อปรับสภาพ	1	30



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวสินีนานู ทิพย์คนตรี

วัน เดือน ปี เกิด 13 มิถุนายน 2512

วุฒิการศึกษา

วุฒิ

วิทยาศาสตรบัณฑิต

(กายภาพบำบัด)

ชื่อสถาบัน

มหาวิทยาลัยมหิดล

ปีที่สำเร็จการศึกษา

พ.ศ. 2534

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

นักกายภาพบำบัด 5

หัวหน้างานกายภาพบำบัด

โรงพยาบาลหาดใหญ่