

ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากซีเมนต์ของโรงงานน้ำยางชั้น
ในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์



นางสาว เพ็ญลักษณ์ เทศสุวรรณ

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6519-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFICIENCY OF ACTIVATED CARBON PREPARED FROM LUTOID OF RUBBER LATEX
INDUSTRY FOR THE REMOVAL OF DYES
IN SYNTHETIC WASTEWATER



Miss Penlak Tessuwan

สถาบันวิทยบริการ
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science (Inter-department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6519-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากซีเมนต์ของโรงงาน น้ำยางข้นในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์
โดย	นางสาวเพ็ญลักษณ์ เทศสุวรรณ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ม.ร.ว. กัลยา ติงศภัทย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพ็ชรสม)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เฟื่องปรีชา)

เพ็ญลักษณ์ เทศสุวรรณ : ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากขี้แ่งของโรงงานน้ำ
 ยางชั้นในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ (EFFICIENCY OF ACTIVATED CARBON
 PREPARED FROM LUTOID OF RUBBER LATEX INDUSTRY FOR THE REMOVAL OF
 DYES IN SYNTHETIC WASTEWATER). อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.รเชศ ศรีสถิตย์ : 111 หน้า.
 ISBN 974-17-6519-3

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสีย
 โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากขี้แ่งซึ่งเป็นของเสียจากโรงงานน้ำยางชั้นและใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสาร
 กระตุ้น เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด โดยทำการทดสอบค่าไอโอดีนนมเบอร์ ศึกษา
 ลักษณะทางกายภาพ การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช และทดสอบประสิทธิภาพการดูดติด
 ผิวแบบต่อเนื่องโดยใช้คอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ทำการป้อนน้ำเสียแบบไหลลงด้วย
 อัตราการไหล 3 ลิตรต่อชั่วโมง และเก็บตัวอย่างที่ระดับความสูง 30, 60 และ 90 เซนติเมตร ผลการทดลอง
 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากขี้แ่งซึ่งใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้น พบว่า การเตรียมที่อัตราส่วนวัตถุดิบ
 ต่อสารกระตุ้น 1:1 และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ให้ค่าไอโอดีนนมเบอร์สูงสุด คือ $547.31 \pm$
 3.18 มิลลิกรัมต่อกรัม มีพื้นที่ผิว 583.54 ตารางเมตรต่อกรัม การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุน
 ดลิชโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า ถ่านขี้แ่งสามารถดูดติดผิวสีไดเร็กซ์ สีร์แอกทีฟ สีดิสเพิร์ส และสีเอสดี
 ได้ 14.40, 13.31, 2.42 และ 48.02 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีขายตาม
 ท้องตลาดพบว่าถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดมีประสิทธิภาพมากกว่าถ่านกัมมันต์ซึ่งผลิตจากกากขี้แ่ง
 โดยผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด พบว่า
 สามารถดูดติดผิวสีไดเร็กซ์ สีร์แอกทีฟ สีดิสเพิร์ส และสีเอสดี ได้ 73.03, 16.19, 18.62 และ 2,171.89
 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ การทดสอบการดูดติดผิวแบบต่อเนื่องโดยใช้คอลัมน์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้น
 พบว่า ที่ระดับความสูง 30, 60 และ 90 เซนติเมตร สามารถดูดติดผิวสีไดเร็กซ์ได้ 125.85, 111.86 และ
 92.76 BV ตามลำดับ สามารถดูดติดผิวสีร์แอกทีฟได้ 323.13, 196.61 และ 131.22 BV ตามลำดับ สามารถ
 ดูดติดผิวสีดิสเพิร์สได้ 61.22, 30.51 และ 61.09 BV ตามลำดับ สามารถดูดติดผิวสีเอสดีได้ 605.44, 301.69
 และ 201.36 BV ตามลำดับ และสามารถดูดติดผิวน้ำเสียจริงจากโรงงานได้ 527.21, 262.71 และ 175.34
 BV ตามลำดับ อย่างไรก็ตามถ่านขี้แ่งยังมีปัญหาในการนำมาใช้งานในคอลัมน์ เนื่องจากมีลักษณะเป็นผง
 ละเอียด ดังนั้นจึงควรพัฒนาให้สามารถนำมาใช้งานได้ง่ายขึ้น

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 ปีการศึกษา.....2547.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

##4589121620 :MAJOR INTER-DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORD : ACTIVATED CARBON / LUTOID / TEXTILE WASTEWATER / DYES /
RUBBER LATEX

PENLAK TESSUWAN : EFFICIENCY OF ACTIVATED CARBON PREPARED FROM
LUTOID OF RUBBER LATEX INDUSTRY FOR THE REMOVAL OF DYES IN
SYNTHETIC WASTEWATER. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. THARES
SRISATIT, Ph.D. 111 pp. ISBN 974-17-6519-3

The objective of this research compared the dyes removal efficiency from synthetic wastewater by activated carbon prepared from lutoid of rubber latex industry with the commercial activated carbon. Lutoid activated carbon was activated by zinc chloride. In this research, iodine number, physical characteristic, Freundlich adsorption isotherm and column adsorption test were studied. The column adsorption test used a down-flow column with 2.5 cm.diameter and 3 l/h flow rate and sampling at 30, 60 and 90 cm.depth. The result of this research revealed that preparation of lutoid activated carbon by a ratio of 1:1 of raw material to zinc chloride and activated 500 °c was the highest iodine number and surface area ,547.31 ± 3.18 mg/g and 583.54 m²/g respectively. Freundlich adsorption isotherm test with synthetic wastewater showed that lutoid activated carbon can adsorbed direct dye, reactive dye, disperse dye and acid dye at 14.40, 13.31, 2.42 and 48.02 mg/g respectively. The commercial activated carbon adsorbed dye better than lutoid activated carbon. It can adsorbed direct dye, reactive dye, disperse dye and acid dye at 73.03, 16.19, 18.62 and 2,171.89 mg/g respectively. The column test with synthetic and textile wastewater at 30, 60 and 90 cm.depth found that lutoid activated carbon adsorbed direct dye at 125.85, 111.86 and 92.76 BV, reactive dye at 323.13, 196.61 and 131.22 BV, disperse dye at 61.22, 30.51 and 61.09 BV , acid dye at 605.44, 301.69 and 201.36 BV and textile wastewater at 527.21, 262.71 and 175.34 BV. respectively. However, the lutoid activated carbon had a problem when it was used because it was very fine so it should be developed for using easier.

Field of study.....Environmental Science.....Student's signature.....

Academic year.....2004.....Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลาย ๆ ฝ่าย จึงขอแสดงความขอบคุณทุก ๆ ท่านไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนความช่วยเหลือต่างๆ รวมทั้งยังได้สละเวลาอันมีค่ายิ่งในการให้คำปรึกษาและตรวจแก้ไขข้อผิดพลาดตลอดมา ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ผู้อำนวยการหลักสูตร สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา ที่ได้สละเวลาอันมีค่ายิ่ง เพื่อเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท อินเทอร์เน็ตเบอร์ลาเทคซ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่ช่วยอำนวยความสะดวก และให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างกากซีเมนต์เพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท ไทยโทเรเท็กซ์ไทมิลลิส จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างสีย้อม และน้ำเสีย ที่นำมาใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ หน่วยวิจัยของเสียอุตสาหกรรม ห้องปฏิบัติการมูลฝอย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือของห้องปฏิบัติการในการทำวิจัย ตลอดจนการทำงานวิจัย

ขอบคุณ ศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการของเสียและอันตราย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ห้องปฏิบัติการของเสียอันตรายและเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

ขอบคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ คุณเสรี ดอนเหนือ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องอัดเม็ดตัวอย่างและช่วยเหลือในการอัดเม็ดตัวอย่าง ถ่าน

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

นอกจากนี้ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการ เพื่อนๆ ทุกคนและญาติที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำและให้กำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ครูอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ให้การสนับสนุนและคอยช่วยเหลือรวมทั้งเป็นกำลังใจในการศึกษามาโดยตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การดูแลติดตาม.....	4
2.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูแลติดตาม.....	6
2.2 การดูแลติดตามด้วยถ่าน.....	6
2.3 สารดูแลติดตาม.....	7
2.4 ถ่านกัมมันต์.....	7
2.4.1 ชนิดของถ่านกัมมันต์.....	9
2.4.2 การผลิตถ่านกัมมันต์.....	10
2.4.3 โครงสร้างและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์.....	16
2.4.4 การประเมินและการเลือกใช้ถ่าน.....	17
2.4.5 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์.....	19
2.4.6 การปรับคืนสภาพของถ่านกัมมันต์.....	20
2.5 ซิงค์คลอไรด์.....	20
2.6 การศึกษาและทดลองวิเคราะห์ระบบการดูแลติดตาม.....	21
2.7 ไอโซเทอมการดูแลติดตาม.....	22

2.7.1	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์.....	22
2.7.2	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบเบท.....	23
2.7.3	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช.....	25
2.8	การผลิตน้ำยางข้น.....	26
2.8.1	น้ำยาง.....	26
2.8.2	กระบวนการผลิตน้ำยางข้น.....	28
2.8.3	กากชีแป้ง.....	29
2.8.4	อัตราการเกิดกากชีแป้ง.....	31
2.9	สีข้อมและการจำแนกสีข้อม.....	32
2.9.1	การผลิตสีข้อม.....	32
2.9.2	การเกิดสีข้อม.....	32
2.9.3	การจำแนกสีข้อม.....	33
2.10	กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอ.....	36
2.10.1	การเตรียมวัสดุสิ่งทอ.....	36
2.10.2	การลอกแป้ง.....	37
2.10.3	การขจัดสิ่งสกปรก.....	37
2.10.4	การฟอกขาว.....	37
2.10.5	การชุบมัน.....	38
2.11	แหล่งที่มาของน้ำทิ้งและสิ่งสกปรกจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ.....	38
2.11.1	แหล่งที่มาของน้ำทิ้ง.....	38
2.11.2	ประเภทและสิ่งสกปรกในน้ำเสีย.....	39
2.11.3	ลักษณะน้ำทิ้งของโรงงานฟอกข้อม.....	39
2.11.4	ผลกระทบของน้ำเสียโรงงานฟอกข้อมต่อสิ่งแวดล้อม.....	40
2.12	การวัดค่าสี.....	41
2.13	เอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	42

บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย.....	46
3.1 แผนการทดลอง.....	46
3.1.1 สีย้อมตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง.....	46
3.1.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	47
3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	47
3.2.1 การเตรียม.....	47
3.2.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดติดผิว.....	49
3.2.3 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดติดผิวในคอลัมน์.....	51
3.2.4 การวัดความเข้มข้นของสีย้อม.....	55
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	56
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	58
4.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากขี้เป้งของโรงงานน้ำตาลขี้เป้งและ	
การหาค่าไอโอดีนนมเบอร์.....	58
4.1.1 ผลของอัตราส่วนสารกระตุ้นต่อวัตถุดิบและอุณหภูมิในการกระตุ้น.....	58
4.1.2 ร้อยละของผลิตภัณฑ์ถ่านขี้เป้ง.....	61
4.1.3 ลักษณะทางกายภาพของถ่านขี้เป้ง.....	61
4.2 การศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านขี้เป้งในการกำจัดสีย้อม.....	64
4.2.1 การศึกษาปัจจัยพีเอช.....	64
4.2.2 การศึกษาปัจจัยความเข้มข้นของสีย้อม.....	67
4.2.3 การศึกษาไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านขี้เป้ง.....	71
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้งานถ่านกัมมันต์จากกากขี้เป้งโดย	
การทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์.....	82
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	91
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	91
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	94

รายการอ้างอิง.....	95
ภาคผนวก.....	100
ภาคผนวก ก.....	101
ภาคผนวก ข.....	103
ภาคผนวก ค.....	108
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	111



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยผู้วิจัยต่างๆ.....	8
ตารางที่ 2.2 สารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้นในการกระตุ้นด้วยวิธีการเคมี.....	14
ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของน้ำยางสด.....	28
ตารางที่ 2.4 คุณลักษณะของกากซีเมนต์ตัวอย่าง.....	31
ตารางที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของสีกับความยาวคลื่นของแสงที่ตามองเห็น.....	42
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนมเบอร์.....	59
ตารางที่ 4.2 ร้อยละผลิตภัณฑ์ของถ่านซีเมนต์.....	61
ตารางที่ 4.3 ผลวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของถ่านซีเมนต์เปรียบเทียบกับถ่านF300.....	62
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมไคเร็กซ์ที่พีเอชต่างๆ.....	65
ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟที่พีเอชต่างๆ.....	65
ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมดิสเพิร์สที่พีเอชต่างๆ.....	66
ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเอซิดที่พีเอชต่างๆ.....	66
ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมไคเร็กซ์ โดยศึกษาปัจจัยความเข้มข้นของสีย้อม.....	68
ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟ โดยศึกษาปัจจัยความเข้มข้นของสีย้อม.....	68
ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมดิสเพิร์ส โดยศึกษาปัจจัยความเข้มข้นของสีย้อม.....	69
ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเอซิด โดยศึกษาปัจจัยความเข้มข้นของสีย้อม.....	69
ตารางที่ 4.12 การทดสอบไอโซเทอมแบบพุนดลิตซ์ของถ่านซีเมนต์ ในการดูดติดผิวสีย้อมไคเร็กซ์.....	71
ตารางที่ 4.13 การทดสอบไอโซเทอมแบบพุนดลิตซ์ของถ่านซีเมนต์ ในการดูดติดผิวสีย้อมรีแอกทีฟ.....	72
ตารางที่ 4.14 การทดสอบไอโซเทอมแบบพุนดลิตซ์ของถ่านซีเมนต์ ในการดูดติดผิวสีย้อมดิสเพิร์ส.....	73

ตารางที่ 4.15	การทดสอบไอโซเทอมแบบพหุนดลิตซ์ของถ่านซีแป้ง ในการดูดติดผิวสีย้อมดิสเอไซด์.....	74
ตารางที่ 4.16	สรุปสมการความสัมพันธ์และค่าคงที่ไอโซเทอมแบบพหุนดลิตซ์ของถ่านซีแป้ง.....	75
ตารางที่ 4.17	การทดสอบไอโซเทอมแบบพหุนดลิตซ์ของถ่าน F300 ในการดูดติดผิวสีย้อมไดเร็กซ์.....	76
ตารางที่ 4.18	การทดสอบไอโซเทอมแบบพหุนดลิตซ์ของถ่าน F300 ในการดูดติดผิวสีย้อมรีแอกทีฟ.....	77
ตารางที่ 4.19	การทดสอบไอโซเทอมแบบพหุนดลิตซ์ของถ่าน F300 ในการดูดติดผิวสีย้อมดิสเพิร์ส.....	78
ตารางที่ 4.20	การทดสอบไอโซเทอมแบบพหุนดลิตซ์ของถ่าน F300 ในการดูดติดผิวสีย้อมเอไซด์.....	79
ตารางที่ 4.21	สรุปสมการความสัมพันธ์และค่าคงที่ไอโซเทอมแบบพหุนดลิตซ์ของถ่าน F300.....	80
ตารางที่ 4.22	ค่าความจุของการดูดติดผิวสูงสุด (X/M) ของถ่านซีแป้งและถ่าน F 300.....	80
ตารางที่ 4.23	การทดสอบการละลายของถ่านแบบเม็ด.....	82
ตารางที่ 4.24	ลักษณะทางกายภาพและค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านซีแป้งชนิดเม็ด.....	83
ตารางที่ 4.25	ผลการทดลองการกำจัดสีย้อมประเภทต่างๆในคอลัมน์.....	85
ตารางที่ ข-1	ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่แต่ละพีเอช คำนัยสำคัญทางสถิติ และค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสม.....	107

ตารางที่ ค-1	การดูดติดผิวสีไคเร็กซ์โดยถ่านซีแบ่งในคอลัมน์.....	108
ตารางที่ ค-2	การดูดติดผิวสีรีแอกทีฟโดยถ่านซีแบ่งในคอลัมน์.....	108
ตารางที่ ค-3	การดูดติดผิวสีดีสเพิร์สโดยถ่านซีแบ่งในคอลัมน์.....	109
ตารางที่ ค-4	การดูดติดผิวสีเฮลิดโดยถ่านซีแบ่งในคอลัมน์.....	109
ตารางที่ ค-5	การดูดติดผิวน้ำเสียจริงจากโรงงานโดยถ่านซีแบ่งในคอลัมน์.....	110



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของตัวถูกละลาย ตัวทำละลาย และสารดูดติดผิว.....	5
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี.....	13
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยก๊าซออกซิไดซ์.....	15
รูปที่ 2.4 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์.....	23
รูปที่ 2.5 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบเบท.....	24
รูปที่ 2.6 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช.....	25
รูปที่ 2.7 ชั้นของน้ำยางเมื่อถูกหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องอัลตราเซนตริฟิวจ์.....	27
รูปที่ 2.8 การผลิตน้ำยางชั้นและจุดกำเนิดของเสียจากการผลิตน้ำยางชั้นและยางสกิม.....	30
รูปที่ 2.9 แผนผังการผลิตสีย้อม.....	32
รูปที่ 3.1 โครงสร้างโมเลกุลสีย้อมของสีไดเร็กต์ (C.I. Direct Red 243).....	46
รูปที่ 3.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากซีไบ่.....	48
รูปที่ 3.3 การหำร้อยละของผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้.....	49
รูปที่ 3.4 การเตรียมถ่านกัมมันต์แบบเม็ด.....	53
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพถ่านโดยใช้การทดลองแบบต่อเนื่อง.....	54
รูปที่ 3.6 คอลัมน์สำหรับการทดลองแบบต่อเนื่อง.....	55
รูปที่ 4.1 ค่าไอโอดีน นัมเบอร์โดยนำหน้าวัตถุติดต่อซิงค์คลอไรด์ที่อัตราส่วนต่างๆ และอุณหภูมิต่างๆ	60
รูปที่ 4.2 ภาพขยาย 3000 เท่าส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope : SEM) ของถ่านซีไบ่ที่ขั้นตอนต่างๆ.....	63
รูปที่ 4.3 ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านซีไบ่ในการดูดติดผิวสีย้อมไดเร็กต์.....	71

รูปที่ 4.4	ไอโซเทอมแบบพหุนดลิตของถ่านซีแบ่งในการดูดติดผิวสีย้อมรีแอกทีฟ.....	72
รูปที่ 4.5	ไอโซเทอมแบบพหุนดลิตของถ่านซีแบ่งในการดูดติดผิวสีย้อมดิสเพิร์ส.....	73
รูปที่ 4.6	ไอโซเทอมแบบพหุนดลิตของถ่านซีแบ่งในการดูดติดผิวสีย้อมเฮลิด.....	74
รูปที่ 4.7	ไอโซเทอมแบบพหุนดลิตของถ่าน F 300 ในการดูดติดผิวสีย้อมไคเร็กท์.....	76
รูปที่ 4.8	ไอโซเทอมแบบพหุนดลิตของถ่าน F 300 ในการดูดติดผิวสีย้อมรีแอกทีฟ.....	77
รูปที่ 4.9	ไอโซเทอมแบบพหุนดลิตของถ่าน F 300 ในการดูดติดผิวสีย้อมดิสเพิร์ส.....	78
รูปที่ 4.10	ไอโซเทอมแบบพหุนดลิตของถ่าน F 300 ในการดูดติดผิวสีย้อมเฮลิด.....	79
รูปที่ 4.11	ภาพขยาย 3000 เท่าส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope : SEM) ของถ่านซีแบ่ง ที่ผ่านการดูดติดผิวสีย้อมประเภทต่างๆแล้ว.....	81
รูปที่ 4.12	ถ่านซีแบ่งชนิดเม็ดในการทดลองแบบต่อเนื่อง.....	83
รูปที่ 4.13	แสดงเส้น Breakthrough ระหว่างความเข้มข้นของสีไคเร็กท์ ที่เหลืออยู่กับปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์ที่ระดับความสูงต่างๆของชั้นถ่าน.....	86
รูปที่ 4.14	แสดงเส้น Breakthrough ระหว่างความเข้มข้นของสีรีแอกทีฟ ที่เหลืออยู่กับปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์ที่ระดับความสูงต่างๆของชั้นถ่าน.....	86
รูปที่ 4.15	แสดงเส้น Breakthrough ระหว่างความเข้มข้นของสีดิสเพิร์ส ที่เหลืออยู่กับปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์ที่ระดับความสูงต่างๆของชั้นถ่าน.....	87
รูปที่ 4.16	แสดงเส้น Breakthrough ระหว่างความเข้มข้นของสีเฮลิด ที่เหลืออยู่กับปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์ที่ระดับความสูงต่างๆของชั้นถ่าน.....	87
รูปที่ 4.17	แสดงเส้น Breakthrough ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียโรงงาน กับปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์ที่ระดับความสูงต่างๆของชั้นถ่าน.....	88
รูปที่ 4.18	ประสิทธิภาพในการบำบัด (%) ของน้ำเสียโรงงานกับปริมาตรน้ำที่ ผ่านคอลัมน์ที่ระดับความสูงต่างๆของชั้นถ่าน.....	88

รูปที่ ก-1	เตาเผา : Valcan box furnace รุ่น 3-1750. USA.....	101
รูปที่ ก-2	สเปคโตรโฟมิเตอร์ รุ่น Helios Alpha ควบคุมการทำงานด้วย คอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Vision 32.....	101
รูปที่ ก-3	เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง : Desktop pH meter PHL-20, DKK Corporation. Japan.....	102
รูปที่ ก-4	เครื่องเขย่า (Shaker) ยี่ห้อ K รุ่น VRN-360.....	102
รูปที่ ข-1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่นและค่าการดูดกลืนแสงของ สารละลายสีย้อมชนิดไคเร็กซ์ (ever direct supra red BWS).....	104
รูปที่ ข-2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่นและค่าการดูดกลืนแสงของ สารละลายสีย้อมชนิดรีเอกทีฟ (procion Brill Red H-EGXL).....	104
รูปที่ ข-3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่นและค่าการดูดกลืนแสงของ สารละลายสีย้อมชนิดดีสเพิร์ส (sumikaron Brilliant Bright Red S-BF).....	105
รูปที่ ข-4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่นและค่าการดูดกลืนแสงของ สารละลายสีย้อมชนิดเอลิต (telon Red AFG).....	105
รูปที่ ข-5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่นและค่าการดูดกลืนแสงของ น้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ ที่พีเอสต่างๆ.....	106

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้จากการส่งออกให้กับประเทศไทยเป็นปริมาณมากในแต่ละปี แต่ในขณะเดียวกันก็ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำอันเกิดจากการปนเปื้อนของสีย้อมในแหล่งน้ำก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอยู่ไม่น้อยด้วยเช่นกัน ปัญหาที่เกิดขึ้นคือการปล่อยน้ำทิ้งจากโรงงานเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ น้ำทิ้งที่ปล่อยออกมาจะมีลักษณะเป็นสีซึ่งกำจัดได้ยาก (นันทยา ยานุมาศ, 2534) ผลเสียที่เกิดขึ้นจะทำให้แหล่งน้ำตามธรรมชาติขาดความสวยงามและบดบังแสงที่จะลงสู่ผิวน้ำทำให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงและทำให้สัตว์น้ำตายได้ หรืออาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ที่ใช้แหล่งน้ำตามธรรมชาติในการอุปโภคบริโภค เนื่องจากสีย้อมหลายๆชนิดประกอบไปด้วยสารพิษและโลหะหนัก (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527) ซึ่งในการกำจัดสีมีอยู่หลายวิธี เช่น การแลกเปลี่ยนประจุ การตกตะกอน ทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการกำจัดสีได้แก่ การดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ (Activated Carbon) ซึ่งเป็นกระบวนการบำบัดทางกายภาพเคมีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในกระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สาม (Eckenfelder, 1989)

คาร์บอนกัมมันต์เป็นผลิตภัณฑ์ของคาร์บอนที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีคุณสมบัติสามารถใช้เป็นสารดูดซับหรือสารดูดซับ (adsorbent) ได้ และจากการที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารตัวดูดซับได้นั้นจึงทำให้มีการนำคาร์บอนกัมมันต์มาประยุกต์ใช้งานต่างๆ กันอย่างกว้างขวาง และหลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง งานทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้คาร์บอนกัมมันต์บำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม สารหนู เป็นต้น หรือการใช้คาร์บอนกัมมันต์ในการกำจัดสีและกลิ่น ตลอดจนสารมลพิษอากาศอื่นๆ ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ จากคุณสมบัติและประโยชน์การใช้งานในหลายๆ ด้านของคาร์บอนกัมมันต์ จึงส่งผลให้ปริมาณการใช้คาร์บอนกัมมันต์ภายในประเทศจึงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

จึงได้มีการศึกษาเพื่อหาวิธีผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากวัตถุดิบที่หาได้ง่าย ราคาถูกหรือเป็นวัสดุเหลือใช้ และเนื่องจากประเทศไทยมีการปลูกยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจ ส่งออกยางพาราแผ่นและน้ำยางข้นขายต่างประเทศสร้างรายได้ให้กับประเทศมีมูลค่าสูง ในกระบวนการผลิตน้ำยางพาราขึ้นจะเกิดกากของเสียซึ่งเรียกว่า “กากขี้แป้ง” ขึ้นเป็นจำนวนมาก จึงได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อนำกากขี้แป้งมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ โดยจะทำการศึกษาประสิทธิภาพของ

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีขายทั่วไป เพื่อที่จะพัฒนาไปใช้ทั้งในระดับครัวเรือนและอุตสาหกรรม ซึ่งนอกจากจะลดการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศแล้วยังเป็นการนำกากของเสียจากอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ซึ่งใช้กากซีเมนต์ของโรงงานน้ำยางข้นมาใช้เป็นวัตถุดิบและใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นในการผลิต
2. ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดติดผิวสีย้อม ในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกากซีเมนต์ของโรงงานน้ำยางข้น
3. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดติดผิวสีย้อมระหว่างถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกากซีเมนต์ของโรงงานน้ำยางข้นและถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายในตลาด

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. เตรียมถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกากซีเมนต์ของโรงงานน้ำยางข้นโดยใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้น
2. ศึกษาลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ ซึ่งได้แก่ พื้นที่ผิว ปริมาตรโพรง และขนาดโพรงของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้
3. เปรียบเทียบความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ โดยศึกษาจากค่าไอโอดีน นัมเบอร์ เพื่อเลือกคุณสมบัติที่เหมาะสมในการกระตุ้นและอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่เหมาะสมระหว่างวัตถุดิบต่อสารกระตุ้น เพื่อทำการศึกษาดูดติดผิวในขั้นต่อไป
4. ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ พีเอช ปริมาณถ่านกัมมันต์ และความเข้มข้นของสีย้อมที่มีผลต่อการดูดติดผิวสีย้อม ไตรเรทท์ สิริเอกทีฟ สีดิสเพิร์ส และ เอลิต โดยทำการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch Test)
5. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดติดผิวสีย้อมออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ระหว่างถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้กับถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด
6. ศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านโดยให้น้ำเสียผ่านคอลัมน์และทำการทดลองโดยป้อนน้ำเสียเข้าสู่คอลัมน์อย่างต่อเนื่อง (Column Test)
7. น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษามีทั้งน้ำเสียจริงและน้ำเสียสังเคราะห์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำเอาวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียได้
2. สามารถทราบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากชีปะ่งของโรงงานน้ำยาง
ชั้นในการบำบัดสีย้อมในน้ำเสีย
3. สามารถนำไปใช้ในการกำจัดสีของอุตสาหกรรมครีวเรือนหรืออุตสาหกรรมขนาดย่อม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

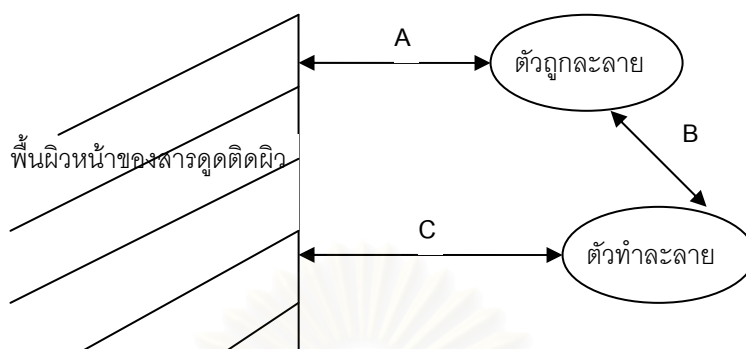
2.1 การดูดติดผิว

การดูดติดผิว (Adsorption) เป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซ ให้เกาะจับและติดอยู่บนผิวของมัน ปรัชญาการนี้จัดว่าเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (Mass Transfer) จากของเหลวหรือก๊าซมายังผิวของของแข็ง โมเลกุลหรือคอลลอยด์จะเรียกว่าเป็น "Adsorbate" ส่วนของแข็งที่ผิวเป็นที่เกาะจับของ Adsorbate เรียกว่า "Adsorbent" พื้นที่ผิวที่กล่าวไปนั้นไม่ได้หมายความว่าเฉพาะแค่พื้นที่ผิวรอบๆ รูปทรงของสารดูดติดผิวเท่านั้น แต่ยังหมายรวมถึงพื้นที่ภายในโพรงหรือรูที่อยู่ภายในโพรงหรือรูที่อยู่ภายในสารดูดติดผิวทั้งหมดที่มีความสามารถในการเป็นที่ยึดเกาะของสารดูดติดผิว (มันสิน ตัณฑุลเวศม์ ,2539)

การดูดติดผิวโดยทั่วไปเกิดขึ้นระหว่าง ของแข็ง-ของแข็ง ของเหลว-ของเหลว ของเหลว-ของแข็ง หรือของเหลว-ก๊าซ สำหรับการใช้ถ่านเป็นตัวดูดติดสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ในน้ำเสีย นั้น เป็นปรากฏการณ์ระหว่างของแข็ง-ของเหลวซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นสองขั้นตอนด้วยกัน คือ การดูดติดผิวทางฟิสิกส์ (Physisorption) และการดูดติดผิวทางเคมี (Chemisorption) ซึ่งอธิบายได้คร่าวๆ ดังนี้

เมื่อโมเลกุลของสารใดๆ ในของเหลวเคลื่อนตัวมาสัมผัสบริเวณผิวของแข็งซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดของสารดูดติด (Adsorption) ซึ่งมีมากกว่าพลังงานจลน์ของสารถูกดูดติด (Adsorbate) ซึ่งอยู่ในของเหลว โมเลกุลของสารในของเหลวจะเกาะติดกับโมเลกุลของของแข็งด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waal's Force) ขั้นตอนนี้เป็นการดูดติดทางฟิสิกส์ การเกาะตัวของโมเลกุลของของเหลวจะเพิ่มขึ้นเป็นขั้นๆ ตามความเข้มข้นของสารละลาย จากนั้นจะเกิดการดูดติดทางเคมีขึ้นโดยมีพลังงานที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารดูดติดผิวและสารถูกดูดติดถูกทำให้กลายเป็นสารประกอบชนิดใหม่ขึ้นมา ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปได้ (Irreversible) แต่สำหรับการดูดติดทางฟิสิกส์สามารถเปลี่ยนกลับไปได้ (Reversible) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527)

ตัวถูกละลายและตัวทำละลายมีอิทธิพลต่อการดูดติดผิวตัวถูกละลายจากสารละลายกำหนดโดยความแตกต่างของศักย์ภาพของการดูดติดผิวระหว่างตัวถูกละลายและตัวทำละลาย แสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของตัวถูกละลาย ตัวทำละลาย และสารดูดซับ

จากรูป A หมายถึง ศักยภาพการดูดซับของตัวถูกละลาย

B หมายถึง ศักยภาพของปฏิกิริยาระหว่างตัวถูกละลายและตัวทำละลายหรือ
ความสามารถในการละลาย (Solubility)

C หมายถึง ศักยภาพการดูดซับของตัวทำละลาย

ความสามารถของสารดูดซับที่จะดูดซับตัวถูกละลายจะถูกจำกัดโดยศักยภาพการดูดซับของตัวถูกละลาย แต่โดยทั่วไปแล้วความสามารถในการดูดซับระหว่างตัวทำละลายกับสารดูดซับจะมีค่าน้อยกว่าความสามารถในการดูดซับระหว่างตัวถูกละลายกับสารดูดซับ ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับในน้ำสูง เนื่องจากพลังงานศักยภาพการดูดซับที่ต้องการในการแยกตัวถูกละลายออกจากน้ำมีค่าต่ำ

การที่ศักยภาพการดูดซับระหว่างตัวทำละลายกับสารดูดซับมีค่าต่ำกว่าศักยภาพการดูดซับระหว่างตัวถูกละลายกับสารดูดซับนั้น ไม่รับรองว่าจะมีความสามารถในการดูดซับสูง ศักยภาพการดูดซับระหว่างตัวทำละลายและสารดูดซับจะต้องสูงกว่าศักยภาพการดูดซับระหว่างตัวถูกละลายกับตัวทำละลายด้วย จึงจะเกิดการดูดซับที่ดี นอกจากนี้ความสามารถในการละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลายมีอิทธิพลต่อความสามารถในการดูดซับ โดยที่ตัวถูกละลายที่ละลายน้อยกว่ามีแนวโน้มว่าถูกดูดซับได้เร็วกว่าตัวถูกละลายที่ละลายได้มากกว่า เนื่องจากศักยภาพการดูดซับที่สูงขึ้นระหว่างตัวถูกละลายและตัวทำละลาย ดังนั้นธรรมชาติของการดูดซับ คือสารดูดซับที่มีขั้วจะถูกดูดซับตัวถูกละลายที่มีขั้วในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ในทางตรงกันข้าม สารดูดซับที่ไม่มีขั้วจะดูดซับตัวถูกละลายที่ไม่มีขั้วได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว (สัจจวัต อิงคภาคย์, 2539)

2.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิว

- 1) สมบัติของสารดูดติดผิว ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และองค์ประกอบทางเคมี เป็นต้น
- 2) สมบัติสารถูกดูดติดผิว ได้แก่ ขนาดของโมเลกุล ประจุไฟฟ้าของอะตอมหรือโมเลกุล และองค์ประกอบทางเคมี เป็นต้น
- 3) ความเข้มข้นของสารถูกดูดติดในสารละลาย
- 4) ลักษณะของสารละลาย เช่น พีเอช อุณหภูมิ เป็นต้น
- 5) เวลาที่ใช้ในการดูดติดผิวของระบบ

2.2 การดูดติดผิวด้วยถ่าน (Carbon Adsorption)

การใช้สารดูดติด (Adsorbent) เป็นวิธีทางฟิสิกส์-เคมี เพื่อใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรกบางชนิดในน้ำเสียซึ่งไม่สามารถกำจัดได้ด้วยวิธีอื่น วิธีนี้สามารถกำจัดได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ออกจากน้ำเสีย เช่น บีโอดี ซีโอดี สี กลิ่น รส เป็นต้น

ถ่านดูดติดเป็นถ่านที่ผลิตขึ้นด้วยกระบวนการพิเศษที่ทำให้เกิดรูพรุนจำนวนมากภายในพื้นที่ผิวของถ่าน อาจทำได้จากวัสดุดิบหลายชนิด เช่น ไม้ ชี้อ้อย ถ่านหิน ลิกไนท์ กะลามะพร้าว ฯลฯ ซึ่งวัสดุดิบที่แตกต่างกันเหล่านี้จะให้ถ่านดูดติดที่มีคุณภาพแตกต่างกันไป

สารประกอบอินทรีย์ในน้ำเสียบางส่วนไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีววิทยา นอกจากนี้สารบางชนิดก็เป็นพิษหรืออาจก่อให้เกิดสี กลิ่น หรือ รส ซึ่งไม่สามารถกำจัดด้วยวิธีธรรมดา ดังนั้นจึงได้มีการเอาถ่านกัมมันต์หรือแอคติเวตคาร์บอน (Activated Carbon) มาใช้ในการกำจัดสารเหล่านั้นซึ่งประสิทธิภาพของแอคติเวตคาร์บอนในการดูดติดผิวขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของแอคติเวตคาร์บอนและลักษณะทางเคมีเป็นสำคัญ แอคติเวตคาร์บอนที่ผลิตจากพืชจะมีพื้นที่ผิวเป็นต่าง มีผลต่อการดูดติดสีและสารประกอบที่ไม่อิมตัว พื้นที่ผิวของแอคติเวตคาร์บอนที่ไม่มีประจุจะดูดติดสารอินทรีย์ได้ง่าย แต่ดูดสารอินทรีย์ที่ไม่มีประจุได้ยาก

แอคติเวตคาร์บอนจะมีลักษณะเป็นรูพรุน โดยมีรูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) และรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) รูพรุนขนาดใหญ่มักจะอยู่บริเวณด้านนอกของพื้นที่ผิวแอคติเวตคาร์บอน ซึ่งจะเป็นทางให้โมเลกุลของสารดูดติดผิวผ่าน โดยในระยะแรกจะเกาะติดอยู่ที่ผิวของถ่าน ต่อจากนั้นก็จะมีฟุ้งกระจายเข้าไปตามรูพรุนของถ่าน อัตราการดูดติดนี้จะแปรผันกลับกับกำลังสองของเส้นผ่านศูนย์กลางของโมเลกุลสารและจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสิ่งสกปรกใน

น้ำเสีย และจะลดลงตามการเพิ่มของน้ำหนักโมเลกุล นอกจากนี้ยังแปรผันตามกำลังสองของเวลาสัมผัสระหว่างโมเลกุลของสิ่งสกปรกกับถ่าน และจะเพิ่มขึ้นถ้าค่าพีเอชลดลง (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527)

2.3 สารดูดติดผิว (Absorbent)

สารดูดติดผิว (Absorbent) มีอำนาจในการดูดติดโมเลกุลต่างๆ มาติดผิวได้มีหลายชนิด ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ถ่านกระดูก (Bone Char) แอกติเวทเต็ดซิลิกา (Activated Silica) ฯลฯ สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตาม มีข้อเสีย คือ สามารถจับโมเลกุลได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดติดผิวมีข้อจำกัดมาก

2. แอกติเวทเต็ดคาร์บอน (Activated Carbon) สารดูดติดผิวชนิดนี้อาจจัดว่าเป็นสารอนินทรีย์สังเคราะห์ก็ได้ แต่เป็นสารดูดติดผิวที่ดีกว่าสารอนินทรีย์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1,000 ตารางเมตรต่อกรัม

3. ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม (ซึ่งถือว่าต่ำเมื่อเทียบกับแอกติเวทเต็ดคาร์บอน) แต่อย่างไรก็ตาม เรซินมีข้อได้เปรียบกว่า คือ สามารถรีเจนเนอเรตได้ง่ายกว่ามาก และรีเจนเนอเรชั่นมักเป็นสารที่มีราคาถูก เช่น เกลือแกง

2.4 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

ถ่านกัมมันต์ เป็นถ่านชนิดพิเศษชนิดหนึ่งที่ได้รับการเพิ่มคุณภาพหรือประสิทธิภาพการดูดติดผิวให้มากขึ้น โดยการใช้เทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ มีโครงสร้างที่มีลักษณะพรุน มีพื้นที่ผิวสูง และมีอิเล็กตรอนอิสระอยู่บนผิวและรูพรุนเหล่านั้นทำให้มีคุณสมบัติหรืออำนาจในการดูดซับสูง จึงนิยมในการใช้งานหลายๆประเภท

วัตถุดิบในการผลิตอาจเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรง หรือจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ผลิตมีอยู่หลายชนิด แต่มักจะพิจารณาจากอินทรีย์วัตถุ ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่จะเป็นพวกเซลลูโลส จากพืชหรือต้นไม้โดยตรง เช่น ไม้ชนิด

ต่างๆหรือในรูปของเศษวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรหรืออุตสาหกรรม เช่น ชานอ้อย แกลบ กะลามะพร้าว ขี้เถ้า ชังข้าวโพด เปลือกถั่วลิสง ฯลฯ

โดยทั่วไปแล้วผิวหน้าของถ่านกัมมันต์นั้นไม่มีขี้ แต่เนื่องจากมีสารประกอบออกไซด์ เกิดขึ้นเสมอที่ผิวหน้า และการจัดเรียงของอะตอมอยู่ในลักษณะหกเหลี่ยม (Hexagonal) ทำให้ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงกว่าสารดูดติดผิวอื่นๆ เช่น ซิลิกาเจล (Silica Gel) จึงทำให้ดูดติดผิวสารได้มากกว่า (เพียรพรรค ทศคร, 2535)

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่เตรียมขึ้นเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยการทำให้มีรูพรุน หรือโพรงภายในเนื้อคาร์บอนมากเท่าที่จะมากได้ การที่คาร์บอนต้องมีพื้นที่ผิวสูงก็เพื่อให้สามารถดูดโมเลกุลจำนวนมากๆ มาเกาะติดที่ผิวได้ ดังนั้นพื้นที่ผิวสูงจึงมีความสามารถในการดูดติดผิว (Adsorptive Capacity) สูงตามไปด้วยการวัดพื้นที่ผิวของคาร์บอนกระทำได้โดยการหาปริมาณไนโตรเจนที่ถูกคาร์บอนดูดเก็บไว้ วิธีวัดสมรรถนะของคาร์บอนอาจกระทำได้โดยการวัด ไอโอดีน นัมเบอร์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวของคาร์บอนและในงานวิจัยเกี่ยวกับถ่านกัมมันต์ผู้วิจัยมักวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนัมเบอร์เพื่อหาความสามารถในการดูดติดโมเลกุล ดังเช่นในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยผู้วิจัยต่างๆ

ปี	ผู้วิจัย	วัตถุดิบ	การกระตุ้น			คุณสมบัติ	
			สารกระตุ้น	อุณหภูมิ	เวลา (ชม.)	ไอโอดีนนัมเบอร์ (มก./ก.)	พื้นที่ผิว (ตร.ม./ก.)
2532	มอก.900-2532	ถ่านกัมมันต์	-	-	-	600	-
2537	บุญชัย ตระกูลมหชัย	กะลาตาล	60%ZnCl ₂ (3:2)	500	1	1100-1200	1600-1700
2538	พงศธร โค้วชาภรณ์	ชังข้าวโพด	ZnCl ₂ (1:4)	600	3	960-1075	1140-1300
2543	ชนิตา เสริมรัตน์	กะลามะพร้าว	NaCl	550	0.5	-	228.74
		ชานอ้อย	NaCl	550	0.5	-	3.51
2544	สุจินีย์ คู่แสงเยี่ยม	กะลามะพร้าว	NaCl (1:3)	800	1	532.29	492.42
		กะลาปาล์ม	NaCl (1:3)	800	1	486.45	385.91
2544	ลลิตา นิตศนจากรกุล	เปลือกทุเรียน	NaCl (sat.sol_n.)	800	1	567	387
		เปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์	NaCl (sat.sol_n.)	800	1	532	489
2545	มานพ ตีระรัตนสมโภช	ขี้เถ้า	NaCl (1:1)	800	1	519.4	593.79
			ZnCl ₂ (1:2)	700	1	1021.3	1572.51
2545	ปนัดดา คำรัตน์	กากขี้แป้ง	NaCl (sat.sol_n.)	500	2	510.24	566.39

2.4.1 ชนิดของถ่านกัมมันต์

ชนิดของถ่านกัมมันต์ซึ่งแบ่งตามเกณฑ์ต่างๆ คือ (เกศรา นุतालย์ และคณะ, 2531)

1) แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

- เคมี (Chemical Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดใหญ่
- ฟิสิกส์ (Physical Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซออกซิไดซ์ มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดเล็ก

2) แบ่งตามขนาดรูพรุนบนผิวคาร์บอน

- ขนาดเล็ก (Micropores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนไม่เกิน 15 นาโนเมตร มักใช้ในการดูดก๊าซหรือไอระเหย
- ขนาดกลาง (Transitional pores or Mesopores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 15 – 100 นาโนเมตร มักใช้ในปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Reaction)
- ขนาดใหญ่ (Macropores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนใหญ่กว่า 100 นาโนเมตร มักใช้ในการฟอกสีและการผลิตยา

3) แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ที่ได้

- ความหนาแน่นต่ำถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ในสภาวะที่เป็นสารละลาย เช่น การฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือการทำให้น้ำบริสุทธิ์ ฯลฯ
- ความหนาแน่นสูงถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ดูดก๊าซพิษหรือไอระเหย

4) แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดติดผิว

- ก๊าซ (Gas Adsorbents) คือ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดก๊าซพิษและไฮดรอกซิดอินทรีย์ มักใช้ถ่านจากการคาร์บอนไนซ์และมีความแข็ง (Hard artificial char) เป็นวัตถุดิบในการผลิต
- สี (Colour Adsorbents) คือ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการฟอกสี มักใช้ถ่านจากการคาร์บอนไนซ์และไม่แข็ง (Soft Artificial Char)
- โลหะ (Metal Adsorbent) คือ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการแยกโลหะต่างๆ เช่น แยกทอง เงิน ออกจากแร่ที่ขุดได้

5) แบ่งตามรูปร่างลักษณะ

- ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon) ทำได้โดยการเอาถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มาบด รูปร่างจะแตกต่างกันไปขึ้นกับวิธีการบด ซึ่งจะมีผลทำให้คุณสมบัติ

การดูดซับที่แตกต่างกันไป ถ่านกัมมันต์ชนิดผงนี้นิยมใช้สำหรับการดูดสีในสภาวะที่เป็นของเหลว โดยทั่วไปมีขนาด 5 – 100 ไมโครเมตร

- ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon) ทำจากวัตถุดิบที่เป็นเม็ด หรือแบบผงทำให้เป็นเม็ดโดยการเติมตัวประสาน (Binding Agent) วัตถุดิบที่นิยมทำถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ได้แก่ วัตถุดิบที่ค่อนข้างแข็งและมีความหนาแน่นสูง เช่น กะลามะพร้าว ถ่านหิน ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักใช้ในการดูดกลิ่น ก๊าซพิษ และไอของสารละลายอินทรีย์

2.4.2 การผลิตถ่านกัมมันต์ (Producing of Activated Carbon)

ในปัจจุบันกรรมวิธีผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ ลักษณะและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ แต่โดยทั่วไปกระบวนการดังกล่าวประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ๆ 3 ขั้นตอน ดังนี้ คือ ขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบ คาร์บอนไนซ์เซชัน และแอคติเวชัน

2.4.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ถ่านกัมมันต์ สามารถผลิตจากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ชี้อ้อย กะลามะพร้าว แกลบ เปลือกถั่ว เมล็ดผลไม้ ยาง พลาสติก ถ่านหิน และพีท ซึ่งการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรงหรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ขึ้นอยู่กับการผลิต แต่โดยทั่วไปมักนำวัตถุดิบมาบดและคัดขนาดก่อนที่จะนำไปคาร์บอนไนซ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคาร์บอนไนซ์ แต่บางครั้งวัตถุดิบอาจมีความแข็งและเหนียว ทำให้การบดวัตถุดิบโดยตรงทำได้ยากก็อาจนำวัตถุดิบนั้นไปคาร์บอนไนซ์ก่อน แล้วจึงนำมาบดคัดขนาดก็ได้ (บุญชัย ตระกูลมหัย, 2536)

สำหรับวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผง อาจนำมาทำให้เป็นเม็ดโดยใช้ตัวประสานซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชันแล้วนำไปอัดเป็นเม็ดก่อนที่คาร์บอนไนซ์เป็นขั้นตอนต่อไป

2.4.2.2 การคาร์บอนไนซ์เซชัน (Carbonization)

การคาร์บอนไนซ์เซชัน (Carbonization) เป็นกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) รูปแบบหนึ่งที่จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ในรูปของชาร์ (Char) ที่เป็นของแข็งมากกว่าน้ำมันทาร์ (Tar) และก๊าซ อาจกล่าวได้ว่าการคาร์บอนไนซ์เป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนให้สูงขึ้น ทำได้ง่ายๆ โดยการเผาในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 200 – 500 องศาเซลเซียส คาร์บอนไนซ์เซชันเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ เพราะเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของโครงสร้างที่เป็นรูพรุน โดยทำให้เกิดการแตกตัวของเคมีของสารที่ไม่ใช่คาร์บอน (เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน) ออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนอิสระที่มีอยู่จะรวมตัวกันอยู่ในรูปของถ่านชาร์ ซึ่งถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์เซชัน ควรจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

- มีสีดำตลอด (Uniformly Black)
- เมื่อหักดูส่วนที่หักจะมีผิวที่เป็นมันเงา (Shiny Surface)
- ปลายที่หักจะแหลมคม (Sharp)
- ปราศจากผงฝุ่นและขี้เถ้า

การทำคาร์บอนไนซ์เซชันอินทรีย์วัตถุกับเกลือโลหะคลอไรด์ คาร์บอนไนซ์เซชันเป็นกระบวนการแรกในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นถ่าน เมื่อนำไปกระตุ้นจะให้ถ่านกัมมันต์ การทำคาร์บอนไนซ์เซชันในบางสภาวะอาจจะให้ถ่านที่มีคุณสมบัติการดูดกลืนและดูดสีได้ดีโดยไม่ต้องมีการกระตุ้น ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้ ทำได้จากการทำคาร์บอนไนซ์เซชันของอินทรีย์วัตถุที่ผสมกับอนินทรีย์สารในอัตราส่วนที่แตกต่างกันไป หลักการสำคัญของการทำถ่านกัมมันต์ประเภทนี้ เมื่อนำอินทรีย์วัตถุมาผสมกับเกลืออนินทรีย์ให้ทั่ว แล้วนำไปเผาในที่อับอากาศ ณ อุณหภูมิที่จะทำให้อินทรีย์วัตถุสลายตัว เกลืออนินทรีย์ซึ่งมีความคงทนสูงกว่าจะยังคงหุ้มอยู่รอบๆ ด้านและแทรกอยู่ภายใน ทำให้การหดตัวของถ่านเกิดได้จำกัด เมื่อนำมาสกัดโดยเอาอนินทรีย์สารออกจะเกิดช่องว่าง (ซึ่งเป็นพื้นที่อนินทรีย์สารเคยอยู่) หรือความพรุนในถ่านขึ้น อนินทรีย์สารที่เคยใช้กันก็มีแคลเซียมคลอไรด์ และแมกนีเซียมคลอไรด์ โดยหลักการแล้วเกลืออนินทรีย์ทุกชนิดที่ทนต่อการเผาไหม้หน้าจะใช้ได้ แต่คุณสมบัติการดูดกลืนและดูดสีของถ่านที่ได้จากซิงค์คลอไรด์นั้น จะสูงกว่าเกลืออนินทรีย์อื่นๆ เมื่อโยงความสัมพันธ์ของเกลือต่างๆ ต่อการพองตัวของเกลือเซลลูโลสแล้วจะพบว่า ซิงค์คลอไรด์นั้น มีอำนาจเหนือกว่าเกลืออนินทรีย์อื่นๆ ดังนั้นซิงค์คลอไรด์จึงสามารถแทรกตัวเข้าไปในเซลลูโลสของไม้หรือวัสดุอื่นที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบได้ดีกว่าเกลืออื่นๆ เมื่อไม่ถูกเผาไหม้เป็นถ่าน ซิงค์คลอไรด์ยังคงกระจายอยู่ทั่วๆ ไปในถ่านได้มากและค่อนข้างสม่ำเสมอกว่าเกลืออื่นๆ เมื่อสกัดเอาซิงค์คลอไรด์ออก จะเกิดรูพรุนขึ้นในถ่านสูงและขนาดของรูพรุนค่อนข้างจะสม่ำเสมอกว่า ถ่านที่ได้จำเป็นต้องนำไปล้างด้วยน้ำและกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง เพื่อเอาซิงค์คลอไรด์ที่เหลือและสารเบสิกซิงค์คลอไรด์ ที่เกิดในปฏิกิริยาออกไป ซิงค์คลอไรด์ที่แล้วสามารถนำมาใหม่ได้อีก จากการศึกษาพบว่าการใช้ปริมาณซิงค์คลอไรด์เพิ่มขึ้น จะช่วยเพิ่มคุณภาพของถ่านกัมมันต์ให้ดีขึ้น (พงศธร ใควคชาภรณ์ ,2538)

2.4.2.3 การกระตุ้น (Activation)

การกระตุ้น (Activation) คือ การทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดติดผิวสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและการทำให้ผิวมีความว่องไวมากขึ้น

Mukherjee และคณะ (1947) ได้พิจารณาความหมายของการกระตุ้นไว้เป็น

3 ความหมาย คือ

- เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (Active Surface Area) โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไป และเกิดส่วนที่มีอำนาจดูดติดผิวขึ้นมาแทน

- เป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดติดผิวให้พื้นผิวที่มีอยู่แล้ว ซึ่งหมายถึงทำให้อะตอมของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้นโดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ ให้มีความว่องไวในการดูดติดผิวสูงขึ้น

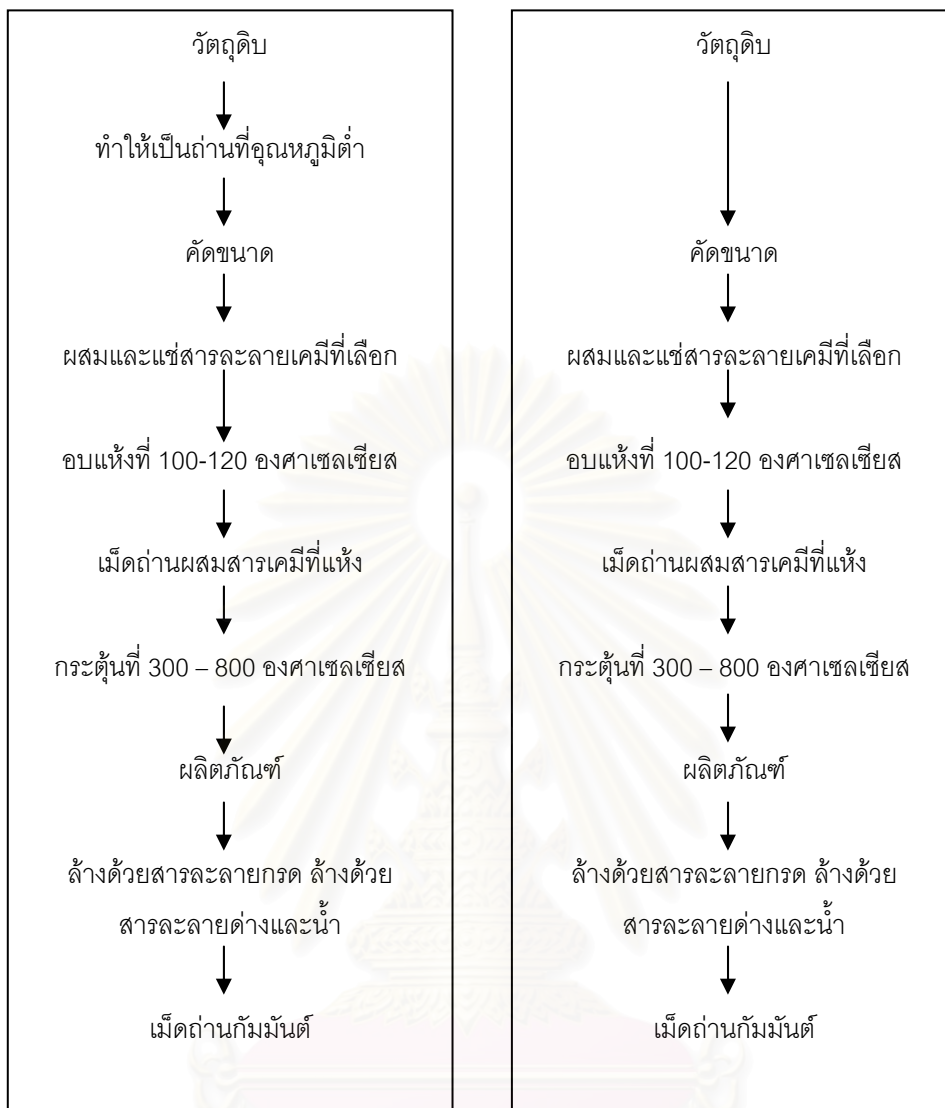
- เป็นการกำจัดอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุต่างๆ ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดติดผิว (Active Centers)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการกระตุ้นไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด สาเหตุหนึ่งเนื่องมาจากว่าวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากมายหลายวิธี และประสิทธิภาพในการกระตุ้นยังขึ้นกับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบ รวมถึงวิธีการอื่นๆ ก่อนการกระตุ้นด้วย

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งตามกลไกที่เกิดขึ้นได้ 2 ประเภท คือ

1) วิธีกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอนโดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารเคมีที่นิยมใช้ ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) นอกจากนี้ยังมีแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น ส่วนขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมี แสดงดังรูปที่ 2.2 ข้อดีของวิธีนี้คือใช้อุณหภูมิไม่สูงมาก (400 – 600 องศาเซลเซียส) แต่มีข้อเสียคือ มีสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีดังกล่าวออกเพิ่มขึ้น รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ก็ต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ เพราะสารเคมีเหล่านี้เป็นสารกัดกร่อน ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นแสดงในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี

ตารางที่ 2.2 สารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้นในการกระตุ้นด้วยวิธีการเคมี

สารเคมี	สูตรเคมี
กรดบอริก	H_3BO_3
แคลเซียมคลอไรด์	$CaCl_2$
แคลเซียมไฮดรอกไซด์	$CaOH$
แคลเซียมฟอสเฟต	$(Ca(PO_3)_2)$
ไซยาไนด์	CN^-
ปูนโดโลไมต์	$(CaMg(CO_3)_2)$
เฟอร์ริกคลอไรด์	$FeCl_2$
กรดฟอสฟอริก	H_3PO_4
โปตัสเซียมซัลไฟด์	K_2S
โปตัสเซียมไฮโอไซยาเนต	$K_2S_2O_3$
แมงกานีสคลอไรด์	$MnCl_2$
แมงกานีสซัลเฟต	$MnSO_3$
กรดไนตริก	HNO_3
โซเดียมไฮดรอกไซด์	$NaOH$
โซเดียมซัลเฟต	$NaSO_4$
กรดซัลฟูริก	H_2SO_4
ซิงค์คลอไรด์	$ZnCl_2$

ที่มา : Yehaskel (1978)

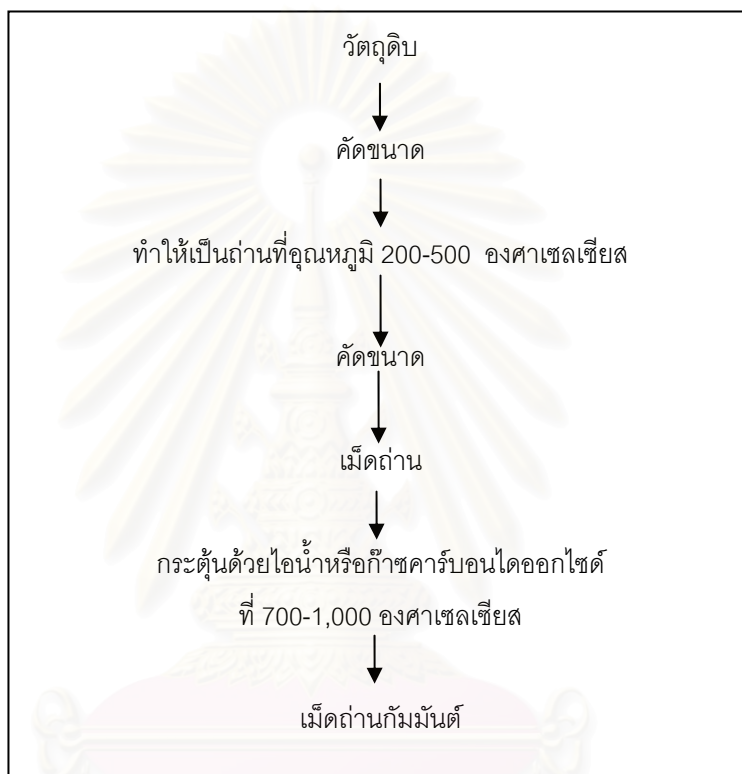
2) วิธีกระตุ้นทางฟิสิกส์ (Physical Activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยที่ผิวคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ เช่น การจัดเรียงตัวใหม่ ฯลฯ ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านให้สูงขึ้น นิยมใช้ก๊าซออกซิไดซ์ต่างๆ เช่น ไอน้ำอิ่มตัวย่างยวด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซออกซิเจน เป็นต้น ร่วมกับการใช้ความร้อน ปฏิกริยาการกระตุ้นอาจเกิดจากความร้อนเพียงอย่างเดียว แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงมากถึง 1,200 องศาเซลเซียส แต่พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยการกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดซ์ ปัจจุบันที่มีผลต่อการกระตุ้นด้วยวิธีนี้ คือ (Hassler, 1967)

- ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบ
- คุณสมบัติทางเคมีและอัตราส่วนของก๊าซที่ใช้

- อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา
- ระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา

ข้อดีของการกระตุ้นแบบนี้ คือ ไม่มีสารเคมีตกค้าง ข้อเสียคือ ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าแบบกระตุ้นด้วยสารเคมี (700 – 1,200 องศาเซลเซียส) ขั้นตอนการกระตุ้นด้วยไอน้ำอิมพัลส์ยิ่งยวด แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยก๊าซออกซิไดซ์

กระบวนการกระตุ้นคาร์บอนจะทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์แพร่ออกจากผิวของคาร์บอนเกิดก๊าซซิฟิเคชันบางส่วนของเม็ดถ่านเป็นรูพรุนขึ้นในโครงสร้างของถ่าน ถ่านจากการคาร์บอนไนซ์ประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก เกิดจากช่องว่างระหว่างผลึกในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอม รูพรุนนี้มักจะถูกบรรจุไว้ด้วยทาร์ที่เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนและถูกขวางด้วยอะมอฟัสคาร์บอน การกระตุ้นจึงเป็นการเปิดรูที่ถูกปิดและสร้างรูใหม่ขึ้นมาด้วย

2.4.3 โครงสร้างและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

2.4.3.1 ลักษณะและโครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์นั้นมีโครงสร้างเช่นเดียวกับแกรไฟต์ แต่มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่าผลึกแกรไฟต์ ประกอบไปด้วยชั้นคาร์บอนอะตอมในรูปของเบนซีนริง (Benzene Ring) หรือกลุ่มของอะตอมคาร์บอนที่มีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม นั่นคือแต่ละอะตอมจะเกิดพันธะเดียวกับอีก 3 อะตอม ในแผ่นระนาบ (Plane) ในลักษณะสมมาตรกัน อิเล็กตรอนที่ใช้ในการเกิดพันธะนี้เป็นซิกมาอิเล็กตรอน ความยาวระหว่างอะตอมภายในชั้นประมาณ 1.442 อังสตรอม อิเล็กตรอนที่เหลืออีกหนึ่งเป็นไพอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปทั่วโครงสร้างเกิดเป็นเรโซแนนซ์ (Resonance) เพื่อให้โครงสร้างเสถียรยิ่งขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นเป็นแรงแวนเดอร์วาล (Van der Waals) แต่ละแผ่นระนาบห่างกัน 3.354 อังสตรอม ดิสเพลสเมนต์ (Displacement) ในทิศทางขนานกับแผ่น (Layer) จะเกิดง่ายเพราะแรงยึดเหนี่ยวแวนเดอร์วาลอ่อน ดังนั้นจะเกิดข้อบกพร่อง (Defect) ในโครงสร้าง ณ จุดนี้ได้ง่าย

2.4.3.2 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ในการกระตุ้นจะทำให้ถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์มีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากการสูญเสียสารประกอบคาร์บอนระหว่างช่องว่างผลึกของคาร์บอน รูพรุนทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ การกระตุ้นที่เหมาะสมคือการทำให้มีความพรุนไม่ใช่ขนาดของรูใหญ่

เมื่อพิจารณาลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์ จะพบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน รูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบและความลึกไม่สม่ำเสมอ ลักษณะของรูปร่างของรูนั้นไม่สามารถบอกได้แน่นอน บางรูมีลักษณะเปิดข้างหนึ่งปิดข้างหนึ่ง บางครั้งเป็นรูปตัววี Dubinin (1966) ได้ทำการทดลองเตรียมถ่านกัมมันต์จากฟิท และซีล้อยด้วยซิงค์คลอไรด์ พบว่า ลักษณะของรูที่เกิดขึ้นเป็นรูคอแคบคล้ายคอขวด หรือที่เรียกว่า อิงค์บอทเทิล (Ink-Bottle)

โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจะมีรูพรุนขนาดกลางประมาณ 200 – 300 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีผลต่อความจุในการดูดซับ จะมีความจุร้อยละ 90 – 95 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่าความจุในการดูดซับยังขึ้นกับลักษณะและธรรมชาติของผิวด้วย กล่าวคือ ถ้าบริเวณผิวของถ่านเป็นเพียงระนาบพื้นฐาน (Basalplanes) ซึ่งไม่มีหมู่ฟังก์ชันอื่น ๆ การดูดซับจะเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ หรืออาจเกิดจากไพอิเล็กตรอนแรงยึดเหนี่ยวทั้งสองเป็นแรงที่ค่อนข้างอ่อน แม้ว่าจะดูดซับได้แต่ก็มีโอกาสที่จะหลุดออกได้ง่าย แต่ถ้าเป็นผิวบริเวณที่มีหมู่ฟังก์ชันอื่น ๆ การดูดซับจะเกิดจากแรงที่แข็งแรง โอกาสที่ไม่หลุดของ

เคมีของถ่าน ลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียหรือน้ำทิ้ง ตลอดจนความสะดวกในการควบคุมระบบบำบัด ฯลฯ

ลักษณะสมบัติของถ่านที่เป็นตัวกำหนดการใช้งาน ได้แก่

- 1) พื้นที่ผิว (Surface Area) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดซับผิว โดยถ่านที่มีพื้นที่ผิวมากจะมีความสามารถในการดูดซับผิวมาก
- 2) ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการปรับคืนสภาพของถ่าน
- 3) ความหนาแน่นก้อน (Bulk Density) เป็นตัวกำหนดปริมาณของถ่านในแต่ละการใช้งาน
- 4) ขนาดใช้งาน (Effective Size), เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (Mean Particle diameter) และสัมประสิทธิ์ของความเสมอกัน (Uniformity Coefficient) เป็นตัวกำหนดภาวะทางชลศาสตร์ (Hydraulic Conditions) ของถังดูดซับผิว (Adsorption Column)
- 5) ปริมาตรรูพรุน (Pore Column) เป็นตัวกำหนดการดูดซับผิวโมเลกุลของน้ำเสีย
- 6) การวิเคราะห์ขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) เป็นตัวตรวจสอบ Plant – Handling Effect ของถ่าน
- 7) แอบริชัน นัมเบอร์ (Abrasion Number) ใช้ในการประเมินความคงทนต่อการขัดสี
- 8) ปริมาณร้อยละของเถ้า (% Ash) แสดงถึงกากของถ่าน
- 9) ความชื้น (Moisture) แสดงปริมาณน้ำในถ่านจากการผลิต
- 10) ไอโอดีน นัมเบอร์ (Iodine Number) เป็นตัวกำหนดความสามารถของถ่านในการดูดซับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ
- 11) โมลาส นัมเบอร์ (Molass Number) เป็นตัวกำหนดความสามารถของถ่านในการดูดซับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง
- 12) ขนาดของรูพรุน (Pore Size) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดซับผิวโมเลกุลจำเพาะบางชนิด

2.4.5 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ในอุตสาหกรรมมีการใช้ถ่านกัมมันต์อย่างแพร่หลาย หน้าที่ของถ่านกัมมันต์ในแต่ละโรงงานอุตสาหกรรมจะแตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น

- 1) ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดก๊าซหรือไอ
 - ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ ทั้งที่ใช้ในการทหารและที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดก๊าซพิษและไอของสารอินทรีย์ได้
 - ใช้แยกไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้องและคายออกที่ความดันของไอต่ำๆ เช่น การสกัดด้วย ตัวทำละลาย การหมัก อุตสาหกรรมพลาสติก ผลิตภัณฑ์ยาง เป็นต้น
 - กำจัดสิ่งเจือปนออกจากก๊าซ เช่น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฮีเลียม อะเซทิลีน แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น
 - กำจัดสารประกอบออร์แกนิกซัลเฟอร์ (Organic Sulfur) เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสิ่งเจือปนอื่นๆ จากโรงงานอุตสาหกรรม
- 2) ประเภทที่ใช้กับของเหลว (ฟอกสีและทำให้ของเหลวบริสุทธิ์) ซึ่งใช้ในงานอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น
 - ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาล เพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น
 - ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค นอกจากใช้ในการฟอกสีแล้ว ยังใช้ในการแยกเอาสบู่และเปอรอกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมันด้วย
 - แยกสิ่งเจือปนจากผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เจลาติน น้ำส้ม เพ็คติน ซ็อคโกแลต น้ำผลไม้ เพราะไม่เป็นอันตรายและไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร
 - ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้ มักใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการ เช่น เอสเทอร์ ทำให้เครื่องดื่มที่ได้มีรสชาติดีขึ้น
 - ใช้ทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์ เป็นการกำจัดรส สี และกลิ่น นอกจากนี้ยังใช้ในการบำบัดน้ำเสียหรือกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียได้
 - ใช้ในทางการแพทย์ เช่น ให้ยาถูกดูดติดผิวบนถ่านกัมมันต์ ยาจะค่อยๆ ออกฤทธิ์โดยมีความเข้มข้นสม่ำเสมอ ตัวอย่างคือ ไฮดรอกซีลอะมิโนฟีนิลอะซิติก (Hydroxyl Aminophenylarsonic Acid) สำหรับรักษาโรคที่เกิดจากการติดเชื้ออะมีบา และพาราไซต์ และยังใช้ดูดสารพิษจากผู้ที่ได้รับยาเกินขนาด หรือกินยาพิษ นอกจากนี้ยังใช้รักษาอาการมีแก๊สมากในกระเพาะอีกด้วย

2.4.6 การปรับคืนสภาพของถ่านกัมมันต์ (Carbon regenerate)

เมื่อถ่านถูกใช้งานไปนานๆ ฐานของเม็ดถ่านจะถูกอุดตันด้วยโมเลกุลของสิ่งสกปรก ทำให้ถ่านหมดประสิทธิภาพในการดูดซับ ต้องนำถ่านกัมมันต์ที่หมดประสิทธิภาพ (Exhausted Carbon) มาฟื้นฟูคุณภาพเพื่อนำกลับไปใช้งานอีก การฟื้นฟูคุณภาพทำได้โดยการนำถ่านไปกำจัดโมเลกุลของสิ่งสกปรกที่อุดอยู่ในรูของถ่านกัมมันต์อาจทำได้หลายวิธี เช่น วิธีทางเคมี โดยใช้สารอนินทรีย์เคมี ทำการออกซิไดซ์สิ่งสกปรก แต่วิธีนี้มีประสิทธิภาพน้อยกว่า วิธีที่ดีที่สุดได้แก่การนำถ่านกัมมันต์ไปเผาในเตาแบบ Multiple Chambers โดยควบคุมภาวะการเผาไหม้โมเลกุลของสิ่งสกปรกให้ระเหยออกมาและถูกเผาไหม้ไป ระบบการฟื้นฟูคุณภาพของถ่านกัมมันต์ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) ถ่านกัมมันต์ที่หมดประสิทธิภาพแล้วจะรวมกับน้ำเป็นน้ำขุ่น (Slurry) ถูกสูบเข้ามาในระบบฟื้นฟูคุณภาพ
- 2) ถ่านกัมมันต์จะถูกแยกออกจากน้ำแล้วจึงส่งเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 870 - 980 องศาเซลเซียส ควบคุมการเผาไหม้ให้โมเลกุลของสิ่งสกปรกในรูของเม็ดถ่านระเหยเป็นไอและถูกเผาผลาญตัวไป
- 3) ถ่านกัมมันต์ที่ร้อนจัดจะถูกทำให้เย็นโดยจุ่มลงในน้ำ (Quenching)
- 4) ถ่านที่เย็นแล้วถูกนำไปล้างแยกเศษผงถ่านออกแล้วจึงนำไปเก็บไว้หรือนำกลับไปใช้งาน

การฟื้นฟูคุณภาพของถ่านกัมมันต์จะใช้เวลาประมาณ 30 นาที และสิ้นเปลืองพลังงานประมาณ 4,250 บีทียูต่อถ่านหนึ่งปอนด์ ในแต่ละขั้นตอนถ่านจะสูญหายไปประมาณ ร้อยละ 2 – 10 (เสริมพล รัตสุขและไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2514)

2.5 ซิงค์คลอไรด์ (Zinc Chloride : $ZnCl_2$)

ซิงค์คลอไรด์ เป็นสารเคมีประเภทสารดูดน้ำ (Dehydrating Agent) ชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยธาตุสังกะสี (Zn) ขนาดรัศมีอะตอมเท่ากับ 1.34 Å และ ธาตุคลอรีน (Cl) ในอัตราส่วนจำนวนโมลเท่ากับ คือ 1:2 ตามลำดับ มีน้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 136.28 กรัมต่อโมล มีความหนาแน่น 2.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีจุดหลอมเหลว เท่ากับ 275 °C และมีจุดเดือด เท่ากับ 756 °C มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ละลายน้ำได้ดี โดยมีความสามารถในการละลายที่ 25 °C เท่ากับ 432 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร และความสามารถในการละลายที่ 100 °C เท่ากับ 614 กรัม

ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร สารละลายเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ จะมีความเป็นกรดสูง สามารถละลาย แป้ง เซลลูโลส และสารอินทรีย์ต่างๆ ได้

ซิงค์คลอไรด์ เป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ในเชิงการค้า ระดับอุตสาหกรรม เพราะถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ จะมีค่าพื้นที่ผิวสูง ทำให้สมบัติในการดูดติดผิวสารดีด้วย ทั้งนี้เพราะสมบัติในการดูดติดผิวสารจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวนั่นเอง

2.6 การศึกษาและการทดลองวิเคราะห์ระบบการดูดติดผิว

ในการออกแบบระบบการดูดติดผิวด้วยถ่าน จำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาทดลองเพื่อให้ได้ ถ่านที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด และเพื่อหาค่ากำหนดในการออกแบบระบบที่เหมาะสมที่สุด การศึกษาทดลองนี้แบ่งออกเป็นสองขั้นตอน คือ ขั้นห้องปฏิบัติการ (Laboratory Test) และขั้น โรงงานทดลอง (Pilot Colum Test)

1) ขั้นห้องปฏิบัติการ (Laboratory Test) คือ การทดลองเพื่อหาความสามารถในการดูดติดผิวของถ่าน (Adsorptive Capacity) ซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น Adsorption Isotherm Test ,Iodine Number Test เป็นต้น แต่วิธีที่ใช้โดยทั่วไปคือ Adsorption Isotherm Test ซึ่งเป็น ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดติดผิวกับความเข้มข้นของสารนั้นที่ยังคงเหลืออยู่ เช่น การกำจัดสีออกจากน้ำทิ้งด้วยถ่าน เมื่อแสดงเป็น Adsorption Isotherm ได้แก่ เส้นโค้งซึ่ง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีในน้ำทิ้งพลอตค่าลงในแกนอน และปริมาณของสีที่ถูกดูดติดผิวไปต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านพลอตค่าลงในแกนตั้ง

2) ขั้นโรงงานทดลอง (Pilot Colum Test) การหา Adsorption Isotherm นั้นเป็นการ ทดลองแบบครั้งคราว ซึ่งบอกให้ทราบได้ว่าการดูดติดผิวด้วยถ่านนั้นจะใช้ได้ผลดีหรือไม่ ซึ่งข้อมูล ที่ได้นั้นยังไม่เพียงพอต่อการออกแบบการดูดติดผิวด้วยถ่าน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการทดลอง แบบต่อเนื่องโดยใช้ท่อขนาดเล็กแทนถังบรรจุถ่าน

เมื่อนำน้ำทิ้งมาผ่านชั้นถ่าน เม็ดถ่านชั้นบนสุดจะหมดประสิทธิภาพก่อน และชั้น ของเม็ดถ่านที่หมดประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามเวลา ดังนั้นความเข้มข้นของสีสกปรกในน้ำ ทิ้งที่ผ่านการดูดซึมแล้วจะเพิ่มขึ้นตามเวลาหรือปริมาณน้ำทิ้ง จนในที่สุดความเข้มข้นจะถึง ค่าสูงสุดที่ต้องการ จุดนี้เรียกว่า จุดสิ้นสภาพ (Breakpoint) และเส้นโค้งเรียกว่า Breakthrough Curve ระยะเวลา นับจากเริ่มต้นการดูดติดผิวจนถึง Breakpoint เรียก Breakthrough Time ซึ่ง จะมีค่าลดลงถ้า

- ความสูงของชั้นถ่านลดลง

- เม็ดถ่านมีขนาดใหญ่ขึ้น
- อัตราการไหลของน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น
- ความเข้มข้นของสารที่จะถูกดูดติดเพิ่มขึ้น

2.7 ไอโซเทอมของการดูดติดผิว

ไอโซเทอมการดูดติดผิวมีหลายรูปแบบ แต่โดยทั่วไปที่นิยมใช้กันมากในการอธิบายทางทฤษฎีของการดูดติดผิว มักจะกล่าวอ้างถึงไอโซเทอม 3 แบบ ดังต่อไปนี้

2.7.1 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ (Langmuir Adsorption Isotherm)

สมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลองไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ คือ

- การดูดติดผิวจะคิดเฉพาะพื้นผิวของสารดูดติดผิวเพียงชั้นเดียว (Monolayer)
- โมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวไม่มีการเคลื่อนที่อิสระบนพื้นผิวของสารดูดติดผิว
- พลังงานการดูดติดผิวมีค่าเท่ากันทุกบริเวณ

การดูดติดผิวจากสารละลายโดยสารดูดติดผิว แสดงดังสมการ 2.1

$$X = (X_m bC)/(1 + bC) \quad (2.1)$$

โดย X = ปริมาณสารถูกดูดติดผิวต่อปริมาณสารดูดติดผิว

มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)

X_m = ปริมาณสารถูกดูดติดผิวต่อปริมาณสารดูดติดผิว

ที่สภาวะสมดุลย์

มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)

C = ความเข้มข้นของสารถูกดูดติดผิวในสารละลาย

มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/ลิตร หรือ โมล/ลิตร)

b = ค่าคงที่ของการดูดติดผิว

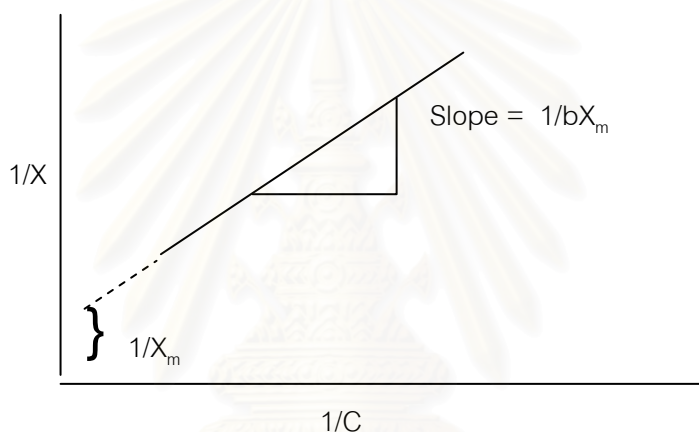
เมื่อ X เข้าสู่อันตรรกยะ X_m และ C เข้าใกล้ค่าอนันต์ (Infinity, ∞) จะเขียนสมการได้เป็น

$$C/X = (1/bX_m) + (C/X_m) \quad (2.2)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง C/X กับ C ซึ่งเป็นเส้นตรง จะมีความชัน $1/X_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/bX_m$ และเมื่อหารด้วย C จะได้สมการเส้นตรง คือ

$$1/X = (1/X_m) + (1/C)(1/bX_m) \quad (2.3)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/X$ กับ $1/C$ จะได้กราฟซึ่งเป็นเส้นตรง มีค่าความชัน (Slope) เท่ากับ $1/bX_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/X_m$ จากสมการ 2.3 แสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์

2.7.2 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบเบท (BET : Brunauer – Emmett – Teller adsorption isotherm)

ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบเบท พัฒนามาจากสมการไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ ที่คิดจากการดูดติดแบบชั้นเดียว (Monolayer) เป็นการดูดติดแบบหลายชั้น (Multilayers) ซึ่งแต่ละโมเลกุลในชั้นดูดติดผิวชั้นแรก จะเป็นบริเวณที่ซึ่งมีโมเลกุลชั้นที่ 2 ดูดติดเช่นเดียวกันกับชั้นอื่นๆ ต่อไป โดยแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

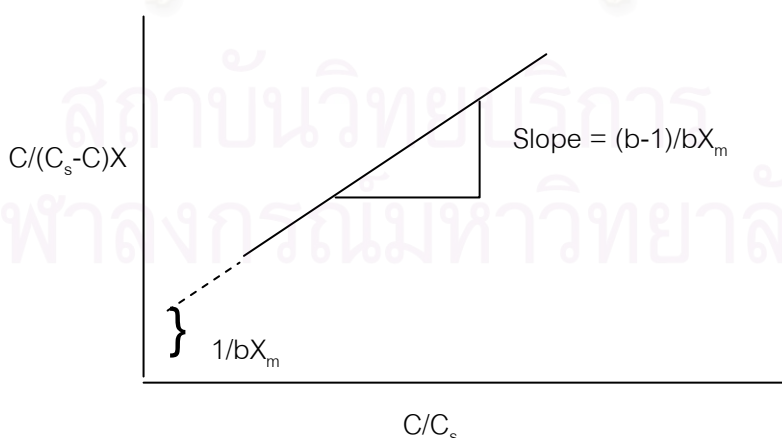
$$X = (X_m bC)/(C_s - C)(1 + (b-1)C/C_s) \quad (2.4)$$

- โดย X = ปริมาณสารที่ถูกดูดติดผิวต่อปริมาณสารดูดติดผิว
มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)
- X_m = ปริมาณสารที่ถูกดูดติดผิวต่อปริมาณสารดูดติดผิว
ที่สภาวะสมดุล มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)
- C = ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดติดผิวในสารละลาย
มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/ลิตร หรือ โมล/ลิตร)
- C_s = ความเข้มข้นอิ่มตัวของสารที่ถูกดูดติดผิว ณ ทุกๆชั้น
มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/ลิตร หรือ โมล/ลิตร)
- b = ค่าคงที่ของการดูดติดผิว

จากสมการ 2.4 สามารถเขียนได้เป็น

$$C/X(C_s - C) = (1/X_m b) + ((b-1)/X_m b)(C/C_s) \quad (2.5)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $C/X(C_s - C)$ กับ C/C_s จะได้กราฟซึ่งเป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $(b-1)/bX_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/bX_m$ แสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบเบท (BET)

2.7.3 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich Adsorption Isotherm)

สมการการดูดติดผิวแบบฟรอนด์ลิชใช้กันแพร่หลายที่สุดในการอธิบายการดูดติดผิวในระบบของเหลว ซึ่งมีสมการดังนี้ คือ

$$X / m = KC^{1/n} \quad (2.6)$$

โดย X = ปริมาณสารถูกดูดติดผิวต่อปริมาณสารดูดติดผิว
มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)

m = น้ำหนักของสารดูดติดผิว มีหน่วยเป็น กรัม

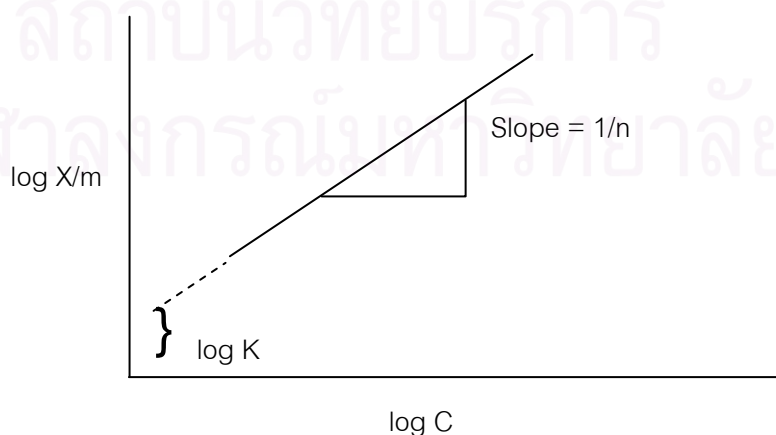
C = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลาย ที่สภาวะสมดุลย์
มิลลิกรัม/ลิตร หรือ โมล/ลิตร

$K, 1/n$ = ค่าคงที่ของการดูดติดผิว

จากสมการที่ 2.6 สามารถเขียนสมการในรูป Logarithmic ได้ดังนี้ คือ

$$\log(X / m) = \log K + 1/n \log C \quad (2.7)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log(X/m)$ กับ $\log C$ จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรง มีค่าความชัน เท่ากับ $1/n$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $\log K$ ของ $\log(X/m)$ ที่ $\log C = 0$ ($C = 1$) จากสมการที่ 2.7 แสดงได้ดังรูปที่ 2.6 จากสมการการดูดติดผิวแบบฟรอนด์ลิช แสดงถึงความสามารถในการดูดติดผิว โดยถ้าค่า $1/n < 1$ แสดงถึงการดูดติดผิวที่ไม่ดี แต่ถ้าค่า $1/n > 1$ แสดงถึงการดูดติดผิวที่ดี และถ่านที่มีเส้นไอโซเทอมมีความชันมากแสดงว่าการดูดติดผิวเกิดขึ้นได้ดีที่ความเข้มข้นสูงๆ และเกิดขึ้นได้น้อยที่ความเข้มข้นต่ำ โดยทั่วไปถ่านที่มีเส้นไอโซเทอมชันมากจะมีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวสูงเมื่อนำไปใช้ในระบบสัมผัส (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2514)



รูปที่ 2.6 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรอนด์ลิช

2.8 การผลิตน้ำยางข้น

2.8.1. น้ำยาง (Latex)

น้ำยางสดจากต้นยางพารามีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่นข้น (คล้ายน้ำนม) หรือสีครีม มีสภาพเป็นคอลลอยด์ (Colloid) โดยมีอนุภาคยางแขวนลอยกระจายอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่า เซรัม (Serum) สีของน้ำยางขึ้นอยู่กับพันธุ์ยาง มีความหนาแน่นระหว่าง 0.975-0.980 กรัม/มิลลิลิตร มีความเป็นกรดต่างประมาณ 6.5 - 7.0 ส่วนประกอบของสารต่างๆดังกล่าวจะไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุต้นยาง การกรีด และฤดูกาล (เสาวนีย์ ก่อวุฒิ กุลรังษี, 2540) อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของน้ำยางสดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

2.8.1.1 ส่วนที่เป็นเนื้อยาง (Dry Rubber Content :DRC)

เป็นสารประกอบไฮโดรเจนที่มีคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม สูตรเคมีคือ $(C_5H_8)_n$ เรียกชื่อทางเคมีว่า Polyisoprene หน่วยย่อยดังกล่าวเมื่อเกิดการเชื่อมโยงเป็นโมเลกุล จะเรียงตัวกันในแบบ sis-configuration เรียกชื่อโมเลกุลยางว่าเป็น sis-1,4 polyisoprene (ยาง 1 โมเลกุล ประกอบด้วย isoprene 2,000 – 5,000 หน่วย) รูปร่างของอนุภาคยางมีรูปร่างทั้งทรงกลมและทรงรีคล้ายลูกแพร์ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.02-0.03 ไมครอน โมเลกุลมีขนาดใหญ่ ไม่ละลายน้ำ มีประจุไฟฟ้าที่ผิวเป็นลบ เคลื่อนที่แบบบราวเนียนไปมาตลอดเวลา นอกจากนี้ยังมีโลหะบางชนิด เช่น Mg, K, Cu ปนอยู่ในส่วนของยางประมาณ 0.05 %

2.8.1.2 ส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยาง (Non Rubber Content)

1) ส่วนที่เป็นน้ำ (Aqueous phase) หรือที่เรียกว่า เซรัมของน้ำยาง มีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัม/มิลลิลิตร ประกอบด้วยสารต่างๆดังนี้

- คาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นสารประกอบพวกแป้งและน้ำตาล สารเหล่านี้จะถูกแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นกรดไขมัน เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และกรดไพรูอิก ทำให้น้ำยางเสียความคงตัวและจับตัวกันเป็นก้อน

- โปรตีนและกรดอะมิโน ที่สำคัญได้แก่ แอลฟาบูโบลิน และฮีวิน ซึ่งแอลฟาบูโบลินนั้นจะเป็นส่วนที่พบมากในน้ำยางสด มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในสารละลายของเกลือของกรดและของด่าง สำหรับฮีวินจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเพียงประมาณ 10,000 และสามารถละลายน้ำได้

2) ส่วนของลิวทอยด์และสารอื่นๆ (Lutoid and Other Particulate Phase) ลิวทอยด์หรือที่เรียกว่าวิสคอยด์ (Viscoid) เป็นส่วนประกอบในน้ำยางสดซึ่งถูกรายงานเป็นครั้งแรกโดยไฮลแมนและแวนกิลส์ ในปี ค.ศ.1948 โดยได้ทำการหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) น้ำยางสดและ

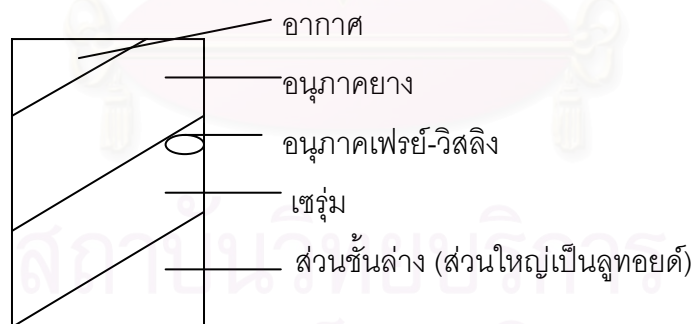
พบว่า น้ำยางแยกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งมีสีขาวยและประกอบด้วยอนุภาคของยางเป็นส่วนมาก อีกส่วนมีสีเหลืองแยกอยู่ชั้นล่าง มีประมาณ 20 - 30 % ของปริมาณทั้งหมด จากการศึกษาพบว่า ส่วนชั้นล่างเป็นอนุภาคที่ไม่เกาะกันแน่นมีความแตกต่างจากอนุภาคของยางซึ่งเรียกว่าลูทอยด์ เนื่องจากเข้าใจว่าเป็นตัวทำให้เกิดสีเหลือง (มาจากคำว่า Luteous ที่แปลว่า สีเหลืองเข้ม) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-5 ไมครอนซึ่งใหญ่กว่าอนุภาคของยาง

ผลของลูทอยด์ คือ เมื่อทำการแปรรูปน้ำยางสดให้เป็นน้ำยางชั้นด้วยการหมุนเหวี่ยงนั้นจะต้องเติมแอมโมเนียเพื่อรักษาสภาพน้ำยาง แอมโมเนียที่เติมลงไปนั้นจะรวมตัวกับลูทอยด์และแมกนีเซียมฟอสเฟตตกตะกอนเป็นตะกอนสีน้ำตาลและสีขาวแยกออกจากเนื้อยางและเกาะรวมกันอยู่ด้านล่างสุดของเครื่องหมุนเหวี่ยง ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องหมุนเหวี่ยงลดลงต้องคอยถอดล้างเอาตะกอนเหล่านี้ออก

นอกจากจะมีสารพวกลูทอยด์แล้วยังมีสารอีกประเภทหนึ่ง ที่เรียกว่าอนุภาคเฟรย์-วิสลิง (Frey-Wyssling) ซึ่งมีลักษณะกลมสีเหลืองเข้ม และมีอนุภาคใหญ่กว่าอนุภาคของยาง มีความหนาแน่นมากกว่าเล็กน้อย มีสารคาโรทีนอยด์ (Carotinoid) ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดสีเหลืองเข้ม การที่ชั้นล่างของน้ำยางมีสีเหลืองนั้นเนื่องมาจากอนุภาค เฟรย์-วิสลิงมากกว่าลูทอยด์ น้ำยางชั้นที่ได้จากการหมุนเหวี่ยงโดยการเติมแอมโมเนียจะไม่พบอนุภาคเฟรย์-วิสลิงอยู่ด้วย อาจเป็นเพราะอนุภาคเหล่านี้ถูกแยกออกจากยางและละลายอยู่ในส่วนของเซรุ่ม

การหมุนเหวี่ยงน้ำยางสดด้วยความเร็วสูงจะแยกน้ำยางออกเป็นสีชั้น

ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ชั้นของน้ำยางเมื่อถูกหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องอัลตราเซนตริฟิวจ์

องค์ประกอบของน้ำยางสดแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของน้ำยางสด

องค์ประกอบของน้ำยาง	% (โดยน้ำหนัก)
ส่วนที่เป็นเนื้อยาง	36
ส่วนที่ไม่ใช่ยาง	65
- ส่วนที่เป็นน้ำ	55
- ส่วนของลูทอยด์และสารอื่นๆ	10

ที่มา : ปนัดดา คำรัตน์, 2545

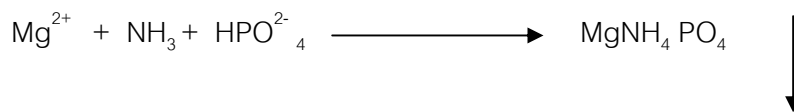
2.8.2 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น

กรรมวิธีการผลิตน้ำยางข้นของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นพบว่าการดำเนินการที่คล้ายๆกัน โดยการปั่นแยกด้วยเครื่อง (Centrifugation) และชนิดที่ผลิตกันส่วนใหญ่เป็นชนิด High Amonia (HA) ที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย 0.7% ส่วนอีกชนิดหนึ่งมีการผลิตกันเป็นส่วนน้อยคือชนิด Low Amonia (LA) ที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย 0.2% ในกระบวนการผลิตจะมีการผลิต 2 กระบวนการใหญ่ๆ คือ การผลิตน้ำยางข้นและการผลิตยางสกีม

2.8.2.1 การผลิตน้ำยางข้น

1) การรวบรวมน้ำยางสด โรงงานน้ำยางข้นจะมีการรับน้ำยางดิบจากแหล่งต่างๆ คือทั้งสวนยางและพ่อค้าคนกลาง ในขั้นตอนของการรวบรวมน้ำยางสดจากสวนเพื่อส่งให้กับโรงงาน น้ำยางข้นทางโรงงานได้จ่ายสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 10 % เพื่อให้นำไปเติมในระหว่างการรวบรวมน้ำยางสด เพื่อเป็นการรักษาสภาพน้ำยางไม่ให้เน่าบูดหรือจับตัวกันเป็นก้อน โดยเติมให้มีความเข้มข้นในช่วง 0.25 - 0.4 % ของน้ำยางสด เมื่อน้ำยางสดถึงโรงงานผลิตจะผ่านการกรองด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช ลงสู่ถังรวม และจะมีการนำตัวอย่างน้ำยางเพื่อทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง หากน้ำยางสดนั้นมีปริมาณเนื้อยางแห้งน้อยกว่าร้อยละ 25 จะไม่นำไปผลิตน้ำยางข้น เมื่อทราบปริมาณเนื้อยางแห้งว่าเหมาะสมแล้ว จะมีการผ่านก๊าซแอมโมเนียลงสู่ น้ำยางโดยให้มีความเข้มข้น เกินกว่า 0.4 % ของน้ำยาง หลังจากนั้นจะมีการตรวจสอบปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางแล้วเติมสารเคมีไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (DAP) เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของแมกนีเซียม โดยการเกิดปฏิกิริยาเป็นแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตปล่อยทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของสารประกอบแมกนีเซียมรวมไปกับ Sludge (น้ำยางสดก่อนนำไป

บีนควรมีแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm เมื่อบีนขึ้นแล้วควรมีแมกนีเซียมไม่เกิน 20 ppm) โดยมีการฟอรั่มตะกอน ดังนี้



หลังจากนั้นจึงนำน้ำยางมาทดสอบหาปริมาณกรดไขมันระเหยได้แล้วนำไปบีนต่อไป น้ำยางที่มีการรักษาสภาพดีพอจะต้องมีจำนวนกรดไขมันระเหยได้ไม่เกินกว่า 0.05 % หากมีปริมาณมากกว่านี้จะไม่นำไปผลิตน้ำยางชั้น

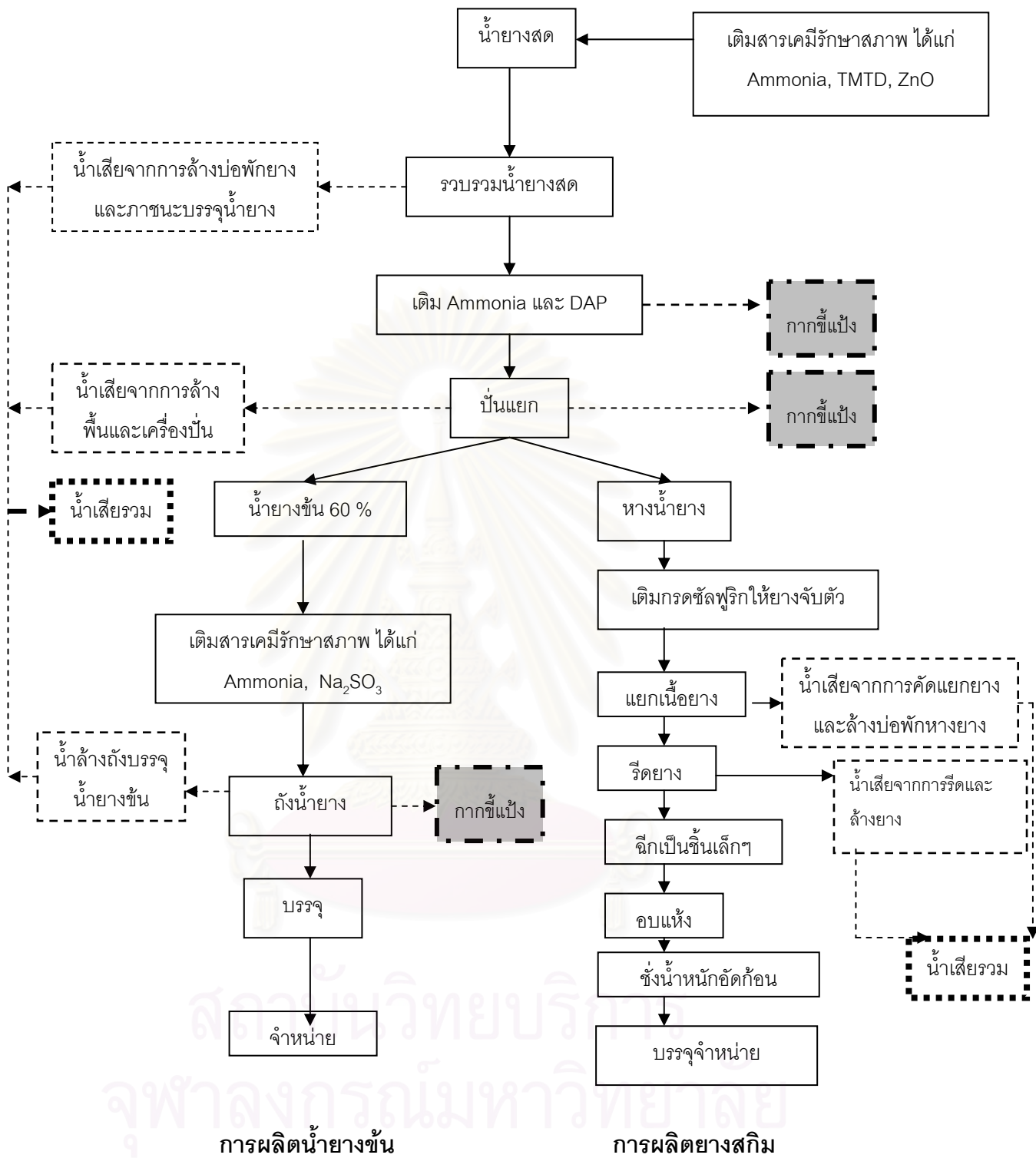
2) การบีนน้ำยางชั้น การผลิตน้ำยางชั้นโดยกระบวนการบีนเป็นวิธีหลักและเป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นจากน้ำยางธรรมชาติ โดยประกอบด้วยการผ่านน้ำยางสดเข้าเครื่องบีนที่ใช้แรงเหวี่ยงโดยความเร็วสูงแยกเป็นส่วนน้ำยางชั้น 60 % DRC และส่วนหางน้ำยาง (Skim) ที่มีส่วนของเนื้อยางบ้างเล็กน้อย

2.8.2.2 การผลิตยางสกิม

เป็นการรวบรวมหางน้ำยางที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำยางชั้นมาทำการคัดแยกเนื้อยางออก โดยปรับให้มีสภาพเป็นกรดโดยเติมกรดซัลฟิวริกแล้วปล่อยให้เกิดการจับตัวกันของ เนื้อยาง หลังจากนั้นจะทำการเก็บเนื้อยางแล้วนำมารีดเพื่อกำจัดน้ำในเนื้อยางออก แล้วนำมาฉีกเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปอบแห้ง ซึ่งน้ำหนัก อัดก้อนและบรรจุภาชนะเพื่อนำไปจำหน่ายต่อไป

2.8.3 กากซีแพ็ง

กากซีแพ็ง มีลักษณะเป็นตะกอน โดยเป็นของแข็งที่เป็นส่วนประกอบในน้ำยางสดและจะถูกแยกออกจากการบีนในการผลิตน้ำยางชั้น มีลักษณะเป็นสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน มี Mg และ P เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ จากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น วิธีผลิตที่สำคัญ คือ กระบวนการบีน โดยมีการเติมสารเคมีในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะสารเคมีที่เติมในน้ำยางสดก่อนการบีนแยก ได้แก่ Ammonia (ในรูปสารละลาย), Tetramethyl Triuram Disulfide (TMTD), Zinc Oxide และ Diamonium Phosphate (DAP) เพื่อรักษาสภาพน้ำยาง และเพื่อทำให้แมกนีเซียมตกตะกอนก่อนการบีน แหล่งกำเนิดกากซีแพ็งแสดงในรูปที่ 2.8 และคุณลักษณะของกากซีแพ็งดังตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.8 การผลิตรายางข้นและจุดกำเนิดของเสียจากการผลิตรายางข้นและยางสกิม
 ที่มา : ปนัดดา คำรัตน์, 2545

ตารางที่ 2.4 คุณลักษณะของกากชี้แบ่งตัวอย่างจากบริษัทอินเตอร์รีบเบอร์ลาเทคซ จำกัด

คุณลักษณะ	ผลวิเคราะห์
ค่าความชื้น	40 % โดยน้ำหนัก
ค่าความร้อน	3,496.29 แคลอรีต่อกรัม
ไนโตรเจนทั้งหมด	88 มก./ก.
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	7.75 มก./ก.
ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด	520 มก./ก.
โพแทสเซียม	0.016 มก./ก.
โซเดียม	0.002 มก./ก.
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	950 มก./ก.
แมกนีเซียม	ND.
สังกะสี	0.001 มก./ก.
ตะกั่ว	ND.
ปรอท	ND.
อาร์เซนิก	ND.

ที่มา : บริษัทอินเตอร์รีบเบอร์ลาเทคซ จำกัด, 2543

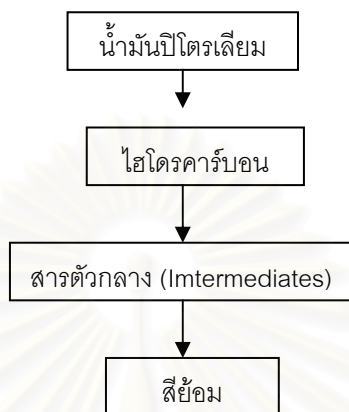
2.8.4 อัตราการเกิดกากชี้แบ่ง

โรงงานน้ำยางข้นมีกากชี้แบ่งเกิดขึ้นระหว่าง 0.7 - 500 ตันต่อเดือน หรือคิดเป็นอัตราการเกิดกากชี้แบ่งต่อน้ำยางข้นที่ผลิตได้ในสัดส่วนระหว่าง 0.6 - 50 กิโลกรัมกากชี้แบ่งต่อตันน้ำยางข้น (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2545) กากชี้แบ่งที่เกิดขึ้นเป็นของเสียที่มีความชื้นสูง ในทางปฏิบัติทางโรงงานจะนำไปทิ้งไป หรือบางแห่งจะนำไปถมที่หรือฝังกลบ ในปัจจุบันได้มีบางโรงงานนำไปเป็นปุ๋ย ใสสวนปาล์มน้ำมัน

2.9 สีย้อมและการจำแนกสีย้อม

2.9.1 การผลิตสีย้อม

การผลิตสีย้อมแสดงได้ดังแผนภาพดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.9 แผนผังการผลิตสีย้อม

น้ำมันปิโตรเลียมหรือถ่านหินเมื่อสกัดแล้วจะได้สารไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เบนซีน ไชลีน แอนทราซีน โทลูอีน แนฟทาลีน และพาราฟิน ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว สารเหล่านี้ถูกนำไปเข้ากระบวนการไนเตรชันแอมมิเนชัน ฯลฯ เพื่อเปลี่ยนสภาพไฮโดรคาร์บอนเป็นสารตัวกลาง และจากสารตัวกลางที่เตรียมได้นี้จะถูกนำไปเปลี่ยนเป็นสีย้อมด้วยเทคนิคต่างๆที่ไม่เป็นที่เปิดเผย

2.9.2 การเกิดสีของสีย้อม

สีที่ปรากฏออกมาทำให้สายตาคนปกติมองเห็นได้นั้นเกิดมาจากการจัดเรียงตัวของกลุ่มอะตอมภายในโมเลกุลของสีย้อม กลุ่มอะตอมเหล่านี้เรียกว่า โครโมฟอร์ (Chromophores) ซึ่งมีอยู่ 7 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มไนโตรโซ (Nitroso Group) : $-\text{NO}$ (หรือ $=\text{NO}-\text{OH}$)
- กลุ่มไนโตร (Nitro Group) : $-\text{NO}_2$ (หรือ $=\text{NO}-\text{OH}$)
- กลุ่มเอโซ (Azo Group) : $-\text{N}=\text{N}-$
- กลุ่มเอทิลีน (Ethylene Group) : $\text{C}=\text{C}$
- กลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl Group) : $\text{C}=\text{O}$
- กลุ่มซัลเฟอร์ (Sulphur Group) $\text{C}=\text{S}$ และ $-\text{C}-\text{S}-\text{S}-\text{C}-$

กลุ่มอะตอมต่างๆเหล่านี้จะเป็นตัวไปเพิ่มสีให้สารประกอบอะโรมาติก (Aromatic Compound) โดยดูดกลืนแสงสีขาวไว้บางแถบแสง และปล่อยออกมาบางแถบแสง ทำให้มนุษย์มองเห็นสีย้อมมีโทนสีที่แตกต่างกันออกไป

กลุ่มย้อมโดยทั่วไปนอกจากจะมีกลุ่มอะตอม “โครโมฟอร์” แล้ว ยังมีกลุ่มอะตอมอีกหนึ่งได้แก่ กลุ่มอะตอม “ออกโซโครม” (Auxochromes) ได้แก่ $-OH, -NH_2, -NHR_2, -NR_2, -SO_3$ และ $-COOH$ เพื่อทำให้สีย้อมยึดติดกับเส้นใยได้ โมเลกุลสีที่ขาดกลุ่มอะตอมออกโซโครม จะขาดคุณสมบัติในการยึดติดกับเส้นใย โมเลกุลดังกล่าวนี้เรียกว่า “โครมาเจน” (Chromagen) เช่น สีย้อมอะมิโนเอโซเบนซีน (Aminoazobenzene Dyestuff) มีสูตรโครงสร้างโมเลกุล คือ $-H_2N-O-N=N-O$ โดยกลุ่มอะตอมโครโมฟอร์ คือ $-N=N-$ กลุ่มอะตอมออกโซโครมคือ $-NH_2$ และโมเลกุลที่เรียกว่า โครมาเจน คือ $O-N=N-O$ ทั้งกลุ่มอะตอมโครโมฟอร์ ออกโซโครม และโครมาเจนนี้จะเป็นส่วนสำคัญในการจำแนกกลุ่มของสีย้อมตามสูตรโครงสร้างทางเคมีซึ่งจะกล่าวต่อไป

2.9.3 การจำแนกสีย้อม

การจำแนกสีย้อมอาจพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ สารชนิดที่ละลายน้ำ เรียกว่า สีย้อม (Dye) และชนิดที่ไม่ละลายน้ำ เรียกว่า สารสี (Pigment) สารสีซึ่งไม่ละลายน้ำนี้เมื่อนำไปใช้ผู้ผลิตต้องหาตัวทำละลายมาช่วยทำให้สารสีนี้ละลายน้ำได้ซึ่งเมื่อละลายน้ำแล้วจะมีสมบัติเหมือนกับสีย้อม (Dye) สามารถดูดซึมเข้าไปในเส้นใยได้ ทำให้การจำแนกกลุ่มสีแบบนี้ค่อนข้างสับสน

การจำแนกสีย้อมอีกวิธีหนึ่งคือ การจำแนกสีตามส่วนประกอบทางเคมี ซึ่งเป็นที่ยุ้งยากมาก สำหรับผู้ไม่มีความรู้ทางด้านเคมี นอกจากนั้นวิธีการจำแนกสีประเภทนี้ไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากสีย้อมบางชนิดมีโครงสร้างที่ยังไม่เป็นที่ประจักษ์ ทำให้การจำแนกวิธีนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่แต่อย่างไรก็ตามการจำแนกสีโดยใช้สูตรโครงสร้างทางเคมีนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับผู้ที่มีความรู้ทางด้านเคมี และสำหรับสีย้อมที่ทราบสูตรโครงสร้างทางเคมีอย่างแน่นอน

การจำแนกสีย้อมที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ การจำแนกสีย้อมตามการนำไปใช้งานซึ่งเป็นวิธีที่ยอมรับกันทั้งผู้ใช้และทางอุตสาหกรรม

2.9.3.1 การจำแนกสีย้อมตามการนำไปใช้งาน

1) สีดีสเพิร์ส (Disperse Dyes)

สีชนิดนี้ใช้ย้อมเส้นใยอะซิเตทหรือเส้นใยสังเคราะห์บางชนิดที่ดูดซึมน้ำได้น้อย เมื่อมีสารที่ช่วยกระจาย (Dispersing Agent) ที่เหมาะสมมาช่วยจะสามารถใช้ย้อม

ในน้ำธรรมดาได้โดยไม่ต้องใช้สารอื่นช่วย นอกจากสารพา (Carrier) ที่จะช่วยให้สีเข้าไปใกล้เส้นใยได้มากขึ้นเพียงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้

สีดิสเพิร์สอาจแบ่งได้อีกเป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ ตามลักษณะส่วนประกอบทางเคมี ได้แก่ สีย้อมเอโซ (Azo Dyes) และสีย้อมอะมิโนแอนทราควิโนน (Aminoanthraquinone) ซึ่งสีทั้ง 2 กลุ่มนี้จะประกอบไปด้วยอนุพันธ์ของเอทานอลามีน (Ethanolamine) : $-NH_2-CH_2-CH_2-OH$

2) สีแอซิด (Acid Dyes)

สีชนิดนี้ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนในน้ำย้อมซึ่งมีสภาพเป็นกรดเจือจางหรืออาจนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสที่ไม่ใช่เซลลูโลสที่บริสุทธิ์ เช่น ปอ ป่าน ได้ด้วย ตัวสีย้อมเกิดจากสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน ส่วนประกอบทางเคมีของสีชนิดนี้ประกอบด้วยกลุ่มสีเอโซ (Triarylmeth และ Anthraquinone)

3) สีย้อมอะโซอิก (Azoic Dyes)

สีย้อมกลุ่มนี้นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสเท่านั้น สีย้อมชนิดนี้เป็นสารประกอบเอโซเช่นกัน แต่ว่าตัวสีนั้นไม่ละลายน้ำ ดังนั้นการจะใช้ย้อมเส้นใยจึงต้องย้อมด้วยสารประกอบฟีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน แล้วจึงย้อมทับอีกครั้งด้วยเกลือไดอะโซเนียม (Diazonium Salt) เกลื่อนี้จะทำปฏิกิริยากับสารฟีนอล เกิดเป็นสารประกอบเอโซที่ให้สีบนเส้นใย ซึ่งปฏิกิริยานี้เรียกว่า คัปปลิง (Coupling)

4) สีย้อมเบสิค (Basic Dyes)

ใช้ย้อมขนสัตว์และเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด แต่ย้อมติดเส้นใยเซลลูโลสได้เพียงเล็กน้อยหรืออาจไม่ติดเลย ตัวสีย้อมเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครโมฟอร์ที่ให้แคทไอออน (Cation) บางครั้งจึงเรียกสีย้อมชนิดนี้ว่า สีแคทไอออน สามารถย้อมติดกับเส้นใยได้โดยประจุบวกของสีจะจับกับประจุลบของเส้นใย

5) สีย้อมไดเรกต์ (Direct Dyes)

สีย้อมชนิดนี้บางครั้งเรียกว่า สีย้อมฝ้าย ซึ่งชื่อนี้มาจากการย้อมด้วยสีไดเรกต์จะใช้เกลือช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมให้ดียิ่งขึ้น สีย้อมชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบพวเคโซ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่ซัลโฟนิคซึ่งทำให้สีละลายน้ำได้

สีย้อมชนิดนี้มีโทนสี คุณสมบัติในการย้อม ความคงทน ตลอดจนราคาที่แตกต่างกันมาก ซึ่งถ้าเป็นสีที่มีความคงทนในการย้อมดี โครงสร้างก็จะซับซ้อนมากยิ่งขึ้นราคาก็จะแพงมากขึ้นด้วย

6) สีย้อมมอแดนท์ (Mordant Dyes)

ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน สีย้อมชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสีย้อมในกลุ่มแอลิตที่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะบางชนิดได้ เช่น โครเมียม อลูมิเนียม และเหล็ก เมื่อย้อมทับด้วยเกลือโลหะ ภายหลังแล้วจะมีความคงทนต่อขบวนการใช้น้ำได้ดีกว่าการไม่ย้อมทับ

7) สีย้อมซัลเฟอร์ (Sulfer Dyes)

ใช้ย้อมเส้นใยโดยเฉพาะ มีราคาค่อนข้างถูกมาก สีย้อมได้ไม่ค่อยสดใส ปกติแล้วสีย้อมชนิดนี้ไม่ละลายน้ำ แต่ในปัจจุบันผู้ผลิตได้ทำการผลิตสีย้อมชนิดนี้ขึ้นมาใหม่โดยนำตัวสีย้อมไปรีดิวซ์ ทำให้สีย้อมชนิดนี้สามารถละลายน้ำได้

การที่สีย้อมชนิดนี้ถูกเรียกว่า สีย้อมซัลเฟอร์ ก็เพราะว่า สารที่จะนำมารีดิวซ์เป็นสารละลายของโซเดียมซัลไฟด์และโครโมฟอร์ของสีย้อมซัลเฟอร์ประกอบไปด้วยกลุ่มธาตุซัลเฟอร์ (Sulfonic Group) สีย้อมชนิดนี้เมื่อละลายน้ำแล้วจะแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยแล้วสามารถยึดติดกับเส้นใยได้อย่างถาวร โดยการออกซิไดซ์สีกลับคืนสู่รูปเดิมที่ไม่ละลายน้ำ ด้วยการทำปฏิกิริยากับอากาศ (Air Oxidation)

8) สีย้อมแวต (Vat Dyes)

มักใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสโดยเฉพาะเส้นใยฝ้าย สีย้อมชนิดนี้ไม่ละลายน้ำ ต้องใช้สารที่เหมาะสมรีดิวซ์ ทำให้สีย้อมชนิดนี้สามารถละลายน้ำได้ เช่นเดียวกับสีย้อมซัลเฟอร์ สารรีดิวซ์ที่นิยมใช้กันคือ โซเดียมไฮโดรมาเจนซัลไฟด์ สีย้อมแวตเมื่อรีดิวซ์แล้วจะให้สารประกอบลิวโค (Leuco Compound) ซึ่งมีสีครามและมีประสิทธิภาพในการแทรกซึมเมื่อนำเส้นใยไปสัมผัสกับอากาศ สารประกอบลิวโคจะถูกออกซิไดซ์กลับไปเป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำทำให้ติดทนถาวรกับเส้นใย สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญ 2 ชนิด คือ สีครามอินดิโก (Indigo) และสีแอนทราควิโนน (Aminoanthraquinone)

9) สีย้อมรีแอคทีฟ (Reactive Dyes)

เป็นสีย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด ละลายได้ในน้ำ มีคุณสมบัติเป็นแอนไอออน (Anion) เมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่เป็นด่าง โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ OH ในเส้นใยเซลลูโลส และจะเชื่อมติดต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส คุณสมบัติการละลายและการดูดติดเส้นใยของสี จะทำให้สีเข้าไปติดอยู่กับเส้นใยได้ และเมื่อเกิดปฏิกิริยาสีก็จะติดกับเส้นใย

10) สีย้อมโลหะ (Metallic Dyes)

สารประกอบบอบอนินทรีย์หลายชนิดที่ไม่ละลายน้ำใช้ย้อมเส้นใย เซลลูโลส และจะทำให้สีที่ต่างกัน เมื่อใช้ย้อมแล้วต้องทำให้สารนี้ตกตะกอนภายในเส้นใย เช่น Mineral Khaki ซึ่งเป็นสารประกอบของเหล็กออกไซด์และโครเมียมออกไซด์รวมกัน

11) สีย้อมโอเนียม

สีชนิดนี้นิยมใช้พิมพ์มากกว่าใช้ย้อมจัดว่าเป็นสีที่สามารถทำให้ละลายน้ำได้ ลักษณะการย้อมคล้ายกับสีย้อมแวต คือต้องออกซิไดซ์ให้สีกลับสู่สภาพเดิมที่ไม่ละลายน้ำ

สีที่นิยมใช้ย้อมด้ายหรือฝ้ายในประเทศไทยในปัจจุบันมีอยู่ 6 ชนิด คือ

- สีย้อมอะโซอิก
- สีย้อมไดเร็กต์
- สีย้อมซัลเฟอร์
- สีย้อมแวต
- สีย้อมรีแอกทีฟ
- สีย้อมโลหะ

2.10 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

อุตสาหกรรมสิ่งทอมีกระบวนการผลิตรายละเอียดต่อไปนี้

2.10.1 การเตรียมวัสดุสิ่งทอสำหรับการย้อม

เส้นด้ายหรือผ้าที่ผลิตออกจากโรงทอแล้วยังมีสิ่งเจือปนต่างๆอยู่มาก เช่น แป้งที่ใช้ลงเส้นยืน ขี้ผึ้ง กาว สีธรรมชาติ ฯลฯ สารพวกนี้จะเป็นอุปสรรคในการย้อมสี ทำให้น้ำย้อมไม่สามารถซึมเข้าเส้นใยได้อย่างทั่วถึง ทำให้ผลที่ได้จากการย้อมนั้นต่าง ดังนั้นก่อนที่จะนำด้ายหรือผ้าไปทำการย้อมจึงต้องมีการกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆเหล่านี้เสียก่อน

การเอาสิ่งเจือปนซึ่งเป็นอุปสรรคในการย้อมเส้นใยออกนี้เรียกว่า “การเตรียมวัสดุสิ่งทอ” ไม่ว่าจะเป็นการย้อมหรือการพิมพ์ต่างก็ต้องการด้ายหรือผ้าที่สะอาดเพื่อให้สีซึมเข้าได้ง่ายที่สุด ขบวนการเตรียมวัสดุสิ่งทอนี้มีหลายขั้นตอนซึ่งจะแตกต่างกันไปตามชนิดของเส้นใย และลักษณะของผ้า

การเอาสิ่งเจือปนออกจากวัสดุสิ่งทอหรือการทำความสะอาดสิ่งทอนี้ อาจจะทำในขั้นตอนที่เป็นด้ายหรือเป็นผ้าก็ได้แล้วแต่วัตถุประสงค์ในการใช้งาน กรรมวิธีในการทำความสะอาดสิ่งทอที่สำคัญ ได้แก่ การลอกแป้ง (Desizing) การขจัดสิ่งสกปรกจำพวกไขมัน น้ำมัน ขี้ผึ้ง (Scouring) และการฟอกขาว (Bleaching) เป็นต้น

2.10.2 การลอกแป้ง (Desizing)

ตัวผ้าบางประเภท เช่น ผ้าฝ้าย เมื่อทอเสร็จแล้วจะมีเส้นใยโผล่ขึ้นมาบนผิวผ้ามาก ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการย้อมสี เพราะจะทำให้สีที่ได้ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงต้องนำเอาผ้าไปเผาละลายขนออกเสียก่อนที่จะนำเข้าสู่กระบวนการลอกแป้ง

แป้งที่ติดอยู่บนเนื้อผ้ามาจากการลงแป้งบนด้ายในขบวนการทอผ้าเพื่อทำให้เส้นด้ายแข็งตัวพอที่จะทนทานต่อการเสียดสีของเครื่องทอ ดังนั้นเมื่อทอเป็นผ้าแล้วก่อนจะนำไปย้อมต้องนำไปลอกแป้งออกให้หมดเสียก่อนเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการย้อมสีภายหลัง

การลอกแป้ง คือ ขบวนการที่ทำให้แป้งสลายตัวเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ ซึ่งทำได้ 4 วิธีคือ

- แห้และหมักด้วยกรด (Acid-Stuiping)
- แห้และหมักโดยอาศัยเชื้อต่างๆ (Rot-Stuiping)
- ต้มด้วยสารช่วยย้อม (Enzyme Desizing)
- ใช้สารออกซิไดซ์ (Oxidizing Agent)

ซึ่งการลอกแป้งด้วยวิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับความสะดวกของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ในแต่ละโรงงาน แต่โดยทั่วไปแล้วโรงงานอุตสาหกรรมมักจะใช้วิธีใช้สารออกซิไดซ์ ซึ่งสารที่นิยมใช้กัน คือ โซเดียมโบรไมท์ (Sodium Bromite) โดยการอัดผ้าด้วยน้ำยาที่มีแอกทีฟโบรไมด์และโซดาไฟ ทำการหมักผ้าไว้ 15-20 นาที แล้วจึงทำการล้างเอาน้ำยาออก

2.10.3 การขจัดสิ่งสกปรก

วิธีการขจัดสิ่งสกปรกออกจากเส้นใยอาจทำได้ 2 วิธีคือ ใช้หม้ออัดความดันที่เรียกว่า เคียร์ (Kier) หรืออาจใช้ขบวนการแบบต่อเนื่องโดยใช้น้ำยาด่าง (นิยมใช้โซดาไฟ) ผสมกับสารลดความตึงผิว เช่น สบู่ หรือผงซักฟอกในหม้อต้มด่างและสารลดความตึงผิวจะทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนที่ติดอยู่กับเส้นใยให้ละลายออกมาอยู่ในน้ำ และเมื่อทำการซักล้างเอาน้ำยาออกก็จะได้เส้นใยที่ปราศจากสิ่งสกปรก

2.10.4 การฟอกขาว (Bleaching)

สิ่งสกปรกต่างๆในเส้นใยจะถูกกำจัดออกไปในขบวนการลอกแป้งและการขจัดสิ่งเจือปน แต่เส้นใยที่ได้จะคงยังเป็นสีธรรมชาติอยู่ซึ่งจะมีผลต่อการย้อม ดังนั้นจึงต้องมีการ

กำจัดสีธรรมชาตินี้่อกด้วยวิธีการที่เรียกว่า การฟอกขาว ซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการทำความสะอาด สะอาดขั้นสุดทำก่อนนำเส้นใยไปย้อมหรือพิมพ์สี

2.10.5 การชุบมัน (Mercerizing)

การชุบมันไม่ได้อยู่ในขบวนการทำความสะอาดสิ่งทอหรือเส้นใยแต่อยู่ในขั้นตอนเตรียมวัสดุสิ่งทอ ซึ่งวัตถุประสงค์ของการชุบมันก็เพื่อเพิ่มความมันของวัสดุสิ่งทอ ทำให้วัสดุสิ่งทอดูดซึ่มสีย้อมได้มากขึ้นและทำให้เส้นใยอ่อนนุ่มมากขึ้น ทำโดยการนำเส้นใยไปชุบน้ำยา โซดาไฟ ฝ้ายจะหดตัวลง จากนั้นจึงใช้เครื่องมือดึงผ้าให้ขยายเท่าเดิม และล้างโซดาไฟออกโดยเร็วด้วยน้ำ

2.11 แหล่งที่มาของน้ำทิ้งและสิ่งสกปรกที่เกิดจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

2.11.1 แหล่งที่มาของน้ำทิ้ง

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอมีที่มาจากแหล่งต่างๆที่สำคัญ 4 แหล่ง คือ

1) น้ำที่ใช้ในกระบวนการ ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการดำเนินการฟอกย้อม พิมพ์ และการตกแต่ง น้ำที่ใช้ในส่วนนี้จะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต กระบวนการที่ทำให้เกิดน้ำเสียนั้น ได้แก่กระบวนการต่อไปนี้ คือ

- ขบวนการต้มแป้ง
- ขบวนการทำความสะอาด
- ขบวนการชุบมัน
- ขบวนการย้อมสีและตกแต่ง
- ขบวนการพิมพ์ผ้า

น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตจะมีปริมาณไม่มากนัก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกค่อนข้างสูง มีลักษณะที่แตกต่างกันตามลักษณะของเส้นใยและกระบวนการฟอกย้อมที่ใช้ ส่วนน้ำที่ใช้ซักล้างภายหลังการฟอกย้อมหรือพิมพ์ น้ำในส่วนนี้จะมีปริมาณมาก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกโดยรวมน้อยกว่าน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อม

2) น้ำที่ใช้ในหม้อน้ำ ในกระบวนการฟอกย้อมหรือพิมพ์มักจะมีการใช้น้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่ผ้าที่ใช้ในกระบวนการ ถ้าไอน้ำที่ใช้ถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อน้ำ ก็จะได้ น้ำที่สะอาดและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งไปให้ความร้อนแก่น้ำย้อมโดยตรง ก็จะเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำย้อมและจะกลายเป็นน้ำเสียในที่สุด

- 3) น้ำหล่อเย็น ในกระบวนการพอกย้อม จำเป็นต้องมีการลดอุณหภูมิของน้ำย้อมลงในระยะเวลาที่รวดเร็ว ซึ่งจะใช้น้ำหล่อเย็น และสามารถนำน้ำนี้กลับมาใช้ใหม่ได้
- 4) น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่อง และทำความสะอาดโรงงาน น้ำที่ใช้ในส่วนนี้บางครั้งถ้าเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง เช่น น้ำล้างถังเตรียมสี เป็นต้น
- 5) น้ำจากแหล่งอื่นๆ เช่น น้ำใช้จากการอุปโภคบริโภคของคนงาน เป็นต้น

2.11.2 ประเภทของสิ่งสกปรกในน้ำเสีย

สิ่งสกปรกที่เจือปนในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอนั้น จำแนกเป็นประเภทต่างๆได้ดังนี้

- 1) สีย้อมในการย้อมเส้นใยจะดูดซึมสีเพียงบางส่วนเท่านั้น ที่เหลือจะยังคงอยู่ในน้ำย้อม และจะถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียในที่สุด สำหรับในการพิมพ์ก็เช่นเดียวกัน มีที่พิมพ์ไปบนผ้าจะไม่ถูกดูดซึมไปทั้งหมด และส่วนที่ไม่ถูกดูดซึมก็จะถูกชะล้างออกมาภายหลังการพิมพ์
- 2) สารเคมีที่ช่วยในกระบวนการพอกย้อม รวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จ สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการของอุตสาหกรรมพอกย้อมมีอยู่มากมายหลายชนิด สารเคมีเหล่านี้จะคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมหรือน้ำซักล้าง ซึ่งจะถูกละลายออกมากับน้ำเสียของโรงงาน
- 3) สิ่งสกปรกที่เจือปนมากับเส้นใย โดยเฉพาะเส้นใยธรรมชาติจะมีสิ่งเจือปนสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ สิ่งสกปรกเหล่านี้มีทั้งที่เป็นไขมัน สารขี้ผึ้ง โปรตีน ตลอดจนสารประกอบโลหะต่างๆลงไปบนเส้นใยด้วย เช่น สารหล่อลื่น แป้งที่ใช้ในการลงด้าย สิ่งสกปรกเหล่านี้จะถูกกำจัดออกจากเส้นใยในขบวนการเตรียมก่อนการย้อมหรือพิมพ์ และจะหลุดออกมากับน้ำเสียของโรงงานในขั้นตอนการเตรียมการพอกย้อมหรือการพิมพ์

2.11.3 ลักษณะน้ำทิ้งของโรงงานพอกย้อม

น้ำเสียของโรงงานพอกย้อมมีลักษณะที่สำคัญ ดังต่อไปนี้ คือ

- 1) มีปริมาณสารอินทรีย์สูง คือ มีค่าบีโอดีประมาณ 100-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร และซีโอดีประมาณ 500-1200 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการย้อม ได้แก่ แป้ง สีย้อม กรดอะซิติก เส้นใย สบู่ ไขมัน ตัวทำละลายต่างๆ เป็นต้น
- 2) มีค่าพีเอชและค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) สูง คือ ค่าพีเอชประมาณ 9-12 และค่าความเป็นด่างประมาณ 300-900 ppm ซึ่งเกิดจาก โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต เป็นต้น
- 3) มีอุณหภูมิสูงประมาณ 50 องศาเซลเซียส

- 4) มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (Dissolved Solids) สูง ซึ่งเกิดจากเกลือโซเดียมและกรดต่างๆ
- 5) มีความเข้มข้นของสีมาก ซึ่งเกิดจากกระบวนการย้อมสี
- 6) มีโลหะหนักเจือปน โดยโลหะหนักเหล่านี้มาจากสีย้อมผ้า เช่น ทองแดง ตะกั่ว โครเมียม สังกะสี เป็นต้น
- 7) มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspend solids) สูง

2.11.4 ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมที่มีต่อสิ่งแวดล้อม

- 1) สารอินทรีย์ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO) ลดลง ซึ่งมีผลทำให้
 - สิ่งมีชีวิตในน้ำตายเนื่องจากขาดออกซิเจน
 - ทำให้แหล่งน้ำไม่สามารถทำความสะอาดด้วยตัวเอง (Self Purification) ได้
 - ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นจากการเกิดปฏิกิริยาแอนแอโรบิก (Anaerobic)
 - ทำให้ไม่สามารถใช้แหล่งน้ำนั้นทำประโยชน์ได้

สารอินทรีย์บางชนิดเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต มีผลทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และอาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้ในกรณีที่ได้รับสารโดยตรงจากการบริโภคสัตว์น้ำ นอกจากนี้สารพิษเหล่านี้ยังอาจสะสมอยู่ในระบบนิเวศน์ หากสารนั้นเป็นสารที่สลายตัวได้ยาก

- 2) ค่าความเป็นด่าง จะทำให้น้ำเสียที่มีค่าพีเอชสูงๆ ซึ่งเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรงแล้ว จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เพราะโดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตจะดำรงชีพอยู่ได้ในสภาวะที่เป็นกลาง คือในช่วงพีเอช 6-9

- 3) คุณภูมิของน้ำเสียที่สูงจะมีผลทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง

- 4) ของแข็งที่ละลายน้ำ (Dissolved Solids) อาจทำให้สัตว์น้ำเกิดโรคที่ร้ายแรงได้ และทำให้ไม่สามารถใช้น้ำให้เกิดประโยชน์ได้

- 5) สี (Color) ทำให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่ดีของแหล่งน้ำ และทำให้ปริมาณแสงที่จะส่งผ่านลงสู่แหล่งน้ำลดลง ส่งผลให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง

6) โลหะหนัก (Heavy Metals) ทำให้เกิดโรคร้ายแรงในน้ำ และยังคงสะสมอยู่ในระบบนิเวศน์ ทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ รวมทั้งมนุษย์ด้วย

7) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids) จะไปเพิ่มสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ สามารถตกตะกอนทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน ทำให้มีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์สัตว์น้ำและทำลายทัศนียภาพของแหล่งน้ำด้วย

2.12 การวัดค่าสี

การวัดค่าสีแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทตามลักษณะการวัด คือ

- 1) เทียบกับสีมาตรฐานที่ย้อมให้เป็นสีอ้างอิง เช่น สีตามมาตรฐาน APHA
- 2) วัดค่าเปอร์เซ็นต์ของแสงที่ส่องผ่าน (% Transmittance)
- 3) วัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
- 4) วัดโดยการผสมแม่สีมาตรฐาน 3 สี

2.12.1 วิธีเทียบกับสีมาตรฐานที่ย้อมให้เป็นสีอ้างอิง เช่น สีตามมาตรฐาน APHA

วิธีนี้กำหนดขึ้นโดย APHA (American Public Health Association) เป็นการวัดสีในน้ำโดยเปรียบเทียบด้วยตารางหว่างตัวอย่างน้ำกับสารละลายสีมาตรฐานซึ่งเตรียมได้โดยใช้ K_2PtCl_6 และ $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ ที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายสีมาตรฐานนี้มีสีค่อนข้างเหลืองคล้ายกับแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป แต่เมื่อพิจารณาสีของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมฟอกย้อมและฟอกหนังซึ่งมีน้ำทิ้งหลากสีแล้ว การเทียบสีกับสารละลายมาตรฐานดังกล่าวแทบจะเป็นไปไม่ได้เลย

2.12.2 วัดค่าร้อยละของแสงที่ส่องผ่าน (% Transmittance)

วัดค่าร้อยละของแสงที่ส่องผ่าน โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ด้วยหลักที่ว่าถ้าวัตถุใดสะท้อนแสงออกมาในช่วงความยาวคลื่นนั้นๆ ก็จะมองเห็นวัตถุนั้นเป็นโทนสีของแสงที่สะท้อนออกมา

2.12.3 วัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)

ใช้หลักการเดียวกับการวัดค่าร้อยละของแสงที่ส่องผ่าน (% Transmittance) แต่ให้วัดออกมาเป็นค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)

2.12.4 วัดโดยการผสมแม่สีมาตรฐาน 3 สี

จากหลักการผสมสีของแม่สี 3 สี ซึ่งมี 2 วิธี คือ ผสมแม่สีแดง สีแดง สีน้ำเงิน สีเขียว และผสมสารสีแดง สีเหลือง สีน้ำเงิน โดยใช้เครื่องทินโทมิเตอร์วัดสีโดยการใส่การ

ผสมแม่สี 2 ใน 3 สี ร่วมกับการปรับแสงสว่างในการมอง เพื่อเลียนแสงสีให้เหมือนกับตัวอย่างที่ ต้องการวัด ตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของสีกับความยาวคลื่นของแสงที่ตามองเห็น

สีของแสง	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	สีตรงข้าม
ม่วง	400-450	เหลืองแกมเขียว
น้ำเงิน	450-480	เหลือง
เขียวแกมน้ำเงิน	480-490	ส้ม
น้ำเงินแกมเขียว	490-500	แดง
เขียว	500-560	ม่วงแดง
เหลืองแกมเขียว	560-575	ม่วง
เหลือง	575-590	น้ำเงิน
ส้ม	590-625	เขียวแกมน้ำเงิน
แดง	625-750	น้ำเงินแกมเขียว

ที่มา : ลาวัลย์ ศรีพงษ์, 2543

2.13 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

วราศรี เอกประสิทธิ์ และคณะ (2542) ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะกากชี้แบ่งและอัตราการเกิดกากชี้แบ่งของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นพบว่าจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น กระบวนการที่สำคัญคือการปั่น (Centrifugation) ซึ่งจากกิจกรรมการปั่นนี้จะได้ของเสียออกมาในรูปของแข็ง เรียกว่าตม หรือกากชี้แบ่ง โดยที่กากชี้แบ่งเกิดจากของแข็งที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งในน้ำยางสด และจะถูกแยกออกในขณะที่ทำการปั่นน้ำยางสดรวมถึงจากการตกตะกอนในถังพักน้ำยางที่รวบรวม น้ำยางสดไว้ก่อนที่จะนำไปปั่น กากชี้แบ่งมีลักษณะเป็นสีขาวหรือ สีเหลืองอ่อน และยังพบว่าในการผลิตน้ำยางชั้นจะทำให้เกิดกากชี้แบ่งประมาณ 10.7 กิโลกรัมต่อตันน้ำยางสด โดยในปัจจุบันโรงงานมักทำการกำจัดโดยการนำกากชี้แบ่งไปถมที่ ถมถนน ซึ่งเป็นการจัดการของเสียที่ไม่เหมาะสม

มานัด แก้วถาวร (2537) ศึกษาเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยใช้สารกระตุ้น 3 ชนิด คือ โซเดียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าการกระตุ้นด้วยสารทั้งสามชนิดนั้นจะทำให้ถ่านมีคุณสมบัติในการดูดซับดีขึ้นกว่าการใช้ถ่านธรรมดา การเพิ่มเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นจาก 30-120 นาที จะทำให้ถ่านที่มีค่าการดูดซับไอโอดีน (I_2) ดีขึ้น แต่ร้อยละของผลผลิตจะลดลงประมาณ 0.6-5.6 และเมื่อใช้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน การศึกษาขนาดกะลาพบว่าขนาดกะลาที่เล็กลงจะทำให้ถ่านมีคุณสมบัติในการดูดซับดีขึ้น แต่ค่าร้อยละผลผลิตลดลง ซึ่งอัตราส่วนของสารกระตุ้นคือ ซิงค์คลอไรด์และโซเดียมคลอไรด์ ต่อปริมาณกะลามะพร้าวที่เหมาะสม คือ 1:1 และ 2:1 ตามลำดับ ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นสารกระตุ้นนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 800-900 °C สำหรับการศึกษากาซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าโซเดียมคลอไรด์เป็นสารกระตุ้นที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าซิงค์คลอไรด์ แต่ซิงค์คลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นที่ดีแต่เป็นพิษ ต้องล้างออกก่อนนำไปใช้งาน เมื่อใช้แล้วจึงต้องพยายามนำกลับมาใช้ใหม่

ปิยะพร บารมี (2542) ได้ทำการศึกษา การผลิตถ่านกัมมันต์จากยางเหลือทิ้งโดยผ่านกระบวนการคาร์บอนไนซ์และกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาในการคาร์บอนไนซ์คืออุณหภูมิและเวลา ซึ่งจากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จะได้ถ่านที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับนำไปกระตุ้นต่อไป คือมีค่าปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ 85.13 ปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 71.41 และปริมาณสารระเหยร้อยละ 22.08 และภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้น คือ ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ 54.96 พื้นที่ผิว 231.17 ตารางเมตร ต่อกรัม ค่าการดูดซับไอโอดีน 351.52 มิลลิกรัมต่อกรัม

ชนิตา เสมรัตน์ (2543) ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการดูดติดผิว โดยสารดูดติดผิวที่ใช้คือ ถ่านกัมมันต์ ถ่านกะลา และถ่านชานอ้อยที่ได้เพิ่มคุณภาพการดูดติดผิวโดยใช้โซเดียมคลอไรด์ พบว่าถ่านกะลามีคุณสมบัติไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน ส่วนถ่านกัมมันต์และถ่านชานอ้อยมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้งาน ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการลดสีและซีไอดีอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 84-99 และร้อยละ 54-85 ตามลำดับ ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อยมีประสิทธิภาพในการลดสีและซีไอดีอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 50-98 และร้อยละ 44-75 ตามลำดับ ส่วนถ่านชานอ้อยมีประสิทธิภาพในการลดสีและซีไอดีอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 51-95 และร้อยละ 15-73 ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อใช้ในการกำจัดสีแดงและเหลืองที่มีความเข้มข้นสี 250 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปนัดดา คำรัตน์ (2545) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากซีแ่งจากโรงงานน้ำยางข้นซึ่งเป็นของเสียมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยถ่านซีแ่งเตรียมจะขึ้นโดยใช้เกลือแ่งเป็นสารกระตุ้นและล้างสารกระตุ้นด้วยกรดเจือจาง พบว่าในขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์จะทำที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับนำไปทำการกระตุ้นต่อไป เนื่องจากที่สภาวะนี้ทำให้ได้ค่าผลผลิตมากกว่าและมีค่าการดูดซับไอโอดีนใกล้เคียงกับสภาวะการทดลองอื่นๆ และถ่านซีแ่งที่ได้มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 510 มิลลิกรัมไอโอดีนต่อกรัมถ่านกัมมันต์ และมีพื้นที่ผิว 566.39 ตารางเมตรต่อกรัม

Rengaraj และคณะ (1998) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกของเมล็ดยางพาราและเปลือกของเมล็ดปาล์มโดยกระบวนการต่างๆ ดังนี้ คือ กระบวนการใช้กรด กระบวนการกระตุ้นด้วยซัลเฟต กระบวนการกระตุ้นด้วยคาร์บอนเนต กระบวนการกระตุ้นด้วยคลอไรด์ กระบวนการโดโลไมต์ และนำผลจากการทดลองมาเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายทั่วไป พบว่าทั้งเปลือกของเมล็ดยางพาราและเปลือกของเมล็ดปาล์มมีความเป็นไปได้ในการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ และยังพบว่าค่าต่างๆของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีค่าสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายทั่วไป คือค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวถ่านกัมมันต์จากเปลือกของเมล็ดยางพารามีค่าร้อยละ 98.45 และถ่านกัมมันต์จากเปลือกของเมล็ดปาล์มมีค่าร้อยละ 98.43 ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายมีค่าร้อยละ 97.09 นอกจากนี้ค่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากเปลือกของเมล็ดยางพารามีค่า 317 ตารางเมตรต่อกรัม และถ่านกัมมันต์จากเปลือกของเมล็ดปาล์มมีค่า 348 ตารางเมตรต่อกรัม ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายมีค่าพื้นที่ผิวเท่ากับ 296 ตารางเมตรต่อกรัม

Tsai และคณะ (2000) ทำการศึกษาการดูดติดผิวของสีย้อมเฮลิดโดยใช้ Activated Carbon ที่เตรียมจากขานอ้อยและกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 0.5 ชั่วโมง พบว่าพื้นที่ผิวของถ่านขานอ้อยเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ของซิงค์คลอไรด์ โดยมีพื้นที่ผิวอยู่ในช่วง 4.86-790 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรโพรงอยู่ในช่วง 0.00334-0.288 และขนาดโพรงเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 14.6-27.5 อังสตรอม และผลการศึกษาจากการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของสีย้อม Acid Orange พบว่าประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่านขานอ้อยเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของซิงค์คลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น และพบว่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สามารถดูดติดผิวได้ดีกว่าที่ 20 องศาเซลเซียส

Beszedits และคณะ (1980) การดูดซับสีดีสเพิร์สจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุลประมาณ 4-5 สัปดาห์ นอกจากนี้สีดีสเพิร์สยังมีความสามารถในการถูกดูดซับต่ำกว่าสีเบสิก เหตุผลคือ สีดีสเพิร์สมักจะเป็นคอลลอยด์ในสารละลายและที่ผิวของคาร์บอนเป็นประจุลบ การดูดซับสีดีสเพิร์สขึ้นอยู่กับตัวทำละลายที่มันละลายอยู่ เช่น สีดีสเพิร์สบลู 64 หากใช้ตัวทำละลายที่มีความเข้มข้น 400 มก/ลิตรเป็นตัวทำละลาย ความสามารถในการดูดซับของมันจะมีค่าใกล้เคียงกับสีเบสิก การเลือกใช้ตัวทำละลายจะมีส่วนช่วยในการเพิ่มอัตราสมดุลและลดเวลาที่เหมาะสมในการเข้าสู่สมดุลลงประมาณ 1 สัปดาห์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงการทดลอง (Experimental Research) ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory Scale) ที่ห้องปฏิบัติการมูลฝอย (Solid Waste Laboratory) หน่วยวิจัยการจัดการของเสียอุตสาหกรรม (Research Unit of Industrial Waste Management) ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีแผนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

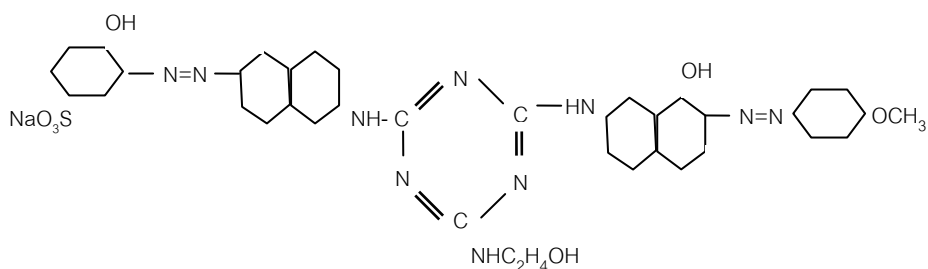
3.1 แผนการทดลอง

การวิจัยนี้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวและประสิทธิภาพของสารดูดติดผิวที่เตรียมจากกากซีเมนต์เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป ในที่นี้เลือกใช้ถ่าน Calgon Filtrasorb 300 (F300) เพื่อกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้สีย้อม 4 ประเภท คือ สีไดเร็กต์ สีรีแอกทีฟ สีดิสเพิร์ส และ สีเอสิด

3.1.1 สีย้อมตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง เป็นสีย้อมตัวอย่างที่นำมาจากโรงงานไทย ไทเรเท็กซ์ไทล์มิลลส์ จำกัด (มหาชน) ดังนี้

1. C.I.Direct Red 243 ชื่อทางการค้า Ever Direct Supra red BWS
2. C.I Reactive Red 231 ชื่อทางการค้า Procion Brill Red H-EGXL
3. C.I.Disperse Red 283 ชื่อทางการค้า Sumikaron Brilliant Bright Red S-BF
4. C.I.Acid Red 360 ชื่อทางการค้า Telon Red AFG

โครงสร้างโมเลกุลของสีย้อมของสีไดเร็กต์ดังรูปที่ 3.1 สำหรับโครงสร้างโมเลกุลสีย้อมประเภทอื่น ๆ ที่นำมาใช้ยังไม่เป็นที่เปิดเผยใน Color Index ของ The Society Of Dyes and Colorists



รูปที่ 3.1 โครงสร้างโมเลกุลสีย้อมของสีไดเร็กต์ (C.I.Direct Red 243)

ที่มา : The Society Of Dyes and Colorists,1987

3.1.2 ขั้นตอนการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.1.2.1. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากซีเมนต์และศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

3.1.2.2 การศึกษาความสามารถและปัจจัยที่มีผลในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

3.1.2.3 การศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านกัมมันต์จากกากซีเมนต์โดยการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ (Column Test)

3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.2.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากซีเมนต์

การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากซีเมนต์เพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป ซึ่งมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้ (รูปที่ 3.2)

- 1) นำกากซีเมนต์มาอบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส
- 2) นำกากซีเมนต์มาตัดให้มีขนาดเล็กประมาณ 0.5 – 1 เซนติเมตร
- 3) นำกากซีเมนต์มาเผาให้ได้ถ่านที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 30 นาที
- 4) นำถ่านที่เตรียมได้ในข้อ 3)ล้างด้วยน้ำกลั่น กรองและผึ่งให้แห้ง
- 5) นำถ่านที่ได้มาแช่ในซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัสดุกับซิงค์คลอไรด์ เท่ากับ 1:1, 1:2, 1:3 ,1:4 และ 1:0 ซึ่งไม่ได้แช่ซิงค์คลอไรด์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 6) กรองถ่านที่ได้จากข้อ 5) และนำไปผึ่งลมให้แห้ง
- 7) นำถ่านที่ได้จากข้อ 6) เข้าสู่กระบวนการกระตุ้นโดยการเผาที่อุณหภูมิ 400 500 และ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เผาในหม้อดินเผาที่ปิดฝาเพื่อให้อยู่ในสภาวะที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน
- 8) หลังจากการเผา นำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาแช่น้ำค้างคืนไว้ 1 คืน แล้วนำมาล้างด้วยน้ำเดือดหลายๆ ครั้ง และล้างด้วย 5% กรดไฮโดรคลอริก เพื่อล้างสารกระตุ้นที่เหลือจากการเผาและติดค้างอยู่บนวัสดุทั้งหมด
- 9) นำถ่านกัมมันต์มาอบให้ละเอียดจนสามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 เมช
- 10) นำถ่านกัมมันต์ที่บดละเอียดไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บไว้ในโถป้องกันความชื้น (Desiccator)

11) นำถ่านที่อบแห้งแล้วไปวิเคราะห์หาค่าไอโอดีน (ASTM,1996) เพื่อหาอัตราส่วนของวัสดุติดอ็อกซิเจนคลอไรด์และอนุกรมการกระตุ้นที่เหมาะสมต่อไป

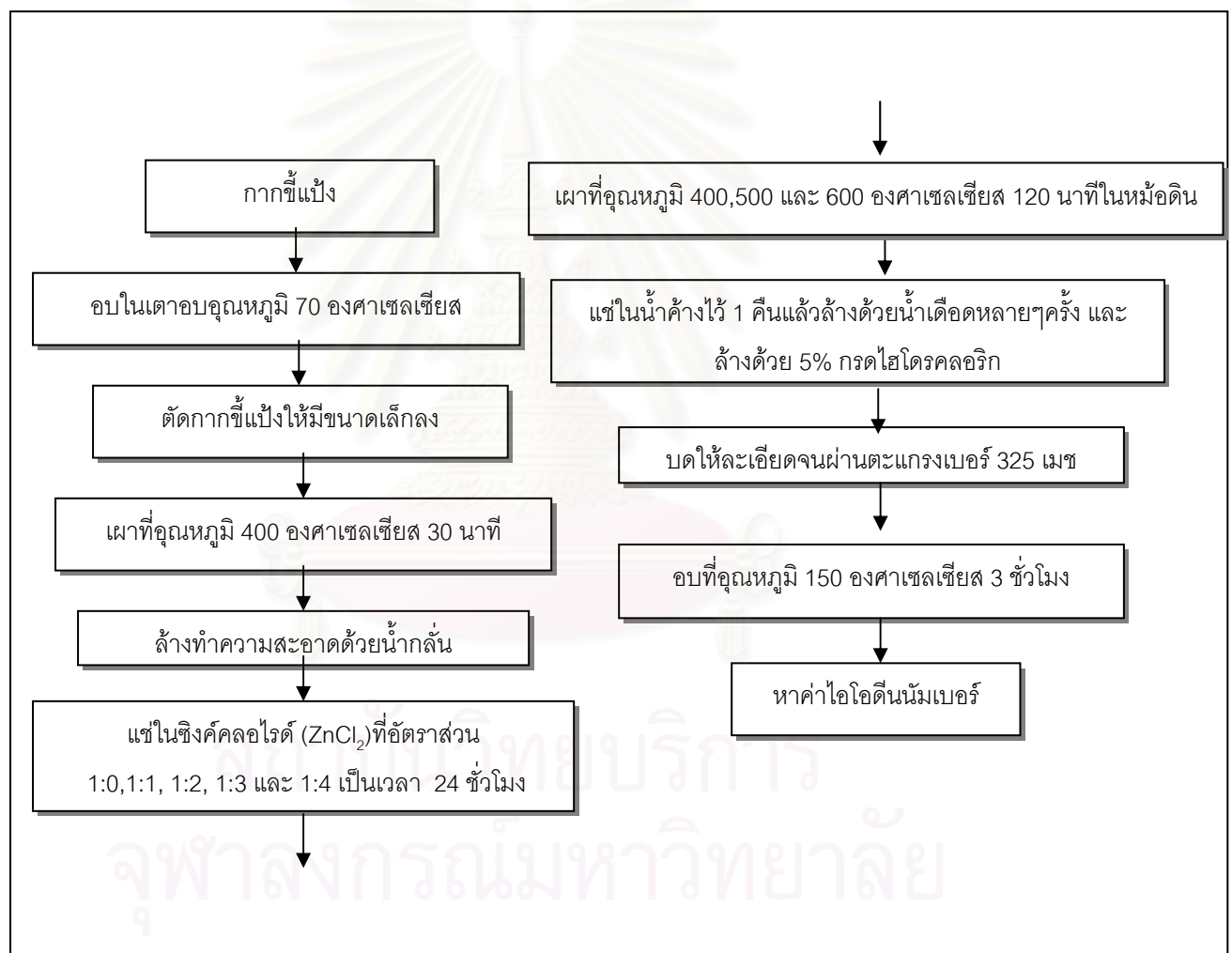
12) ทาร้อยละของผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ (รูปที่ 3.3)

13) ศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ดังต่อไปนี้

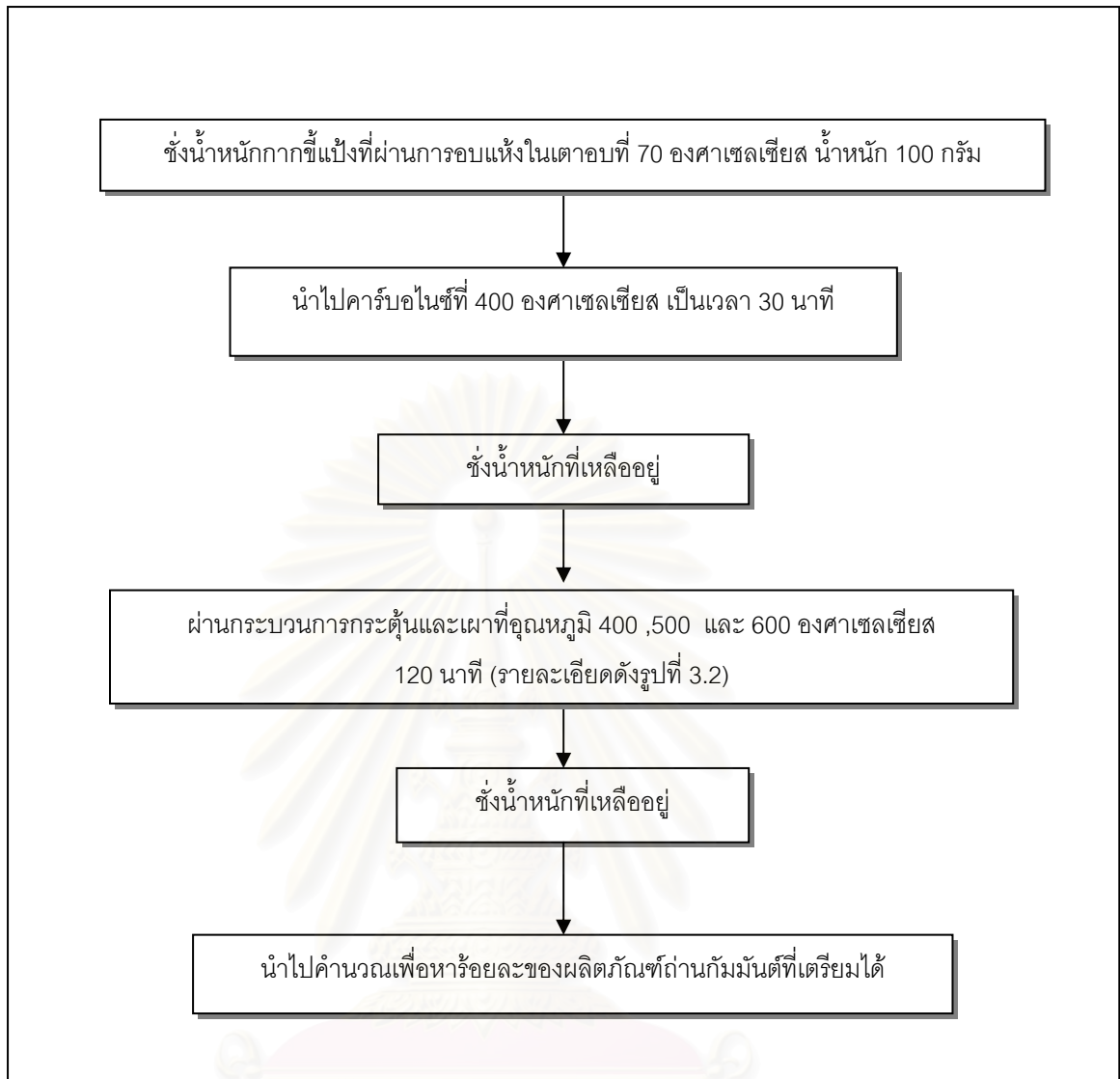
- พื้นที่ผิว (Surface Area) ปริมาตรโพรง (Pore Volume) และขนาดโพรงเฉลี่ย (Average Pore Size)

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Specific Surface Area Analyzer ด้วยวิธี BET(Brunauer

- Emmett - Teller) โดยการวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดเก็บไว้โดยถ่านกัมมันต์



รูปที่ 3.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากชีปะัง



รูปที่ 3.3 การหาร้อยละของผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

3.2.2 การศึกษาความสามารถในการดูดซับไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich Isotherm)

ศึกษาความสามารถในการดูดซับสีข้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านซีกแห้ง และถ่านกัมมันต์ Calgon Filtrasorb 300 ซึ่งเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด โดยทำการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch Test) และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ดังนี้ พีเอช ความเข้มข้นของสีข้อม และปริมาณถ่านกัมมันต์แล้วนำผลที่ได้มาเขียนไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich Isotherm)

3.2.2.1 ผลของพีเอชต่อการดูดติดผิว

- นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย้อมไดเร็กซ์ ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปรับพีเอชให้ เท่ากับ 5, 7 และ 9 ปริมาตร 100 ลบ.ซม. ใส่งในขวดชมพู ขนาด 250 ลบ.ซม. เติมผงถ่านซีแบ่งปริมาณ 1.0 กรัม
- นำขวดไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที
- แยกผงถ่านกัมมันต์ออกโดยการนำไปผ่านกระดาษกรอง Whatman No.40 แล้วนำน้ำเสียไปวัดความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลืออยู่ ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ
- เปลี่ยนชนิดของน้ำเสียเป็นสีรีแอกทีฟ สีดิสเพิร์ส และสีเอสดีความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ต้น
- เปลี่ยนชนิดถ่านเป็นถ่าน Calgon Filtrasorb 300 แล้วทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ต้น

3.2.2.2 ผลของความเข้มข้นของสีย้อม

- นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย้อมไดเร็กซ์ ความเข้มข้น ดังนี้ 250,500,750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชให้เท่ากับค่าพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนแรก ปริมาตร 100 ลบ.ซม. ใส่งในขวดชมพู ขนาด 250 ลบ.ซม. เติมผงถ่านซีแบ่งปริมาณ 1.0 กรัม
- นำขวดไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที
- แยกผงถ่านกัมมันต์ออกโดยการนำไปผ่านกระดาษกรอง Whatman No.40 แล้วนำน้ำเสียไปวัดความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลืออยู่ ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ
- เปลี่ยนชนิดของน้ำเสียเป็นสีดิสเพิร์ส ความเข้มข้น 250,500,750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สีรีแอกทีฟ ความเข้มข้น 250,500,750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และสีเอสดี ความเข้มข้น 250,500,750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แล้วทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ต้น
- เปลี่ยนชนิดถ่านเป็นถ่าน Calgon Filtrasorb 300 แล้วทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ต้น

3.2.2.3 ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์

- นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีข้อมไธเรกท์ความเข้มข้นเท่ากับ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชให้เท่ากับค่าพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนแรก ปริมาตร 100 ลบ.ซม. ใสลงในขวดชมพู ขนาด 250 ลบ.ซม.
- เติมผงถ่านซีแบ่งปริมาณ 0, 0.05, 0.10, 0.20, 0.50, 1.0, 2.0 และ 5.0 กรัม
- นำขวดไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที
- แยกผงถ่านกัมมันต์ออกโดยการนำไปผ่านกระดาษกรอง Whatman No.40 แล้วนำน้ำเสียไปวัดความเข้มข้นของสีข้อมที่เหลือนอยู่ ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ
- เปลี่ยนชนิดของน้ำเสียเป็นสีวีแอกทีฟ สีดีสเพิร์ส และสีเอสดี แล้วทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ต้น
- เปลี่ยนชนิดถ่านเป็นถ่าน Calgon Filtrasorb 300 แล้วทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ต้น
- นำผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสีข้อมที่เหลือนมาเขียนสมการไอโซเทอมการดูด

ติดผิวแบบฟรุนดลิช (Frundlich Isotherm)

3.2.3 การศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านกัมมันต์จากกากซีแบ่งโดยการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ (Column Test)

เนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นผงละเอียด และเพื่อการนำไปใช้งานในการทดสอบแบบต่อเนื่อง จึงได้เพิ่มวัสดุเชื่อมประสาน ในที่นี้เลือกใช้ดินเหนียว โดยมีขั้นตอนในการเตรียมเพิ่มเติมจากการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากซีแบ่งในขั้นตอน 3.2.1 ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะแบ่งการเตรียมเป็น 2 ส่วน คือ การเตรียมถ่านซีแบ่งและการเตรียมดินเหนียว ดังนี้ (รูปที่ 3.4)

การเตรียมถ่านซีแบ่ง

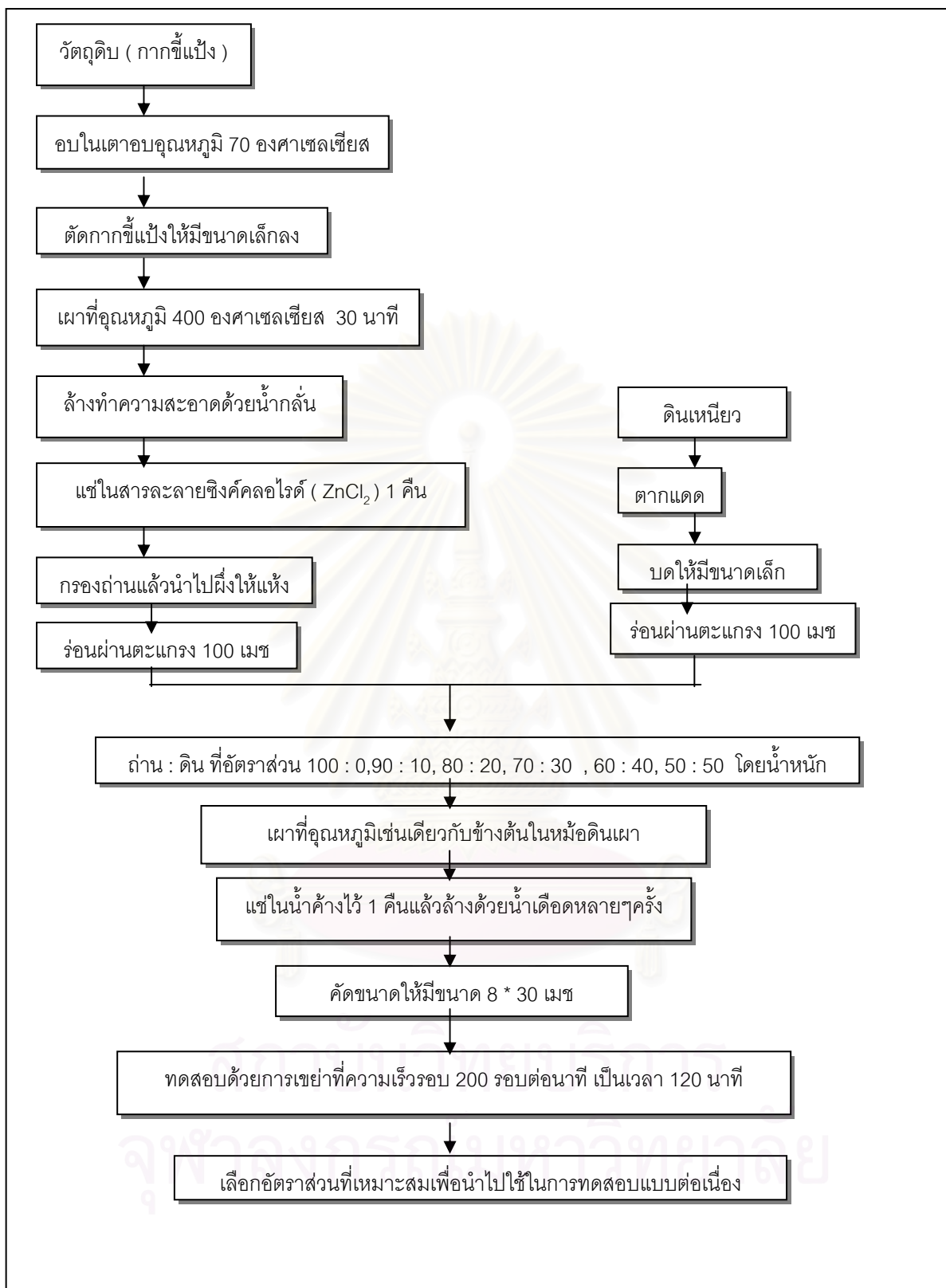
- 1) นำวัตถุดิบ คือ กากซีแบ่งมาอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส
- 2) นำกากซีแบ่งมาตัดให้มีขนาดเล็กประมาณ 0.5 – 1 เซนติเมตร
- 3) นำกากซีแบ่งมาคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
- 4) นำถ่านที่เตรียมได้ในข้อ 3) มาล้างด้วยน้ำกลั่น กรองและผึ่งให้แห้ง
- 5) นำถ่านที่ได้มาแช่ในสารละลายซิงค์คลอไรด์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 6) กรองถ่านที่ได้จากข้อ 5) และนำไปผึ่งลมให้แห้ง
- 7) นำถ่านที่ได้จากข้อ 6) ไปคัดขนาดให้มีขนาด 100 เมช

การเตรียมดินเหนียว

- 1) นำดินเหนียวไปตากแดดให้แห้ง
- 2) นำไปบดให้มีขนาดเล็กแล้วนำไปคัดขนาดให้มีขนาด 100 เมช

การเตรียมถ่านกัมมันต์แบบเม็ด (Granul Activated Carbon)

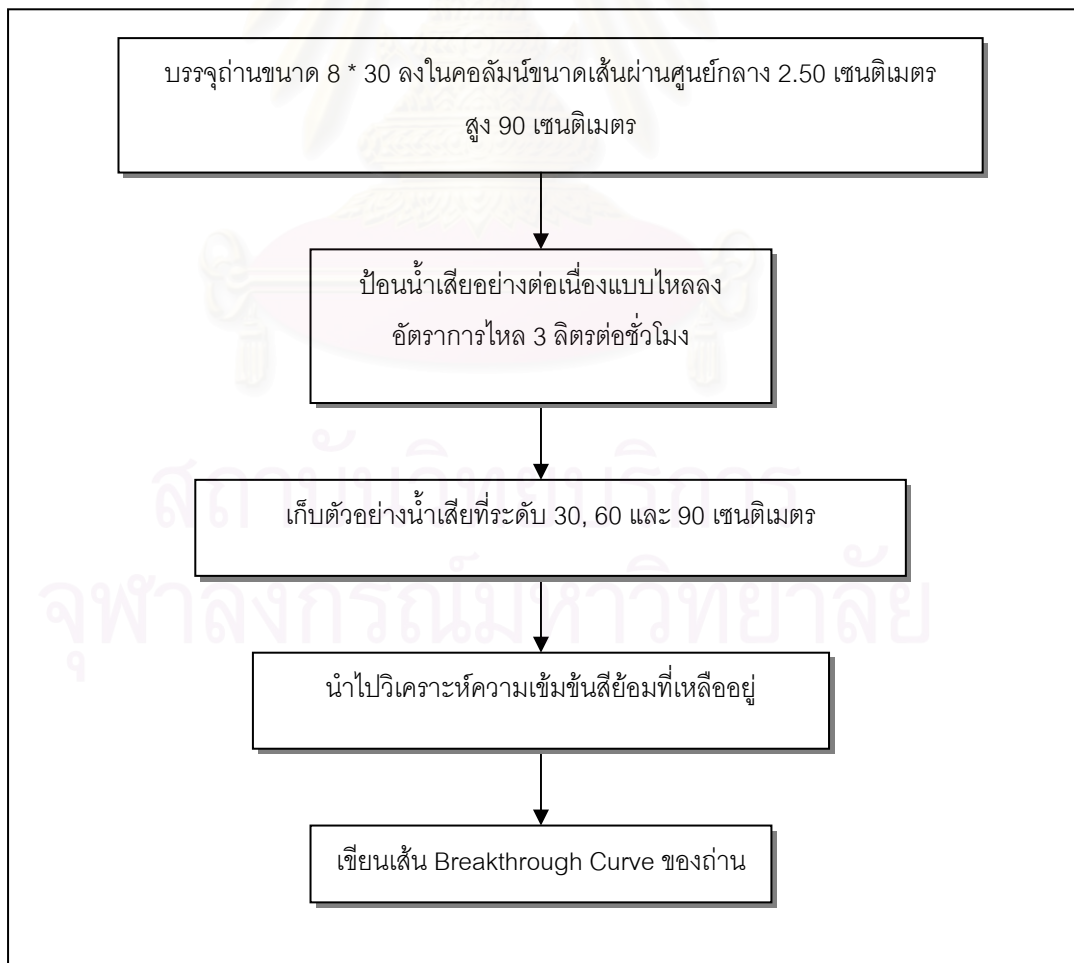
- 1) นำถ่านและดินที่เตรียมได้มาผสมกันที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ดังนี้ คือ น้ำหนักถ่าน : น้ำหนักดิน เป็น 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50
- 2) นำไปอัดเม็ดโดยใช้เครื่องอัดเม็ด
- 3) นำถ่านที่อัดเม็ดแล้วเข้าสู่กระบวนการกระตุ้นโดยการเผาที่อุณหภูมิที่เลือกมาจากข้างต้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการเผาในหม้อดินเผาที่ปิดฝาเพื่อให้อยู่ในสภาวะที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน
- 4) หลังจากการเผา นำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาแช่น้ำค้างคืนไว้ 1 คืน แล้วนำมาล้างด้วยน้ำเดือดหลายครั้ง และล้างด้วย 5% กรดไฮโดรคลอริก เพื่อล้างสารกระตุ้นที่เหลือจากการเผาและติดค้างอยู่บนวัตถุบิเจนหมด
- 5) นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มาคัดขนาดให้มีขนาดระหว่าง 8 * 30 เมช
- 6) แล้วนำไปทดสอบด้วยการเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที
- 7) เลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำหนักถ่าน : น้ำหนักดิน ในการอัดเม็ดโดยดูจากการแตกของถ่านแบบเม็ด
- 8) นำถ่านที่เตรียมได้ไปใช้ในการทดสอบแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 3.4 การเตรียมถ่านกัมมันต์แบบเม็ด

การทดสอบประสิทธิภาพการดูดติดผิวสีข้อมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์มีขั้นตอน ดังนี้

- 1) นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มาคัดขนาดให้อยู่ในช่วง 8*30 เมช คือ สามารถร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 8 เมช และค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐานขนาด 30 เมช
- 2) บรรจุถ่านลงในคอลัมน์ที่เป็นท่ออะคริลิกแบบใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.50 เซนติเมตร สูง 90 เซนติเมตร และมีการเจาะรูเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำเสียระดับความลึกของชั้นถ่านที่ 30, 60, และ 90 เซนติเมตร
- 3) ทำการป้อนน้ำเสียที่มีสีข้อมประเภทต่างความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร เข้าสู่คอลัมน์อย่างต่อเนื่องแบบไหลลง (Down Flow) โดยควบคุมอัตราการไหลที่ 3 ลิตรต่อชั่วโมง
- 4) เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ระดับความลึกของถ่าน 30, 60, และ 90 เซนติเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นสีข้อมที่เหลือ
- 5) นำค่าวิเคราะห์ความเข้มข้นของสีข้อมที่เหลืออยู่มาสร้าง Breakthrough Curve ตามขั้นตอนการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพถ่านโดยใช้การทดลองแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 3.6 คอลัมน์สำหรับการทดลองแบบต่อเนื่อง

3.2.4 การวัดความเข้มข้นของสีย้อมโดยใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

- ทำการสแกนหาความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) ของสีย้อมตัวอย่าง ไดเร็กซ์ รีแอกทีฟ ดิสเพิร์ส เอลิต และน้ำเสียจริงจากโรงงาน
- สร้างเส้นโค้งมาตรฐานของความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)
- วัดความเข้มข้นของตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ สำหรับน้ำเสียจริงจากโรงงาน จะทำการวัดเฉพาะค่าการดูดกลืนแสง

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.3.1 อุปกรณ์สำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์

- 1) ตู้อบความร้อน : WTB Binder. Germany
- 2) เตาเผา : Valcan Box Furnace รุ่น 3-1750. USA
- 3) ภาชนะดินเผาพร้อมฝาปิดขนาด 400 มิลลิลิตร
- 4) ชุดกรองสุญญากาศ
- 5) โถป้องกันความชื้น (Desiccator)
- 6) ตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 8, 30,100 และ 325
- 7) เครื่อง Pellet Mill บริษัท CPM รุ่น NH- 396165 สำหรับอัดเม็ด

3.3.2 อุปกรณ์สำหรับทดลองในห้องปฏิบัติการ

- 1) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง : AND HM-300 Japan
- 2) เครื่องเขย่า (Shaker) ยี่ห้อ K รุ่น VRN-360
- 3) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง : Desktop pH Meter PHL-20, DKK Corporation. Japan
- 4) กระดาษกรอง Whatman No. 40 และ 42
- 5) ชุดเครื่องมือแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่
 - บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
 - ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
 - บีกเกอร์ ขนาด 50,100,500,1000 มิลลิลิตร
 - กรวยแก้ว
 - บีเปต (Volumetric Type) ขนาด 1.0, 2.0, 5.0,10.0,25.0, 50.0,100.0 มิลลิลิตร
 - หลอดหยด
 - แท่งแก้ว

3.3.3 อุปกรณ์วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

- 1) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน : Scanning Electron Microscope (SEM) JEOL, 5800LV Scanning Microscope. Japan
- 2) เครื่องวัดพื้นที่ผิว : Surface Area Analyzer,(Thermo Finnigan,Sorptomatic 1990)

3.3.4 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นสีข้อม

- 1) เครื่อง UV/Visible Spectrophotometer : Helios Alpha , Thermo Electron Corporation

3.3.5 อุปกรณ์ในการทดลองแบบต่อเนื่อง (Column Test)

- 1) ท่ออะคริลิกใส เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.50 เซนติเมตร สูง 90 เซนติเมตร
- 2) ถังเก็บน้ำ และ สายยาง
- 3) ป้อนน้ำ

3.3.6 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

- 1) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 5 % โดยน้ำหนัก
- 2) สารละลายน้ำแป้ง (Soluble Starch)
- 3) สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 0.100 N
- 4) สารละลายไอโอดีน 0.1000 ± 0.001 N
- 5) สารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (KIO_3) 0.1000 N
- 6) โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 0.10 ± 0.01 N
- 7) โปตัสเซียมไอโอไดน์ (KI)
- 8) ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากซีเมนต์ของโรงงานน้ำยางข้นและการหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์

กากซีเมนต์จากโรงงานน้ำยางข้นที่นำมาใช้จะทำการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการเตรียมก่อนเข้าสู่กระบวนการทำให้เป็นถ่าน (Carbonize) และจะทำให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นจะนำถ่านที่ผ่านการทำให้เป็นถ่านล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อล้างน้ำมันดินและสิ่งตกค้างออก ผึ่งให้แห้ง แล้วใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

4.1.1 ผลของอัตราส่วนสารกระตุ้นต่อวัตถุดิบและอุณหภูมิในกระบวนการกระตุ้นโดยพิจารณาจากค่าไอโอดีนนัมเบอร์

เมื่อได้ถ่านที่แล้ว จะนำไปแช่ในสารกระตุ้น คือซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อสารกระตุ้น 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:0 ซึ่งไม่ได้แช่ซิงค์คลอไรด์ จากนั้นนำทุกๆอัตราส่วนไปกระตุ้นโดยการเผาที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงล้างสารกระตุ้นที่เหลือออกด้วยการล้างน้ำเดือดหลายๆครั้ง รวมทั้งล้างด้วยกรดอ่อน (5% HCl) ซึ่งลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ที่อัตราส่วนต่างๆ จะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามอุณหภูมิ คือที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ลักษณะของถ่านจะเป็นผงละเอียดและมีสีดำสนิท ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ลักษณะถ่านเป็นผงละเอียดและมีสีเทาดำ และที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ลักษณะเป็นเถ้า ขนาดใหญ่กว่าที่ 400 และ 500 องศาเซลเซียส และมีสีเทา จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มาบดให้ละเอียดจนสามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 เมช เพื่อนำไปหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ต่อไป โดยได้ผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.1

เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ถ่านแล้วจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยประสิทธิภาพของถ่านที่ได้จะพิจารณาจากค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (ASTM , 1996)

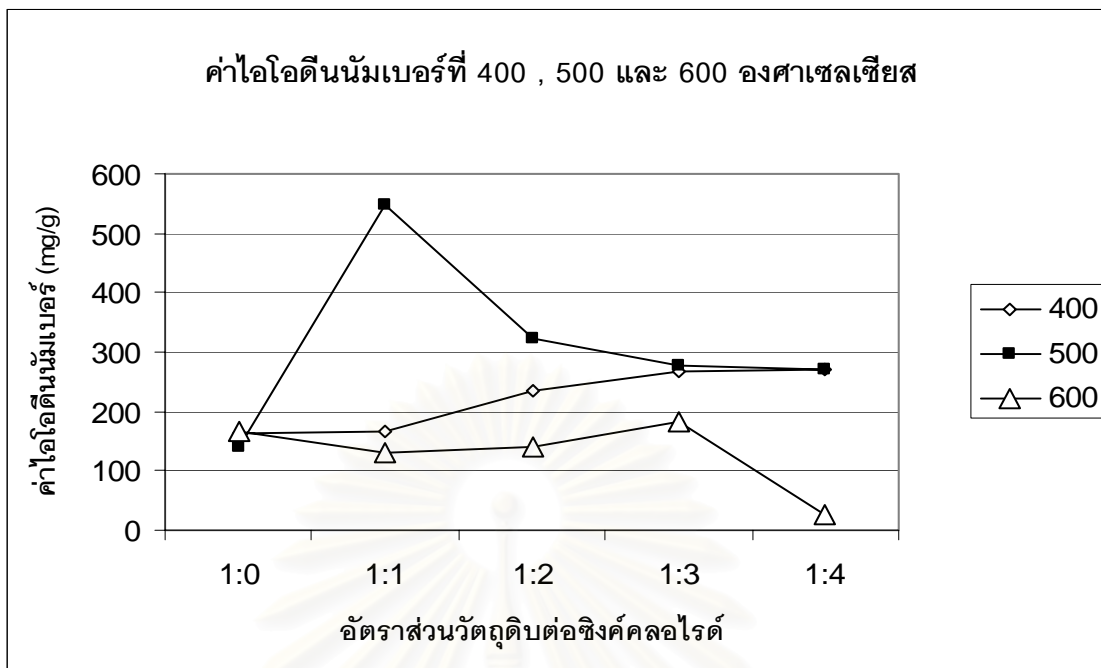
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนมเบอร์

ตัวอย่างถ่าน	ค่าไอโอดีนนมเบอร์ (มก./ก.)		
	400 ° C	500 ° C	600 ° C
1:0	164.38 ± 1.86	139.79 ± 2.36	167.54 ± 2.36
1:1	164.71 ± 3.48	547.31 ± 3.18	129.17 ± 3.47
1:2	234.01 ± 2.73	322.83 ± 3.60	140.39 ± 3.43
1:3	267.67 ± 2.49	278.53 ± 3.08	184.07 ± 2.95
1:4	270.57 ± 2.68	272.18 ± 2.57	25.80 ± 1.13

การพิจารณาเลือกถ่านที่เหมาะสมจากการหาค่าการดูดซับไอโอดีนนั้น ค่าการดูดซับไอโอดีนจะแสดงถึงความสามารถในการดูดติดผิว โดยถ่านที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าจะมีความสามารถในการดูดติดผิวได้ดีกว่าถ่านที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนต่ำ ผลการหาค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านที่สภาวะอุณหภูมิการกระตุ้นต่างๆ ดังรูปที่ 4.1

จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนของสารกระตุ้นที่มีผลต่อค่าไอโอดีนนมเบอร์พบว่า ที่สภาวะการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ค่าไอโอดีนนมเบอร์เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนวัตุดิบต่อสารกระตุ้นที่เพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ค่าไอโอดีนนมเบอร์ลดลงตามอัตราส่วนวัตุดิบต่อสารกระตุ้นที่เพิ่มขึ้น แต่มากกว่าที่ไม่ได้ใส่สารกระตุ้น ($ZnCl_2$) ทั้งนี้เนื่องจากที่สภาวะอุณหภูมินี้ การใช้สารกระตุ้นมากเกินไปจะทำให้รูพรุนของถ่านมีขนาดใหญ่ ส่งผลให้พื้นที่ในการดูดติดผิวลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของรัชนก แซ่เจน (2541) สำหรับที่สภาวะอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ค่าไอโอดีนนมเบอร์เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนวัตุดิบต่อสารกระตุ้นที่เพิ่มขึ้น แต่ที่อัตราส่วน 1:4 มีค่าไอโอดีนนมเบอร์น้อยที่สุด เนื่องจากการใส่สารกระตุ้นมากและกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงเกินไปทำให้ถ่านที่ผลิตได้กลายเป็นถ่านแทน เพราะลักษณะทางกายภาพของถ่านที่สามารถมองเห็นได้ มีขนาดใหญ่และมีสีเทาซึ่งเป็นลักษณะของถ่านนั่นเอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 ค่าไอโอดีนนมเบอร์โดยน้ำหนักวัตถุบต่อซิงค์คลอไรด์ที่อัตราส่วนและอุณหภูมิต่างๆ

เมื่อพิจารณาถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าไอโอดีนนมเบอร์ จากหลายงานวิจัยพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าไอโอดีนเพิ่มขึ้น คือมีความสามารถในการดูดติดผิวดีขึ้น (มานัด แก้วถาวร, 2537) ผลการทดลองสำหรับถ่านซีเป้่งนั้นพบว่า ที่ทุกๆอัตราส่วนของการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 400 และ 500 องศาเซลเซียส ค่าไอโอดีนนมเบอร์เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ค่าไอโอดีนนมเบอร์น้อยกว่าทั้งที่อุณหภูมิ 400 และ 500 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิสูงเกินไปทำให้เกิดการสูญเสียคาร์บอนเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ปริมาณของถ่านในถ่านกัมมันต์เพิ่มมากขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนจึงลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Singh,J.(1976)

สำหรับผลของใช้สารกระตุ้น พบว่าการเตรียมถ่านซีเป้่งโดยใช้ซิงค์คลอไรด์ให้ค่าไอโอดีนนมเบอร์ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการดูดติดผิวดีกว่าการเตรียมโดยใช้เกลือแกงเพียงเล็กน้อย คือการเตรียมโดยใช้เกลือแกงให้ค่าไอโอดีนนมเบอร์เท่ากับ 510 มิลลิกรัมต่อกรัม (ปนัดดา คำรัตน์ , 2545) ดังนั้นจึงเลือกถ่านซีเป้่งที่อัตราส่วนวัตถุบต่อสารกระตุ้น 1:1 และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ไปใช้ในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากให้ค่าไอโอดีนนมเบอร์สูงที่สุด คือ 547.31 ± 3.18 มิลลิกรัมต่อกรัม

4.1.2 ร้อยละผลิตภัณท์ของถ่านซีแป้ง

ผลการทดลองเมื่อกากซีแป้งได้ผ่านการคาร์บอนไนซ์แล้วจะได้ผลผลิตจากขั้นตอนของการทำให้เป็นถ่านเท่ากับร้อยละ 62.48 เมื่อเผากระตุ้นและล้างสารกระตุ้นเรียบร้อยแล้วได้ผลร้อยละผลิตภัณท์ (% yield) ของถ่านซีแป้งดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ร้อยละผลิตภัณท์ของถ่านซีแป้ง

ตัวอย่างถ่าน	ร้อยละผลิตภัณท์ (%)		
	400 °C	500 °C	600 °C
1:0	48.79	48.00	42.49
1:1	37.15	20.81	33.84
1:2	34.02	28.39	24.10
1:3	24.62	39.07	25.68
1:4	23.29	41.91	19.72

จากผลร้อยละของผลิตภัณท์ถ่านซีแป้งพบว่าที่การเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ร้อยละของผลิตภัณท์ถ่านซีแป้งอยู่ในช่วงร้อยละ 23.29-48.79 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ร้อยละของผลิตภัณท์ถ่านซีแป้งอยู่ในช่วงร้อยละ 19.72-42.49 ซึ่งที่ทั้งสองอุณหภูมิข้างต้น ร้อยละของผลิตภัณท์มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มสารกระตุ้น ส่วนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ร้อยละของผลิตภัณท์ถ่านซีแป้งอยู่ในช่วงร้อยละ 20.81-48.00 และร้อยละของผลิตภัณท์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสารกระตุ้น ทั้งนี้ถ้าพิจารณาพร้อมกับค่าไอโอดีนนัมเบอร์พบว่าตัวอย่างถ่านโดยส่วนใหญ่มีค่าร้อยละของผลิตภัณท์แปรผกผันกับค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ซึ่งหมายถึงเมื่อถ่านมีความสามารถในการดูดซับมาก การผลิตถ่านนั้นจะได้ร้อยละของผลิตภัณท์น้อยลง

4.1.3 ลักษณะทางกายภาพของถ่านซีแป้ง

การศึกษาลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของถ่านกัมมันต์ คือ พื้นที่ผิว (Surface Area) ปริมาตรความพรุน (Pore Volume) และขนาดโพรงเฉลี่ย (Average Pore Size) ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Specific Surface Area Analyzer ด้วยวิธี BET (Brunauer – Emmett – Teller) (ASTM, 1977) ได้ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของถ่านซีแ่งเปรียบเทียบกับถ่าน F300

ลักษณะทางกายภาพ	ถ่านกัมมันต์ Calgon Filtrasorb 300	ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากซีแ่งโดยใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้น	ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากซีแ่งโดยใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นสารกระตุ้น *
ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (มก./ก.)	891.25	547.31	510.24
พื้นที่ผิว (ตร.ม./กรัม)	955.70	583.54	566.39
ปริมาตรโพรง (ลบ.ซม./กรัม)	0.496	0.142	0.081
ขนาดโพรงเฉลี่ย (อังสตรอม)	20.73	40.38	47.29

* ปอนด์ดา คาร์บอน, 2545

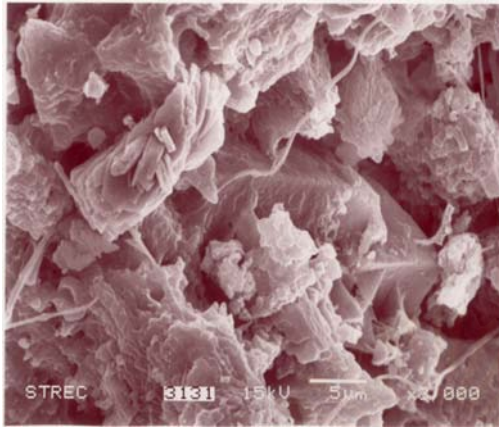
จากตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญซึ่งจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ คือ พื้นที่ผิวและปริมาตรโพรง ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดติดผิวโมเลกุลได้มากกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวน้อยกว่า ผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้ คือ พื้นที่ผิวของถ่าน Calgon Filtrasorb 300 มีค่าเท่ากับ 955.70 ตารางเมตรต่อกรัม และพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากซีแ่งเท่ากับ 583.54 ตารางเมตรต่อกรัม

สำหรับปริมาตรโพรงของถ่าน Filtrasorb 300 มีค่าเท่ากับ 0.496 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ของถ่านซีแ่งมีปริมาตรโพรง 0.142 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และมีปริมาตรโพรงมากกว่าถ่านซีแ่งซึ่งเตรียมโดยใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นสารกระตุ้นอยู่ 1.75 เท่า

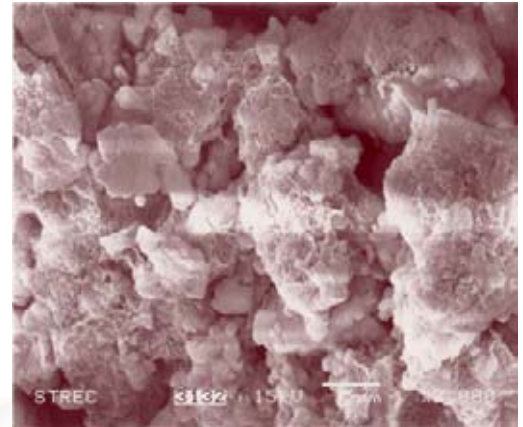
ขนาดโพรงเฉลี่ยของถ่าน Filtrasorb 300 มีค่าเท่ากับ 20.73 อังสตรอม และของถ่านซีแ่งเท่ากับ 40.38 อังสตรอม ซึ่งการเตรียมถ่านซีแ่งโดยใช้ซิงค์คลอไรด์ให้ขนาดโพรงเฉลี่ยเล็กกว่าการเตรียมโดยใช้โซเดียมคลอไรด์อยู่เล็กน้อย

จากผลในตารางที่ 4.3 ถ่าน Filtrasorb 300 มีพื้นที่ผิวและปริมาตรโพรง มากกว่าถ่านซีแ่งอยู่ 1.64 เท่า และ 3.49 เท่า ตามลำดับ ดังนั้นถ่านซีแ่งจึงยังมีความสามารถในการดูดติดผิวได้น้อยกว่าถ่าน Filtrasorb 300

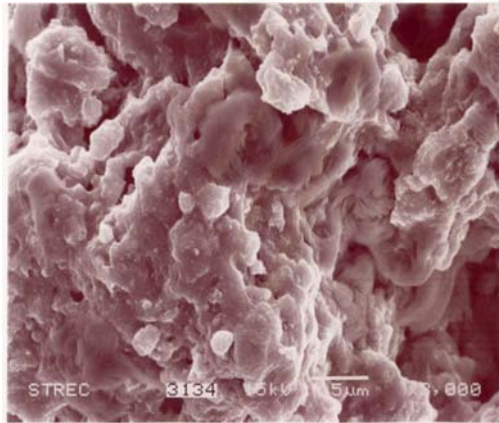
เมื่อนำถ่านซีแ่งไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope : SEM) จะได้ผลดังรูปที่ 4.2



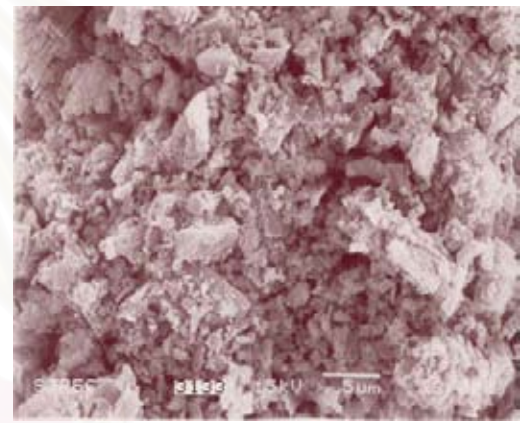
ก. กากซีเมนต์ผ่านการอบแห้ง



ข. กากซีเมนต์ผ่านการเผาให้เป็นถ่าน



ค. ถ่านซีเมนต์เผาในซิงค์คลอไรด์



ง. ถ่านซีเมนต์ที่อัตราส่วน 1:1

เผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.2 ภาพขยาย 3000 เท่าส่งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope : SEM) ของถ่านซีเมนต์ที่ขั้นตอนต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 วัตถุประสงค์คือกากซีเมนต์เมื่ออบแห้งแล้ว (รูป 4.2 ก.) จะมีลักษณะเป็นแท่งพื้นผิวค่อนข้างเรียบ กากซีเมนต์ผ่านการคาร์บอนไนซ์ (รูป 4.2 ข.) พื้นผิวจะมีลักษณะขรุขระและมีรูพรุนมากขึ้น เมื่อนำมาเผาในซิงค์คลอไรด์ (รูป 4.2 ค.) ซิงค์คลอไรด์จะเข้าไปแทรกตัวอยู่ในรูพรุนที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ ทำให้วัตถุประสงค์มีลักษณะของตัวมากขึ้น และเมื่อเผากระตุ้นและล้างสารกระตุ้นออก จะได้ผลิตภัณฑ์ถ่านซีเมนต์ (รูป 4.2 ง.) ซึ่งพื้นผิวมีลักษณะขรุขระมากแสดงให้เห็นว่าถ่านมีพื้นที่ผิวมากขึ้นและมีรูพรุนเล็กๆจำนวนมาก

4.2 การศึกษาประสิทธิภาพของถ่านซีแบ่งในการกำจัดสีย้อมประเภทต่างๆเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาถึงความสามารถในการดูดติดผิวรวมถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดติดผิวของถ่านซีแบ่งในการดูดติดผิวสีย้อมทั้ง 4 ประเภท เปรียบเทียบกับถ่าน Calgon Filtrasorb 300 (F300) และทำการทดลองตามมาตรฐาน ASTM D3860-89a.

เนื่องจากปัจจัยพีเอชอาจทำให้มีผลต่อการดูดกลืนแสงของตัวอย่างสีย้อมที่ได้ทำการทดลอง ดังนั้นจึงได้สแกนหาความยาวคลื่นซึ่งให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่พีเอชต่างๆให้ครอบคลุมค่าพีเอชที่ได้ทำการทดลอง คือ 5, 7 และ 9 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่พีเอชต่างๆ ของสีแต่ละประเภทที่ใช้ทดลองให้ค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ภาคผนวก ข.) ดังนั้นในการทดลองนี้พีเอชจึงไม่มีผลต่อการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง และในการนำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงจะพิจารณาจากค่าพีเอชหลังทำการดูดติดผิวด้วยถ่านแล้ว

4.2.1 การศึกษาปัจจัยพีเอชที่มีผลต่อการดูดติดผิว

โดยนำสีย้อมทั้งสี่ประเภทซึ่งได้แก่ สีไดเร็กซ์ สีรีแอกทีฟ สีดิสเพิร์ส และ สีเอสิต ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชตามค่าต่างๆ ได้แก่ 5, 7 และ 9 มา 100 มิลลิตร ใส่ผงถ่านซีแบ่งลงไป 1.0 กรัม เขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.40 แล้วนำไปวัดความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลืออยู่ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4, 4.5, 4.6 และ 4.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมไโดเร็กทีฟพีเอชต่างๆ

สี-ถ่าน	pH ก่อน	pH หลัง	ความเข้มข้นที่ เหลือ (มก./ล.)	ร้อยละประสิทธิภาพการ กำจัด (%)
ไโดเร็กทีฟ-ซีแบ็ง	5	6.22	186.01	25.60
	7	6.43	194.98	22.01
	9	6.51	199.43	20.23
ไโดเร็กทีฟ-F300	5	7.12	8.26	96.75
	7	7.28	8.22	96.71
	9	7.70	7.03	97.19

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟพีเอชต่างๆ

สี-ถ่าน	pH ก่อน	pH หลัง	ความเข้มข้นที่ เหลือ (มก./ล.)	ร้อยละประสิทธิภาพการ กำจัด (%)
รีแอกทีฟ- ซีแบ็ง	5	6.28	190.21	23.92
	7	6.36	190.53	23.79
	9	6.47	191.66	23.33
รีแอกทีฟ- F300	5	7.65	115.26	53.92
	7	7.80	107.79	56.89
	9	7.92	100.99	59.06

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมดิสเพิร์สที่พีเอชต่างๆ

สี-ถ่าน	pH ก่อน	pH หลัง	ความเข้มข้นที่เหลือ (มก./ล.)	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด (%)
ดิสเพิร์ส- ซีแบ็ง	5	5.74	224.84	10.06
	7	6.00	223.64	10.55
	9	6.18	223.23	10.71
ดิสเพิร์ส- F300	5	7.90	146.11	41.33
	7	8.21	145.22	41.91
	9	8.22	144.04	42.38

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเอลิตที่พีเอชต่างๆ

สี-ถ่าน	pH ก่อน	pH หลัง	ความเข้มข้นที่เหลือ (มก./ล.)	ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด (%)
เอลิต-ซีแบ็ง	5	6.31	12.61	94.96
	7	6.59	4.58	98.17
	9	6.40	3.94	98.42
เอลิต - F300	5	7.09	2.84	98.87
	7	7.24	2.68	98.93
	9	7.80	2.42	99.02

จากผลการวิเคราะห์ปัจจัยพีเอชที่มีผลต่อการดูดติดผิวของสีย้อม ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวสีไดเร็กซ์ของถ่านซีแบ็งที่พีเอชเริ่มต้น 5, 7 และ 9 เท่ากับร้อยละ 25.56, 22.01 และ 20.23 ตามลำดับ ส่วนของถ่าน F300 เท่ากับร้อยละ 96.75, 96.71 และ 97.19 ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพของถ่านซีแบ็งยังน้อยกว่าถ่าน F300

สำหรับประสิทธิภาพในการดูดติดผิวสีรีแอกทีฟของถ่านซีแบ็งที่พีเอชเริ่มต้น 5, 7 และ 9 เท่ากับร้อยละ 23.92, 23.79 และ 23.33 ตามลำดับ ส่วนของถ่าน F300 เท่ากับร้อยละ 53.92, 56.89 และ 59.06 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวสีดิสเพิร์สของถ่านซีแบ็งที่พีเอชเริ่มต้น 5, 7 และ 9 เท่ากับร้อยละ 10.06, 10.55 และ 10.71 ตามลำดับ ส่วนของถ่าน F300

เท่ากับร้อยละ 41.33, 41.91 และ 42.38 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวสีเอซิดของ ถ่านซีแบ่งที่พีเอชเริ่มต้น 5,7 และ 9 เท่ากับร้อยละ 94.96, 98.18 และ 98.42 ตามลำดับ ส่วน ของถ่าน F300 เท่ากับร้อยละ 98.87, 98.93 และ 99.02 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างสารดูดติดผิว คือ ถ่านซีแบ่งและถ่าน F300 พบว่าถ่านซีแบ่งยังมี ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวสีย้อมทั้ง 4 ประเภท ได้น้อยกว่าถ่าน F300 สำหรับความแตกต่าง มากน้อยขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อม ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของประสิทธิภาพเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพีเอช ประสิทธิภาพของ ถ่านซีแบ่งในการกำจัดสีไดเรกท์และสียรีแอกทีฟ มีแนวโน้มลดลงเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น แต่ไม่แตกต่าง กันมากนัก และในการกำจัดสีดิสเพิร์สและสีเอซิด ประสิทธิภาพในการกำจัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น และไม่แตกต่างกันในระหว่างพีเอชต่างๆเช่นเดียวกัน

สำหรับประสิทธิภาพของถ่าน F300 ในการกำจัดสีไดเรกท์ รีแอกทีฟ ดิสเพิร์ส และเอซิด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันมากนักในระหว่างพีเอชต่างๆ เช่นเดียวกับถ่านซีแบ่ง

เมื่อพิจารณาจากค่าพีเอชหลังจากทำการดูดติดผิวแล้ว พบว่าของถ่านซีแบ่งมีค่าอยู่ ระหว่าง 5.74-6.59 และของถ่าน F300 มีค่าอยู่ระหว่าง 7.09-8.22 ดังนั้นค่าพีเอชที่ได้ยังไม่เกิน ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 5.5-9 (กระทรวงอุตสาหกรรม,2539)

จากผลการทดลองข้างต้นเมื่อพิจารณาปัจจัยของพีเอช พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด สีย้อมทั้งสี่ประเภทของถ่านซีแบ่ง และ ถ่าน F300 ที่พีเอชเริ่มต้น 5, 7 และ 9 มีประสิทธิภาพในการ กำจัดในแต่ละพีเอชไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7 เพื่อนำไปใช้ในการ ทดลองขั้นต่อไป เนื่องจากการศึกษาคุณสมบัติของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอ พบว่าพีเอชส่วนใหญ่ อยู่ในช่วงที่เป็นกลาง รวมถึงน้ำเสียจากขั้นตอนที่ 2 ไปขั้นตอนที่ 3 ซึ่งเป็นน้ำเสียส่วนที่นำมา บำบัดโดยกระบวนการดูดติดผิวด้วยคาร์บอน (Carbon Adsorption)

4.2.2 การศึกษาปัจจัยความเข้มข้นของสีย้อมที่มีผลต่อการดูดติดผิว

ในขั้นตอนนี้จะนำสีย้อมทั้งสี่ประเภทมาทดลอง โดยให้ความเข้มข้นของสีย้อม แต่ละสีเท่ากับ 250, 500, 750 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชให้เหมาะสมตามการ ทดลองข้างต้นคือพีเอช 7 แล้วเติมผงถ่านซีแบ่งและถ่าน F300 ลงไป 1.0 กรัม นำไปเขย่าด้วย ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างมากรองถ่านออก แล้ว นำไปวัดความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลืออยู่ ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.8, 4.9, 4.10, 4.11

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมไคเร็กซ์โดยศึกษาปัจจัยความเข้มข้นของสีย้อม

สี-ถ่าน	ความเข้มข้น (มก./ล.)	pH หลัง	ความเข้มข้นที่เหลือ (มก./ล.)	ร้อยละ ประสิทธิภาพ (%)
ไคเร็กซ์ - ซีแปง	250	5.80	132.24	47.11
	500	5.52	390.82	21.84
	750	5.88	636.84	14.69
	1000	5.86	896.70	10.33
ไคเร็กซ์ - F 300	250	7.88	19.00	92.40
	500	7.23	52.70	89.46
	750	7.43	118.68	84.18
	1000	7.80	277.62	72.24

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟโดยศึกษาปัจจัยความเข้มข้นของสีย้อม

สี-ถ่าน	ความเข้มข้น (มก./ล.)	pH หลัง	ความเข้มข้นที่เหลือ (มก./ล.)	ร้อยละ ประสิทธิภาพ (%)
รีแอกทีฟ- ซีแปง	250	6.32	224.67	10.13
	500	6.01	471.88	5.62
	750	6.26	717.59	4.32
	1000	6.27	960.59	3.94
รีแอกทีฟ- F 300	250	7.79	113.19	54.73
	500	7.51	249.80	50.04
	750	7.65	510.46	31.94
	1000	7.74	711.08	28.89

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมดิสเพิร์สโดยศึกษาปัจจัยความเข้มข้นของสีย้อม

สี-ถ่าน	ความเข้มข้น (มก./ล.)	pH หลัง	ความเข้มข้นที่เหลือ (มก./ล.)	ร้อยละ ประสิทธิภาพ (%)
ดิสเพิร์ส- ซีแปง	250	6.33	239.68	4.13
	500	6.55	464.81	7.04
	750	6.63	684.20	8.77
	1000	6.68	906.66	9.33
ดิสเพิร์ส- F 300	250	6.53	185.26	25.90
	500	6.81	334.61	33.08
	750	6.96	487.18	35.04
	1000	6.82	635.69	36.43

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเอสิดโดยศึกษาปัจจัยความเข้มข้นของสีย้อม

สี-ถ่าน	ความเข้มข้น (มก./ล.)	pH หลัง	ความเข้มข้นที่เหลือ (มก./ล.)	ร้อยละ ประสิทธิภาพ (%)
เอสิด - ซีแปง	250	6.46	4.94	98.01
	500	6.57	104.51	79.10
	750	6.59	295.07	60.66
	1000	6.61	534.55	46.55
เอสิด - F 300	250	7.83	4.18	98.33
	500	7.93	3.14	98.75
	750	7.89	2.94	98.83
	1000	7.92	3.88	98.98

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการดูดติดผิวของถ่านซีแบ่งและถ่าน F300 โดยศึกษาปัจจัยของความเข้มข้นที่มีผลต่อการดูดติดผิวสีย้อม พบว่าประสิทธิภาพการดูดติดผิวของถ่านซีแบ่งและถ่าน F300 ในการดูดติดผิวสีไดเร็กซ์ สีรีแอกทีฟ และประสิทธิภาพการดูดติดผิวของถ่านซีแบ่งในการดูดติดผิวสีเอสดี มีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะการดูดติดผิวของถ่านในระยะแรกอนุภาคสีย้อมจะเข้าไปแทรกอยู่ในบริเวณรูพรุนซึ่งมีอยู่มากบริเวณพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมขึ้นเรื่อยๆ สีย้อมจะจับอยู่ได้แค่เพียงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ โดยมีลักษณะการจับตัวเป็นชั้นๆ ซึ่งจับตัวกันไม่แน่นหรือไม่แข็งแรงมากนัก ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะหลุดออกจากผิวของถ่านกัมมันต์ได้ง่าย สำหรับประสิทธิภาพการดูดติดผิวของถ่านซีแบ่งและถ่าน F300 ในการดูดติดผิวสีดีสเพิร์ส และประสิทธิภาพการดูดติดผิวของถ่าน F300 ในการดูดติดผิวสีเอสดี การดูดติดผิวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้น อาจเนื่องจากสีดีสเพิร์สไม่ละลายน้ำแต่จะมีลักษณะเป็นคอลลอยด์ในน้ำและขนาดอนุภาคของสีดีสเพิร์สอาจใหญ่กว่าขนาดโพรงของถ่านกัมมันต์ ทำให้การดูดติดในระยะแรกสีดีสเพิร์สไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปในรูพรุนของถ่านได้มากนัก แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นอนุภาคสีจะจับตัวกับพื้นผิวของถ่านกัมมันต์เป็นชั้นๆ ได้มากกว่าในระยะแรก และประสิทธิภาพการดูดติดผิวของถ่าน F300 ในการดูดติดผิวสีเอสดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาจากความเข้มข้นเดียวกันในการดูดติดผิวของถ่านซีแบ่งพบว่า ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวสีย้อมแต่ละสี ที่ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ของสีย้อมเอสดีมีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือ สีไดเร็กซ์ สีรีแอกทีฟ และสีดีสเพิร์ส ตามลำดับ สำหรับที่ความเข้มข้น 500 , 750 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร สีย้อมเอสดีมีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือ สีไดเร็กซ์ สีดีสเพิร์ส และสีรีแอกทีฟ และการที่สีเอสดีสามารถถูกดูดติดได้ดีกว่าสีย้อมประเภทอื่นๆ อาจเนื่องมาจากขนาดอนุภาคของสีเอสดีมีความเหมาะสมกับขนาดรูพรุนของถ่านมากกว่า

สำหรับที่ความเข้มข้นเดียวกันในการดูดติดผิวของถ่าน F300 พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวสีย้อมแต่ละสี ที่ความเข้มข้น 250 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวที่ดีที่สุด คือสีเอสดี รองลงมาคือ สีไดเร็กซ์ สีรีแอกทีฟ และสีดีสเพิร์ส ตามลำดับ และที่ความเข้มข้น 750, 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการดูดติดผิวที่ดีที่สุดคือ สีเอสดี รองลงมาคือ สีไดเร็กซ์ สีดีสเพิร์ส และสีรีแอกทีฟ ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาถึงสารดูดติดผิวพบว่าประสิทธิภาพในการดูดติดผิวสีย้อมทั้งสี่ประเภทของถ่านซีแบ่งยังมีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวได้น้อยกว่าถ่าน F300 ในทุกๆ ความเข้มข้น

ดังนั้นในการศึกษาความเข้มข้นของสีย้อมที่มีผลต่อการดูดติดผิว การดูดติดผิวของถ่านซีแบ่งและถ่าน F300 โดยส่วนใหญ่พบว่า สามารถดูดติดผิวสีย้อมได้ดีที่ความเข้มข้นน้อยๆ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้น ความสามารถในการดูดติดผิวจะลดน้อยลง ยกเว้นสีย้อมชนิดดีสเพิร์สที่เมื่อเพิ่ม

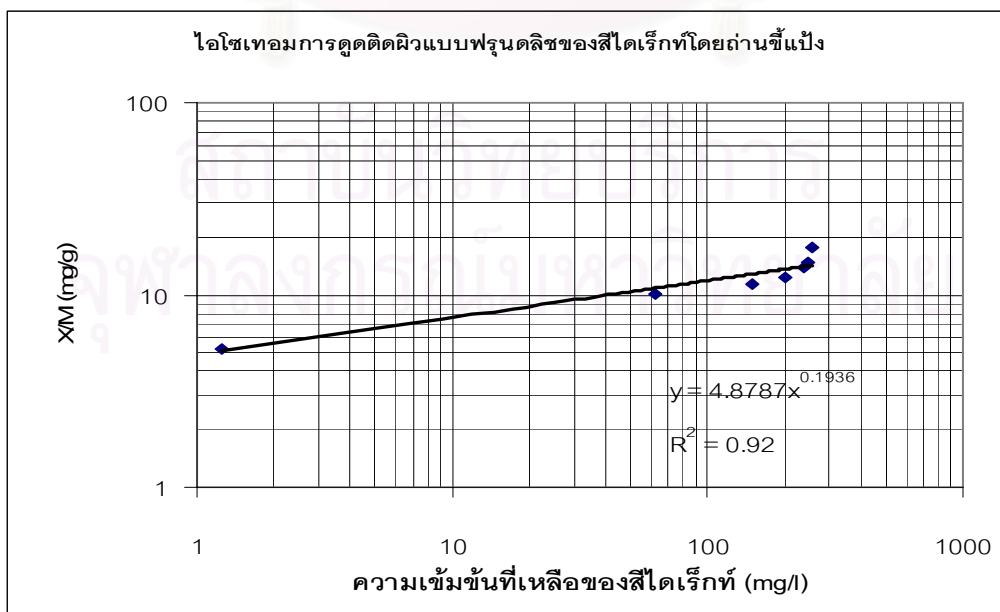
ความเข้มข้นขึ้นความสามารถในการดูดติดผิวยิ่งดีขึ้น แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดสปีดิสเพิร์สก็ยังไม่ดีกว่าสปีดอื่น ๆ

4.2.3 การศึกษาไอโซเทอมการดูดติดผิวสีย้อมของถ่านซีแป้งเปรียบเทียบกับถ่าน F300

ขั้นตอนการศึกษาไอโซเทอมการดูดติดผิวศึกษาโดยใช้สีย้อม ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมผงถ่านตามค่าต่างๆ คือ 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0 และ 5.0 กรัม ทำการทดลองกับสีย้อมทั้งสี่ประเภท ใช้ถ่านซีแป้งและถ่าน F300 ผลการทดลองของถ่านซีแป้งดังตารางที่ 4.12-4.15 และ รูปที่ 4.3-4.6

ตารางที่ 4.12 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านซีแป้งในการดูดติดผิวสีย้อมไดเร็กซ์

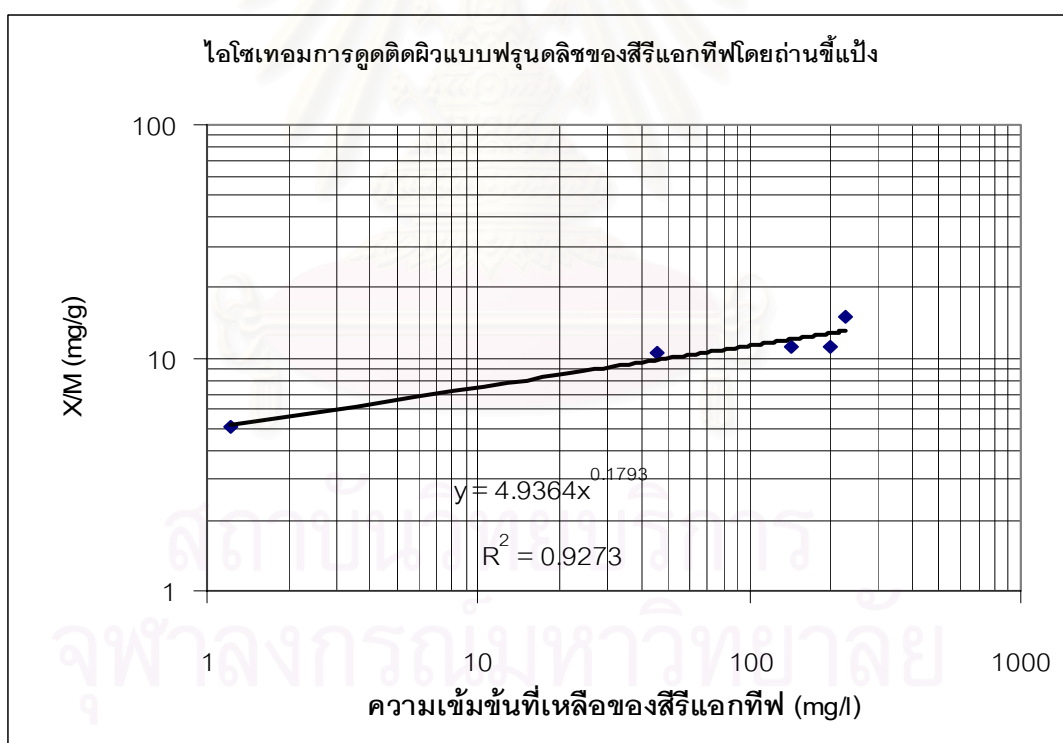
น้ำหนักถ่าน (g)	ความเข้มข้นสีที่เหลือ (mg/L)	C (mg)	X (mg)	X/M (mg/g)
0	264.514	26.451	0.000	-
0.05	255.740	25.574	0.877	17.548
0.1	249.651	24.965	1.486	14.863
0.2	236.585	23.659	2.793	13.965
0.5	202.426	20.243	6.209	12.418
1.0	149.985	14.999	11.453	11.453
2.0	61.990	6.199	20.252	10.126
5.0	1.244	0.124	26.327	5.265



รูปที่ 4.3 ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านซีแป้งในการดูดติดผิวสีย้อมไดเร็กซ์

ตารางที่ 4.13 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านซีแบ่งในการดูดติดผิวสีรีย้อมรีแอกทีฟ

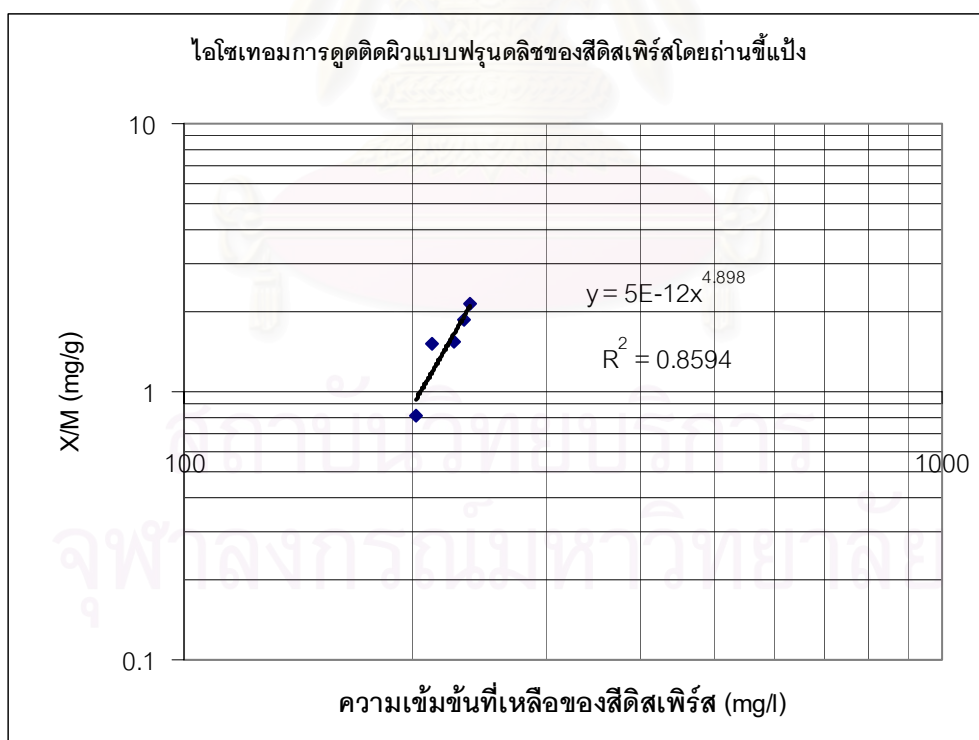
น้ำหนักถ่าน (g)	ความเข้มข้นสีที่เหลือ (mg/L)	C (mg)	X (mg)	X/M (mg/g)
0	254.720	25.472	0.000	-
0.05	252.387	25.239	0.233	4.666
0.1	228.745	22.875	2.598	25.975
0.2	224.554	22.455	3.017	15.083
0.5	198.473	19.847	5.625	11.249
1.0	143.491	14.349	11.123	11.123
2.0	45.347	4.535	20.937	10.469
5.0	1.235	0.124	25.349	5.070



รูปที่ 4.4 ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านซีแบ่งในการดูดติดผิวสีรีย้อมรีแอกทีฟ

ตารางที่ 4.14 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านซีแบ่งในการดูดติดผิวสีย้อมดิสเพิร์ส

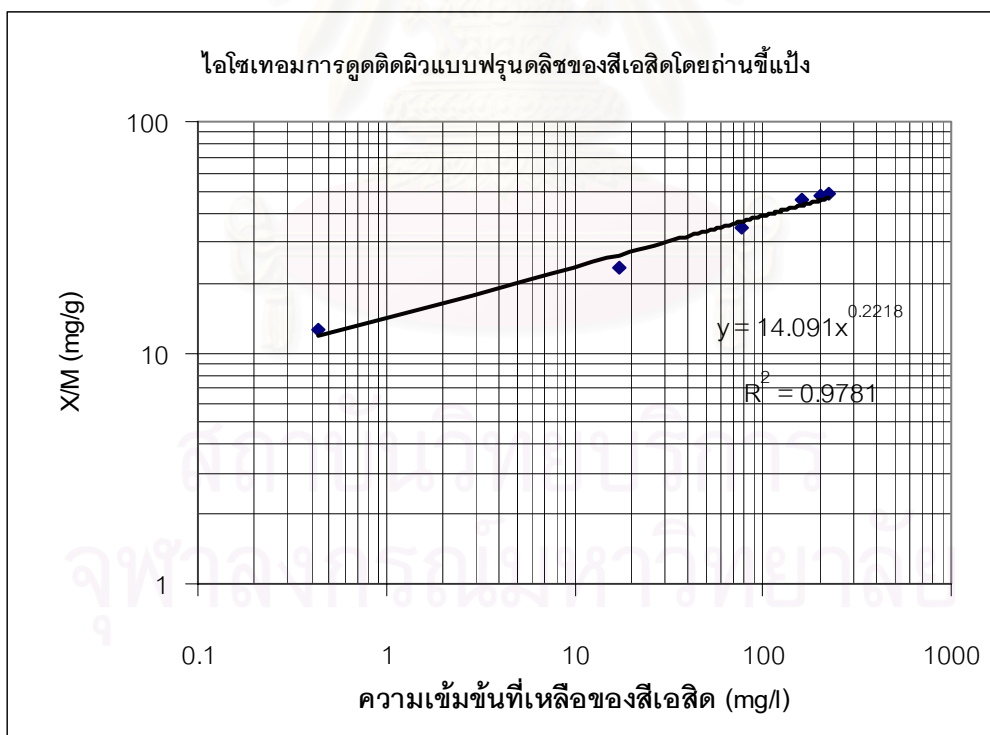
น้ำหนักถ่าน (g)	ความเข้มข้นสีที่เหลือ (mg/L)	C (mg)	X (mg)	X/M (mg/g)
0	243.095	24.310	0.000	-
0.05	240.366	24.037	0.273	5.458
0.1	239.744	23.974	0.335	3.351
0.2	238.860	23.886	0.424	2.118
0.5	233.834	23.383	0.926	1.852
1.0	227.694	22.769	1.540	1.540
2.0	212.986	21.299	3.011	1.505
5.0	202.222	20.222	4.087	0.817



รูปที่ 4.5 ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านซีแบ่งในการดูดติดผิวสีย้อมดิสเพิร์ส

ตารางที่ 4.15 การทดสอบไอโซเทอมแบบพหุนคติของถ่านซีแบ่งในการดูดติดผิวสีย้อมเอลิต

น้ำหนักถ่าน (g)	ความเข้มข้นสีที่เหลือ (mg/L)	C (mg)	X (mg)	X/M (mg/g)
0	250.411	25.041	0.000	-
0.05	225.986	22.599	2.443	48.850
0.1	202.638	20.264	4.777	47.773
0.2	158.919	15.892	9.149	45.746
0.5	77.471	7.747	17.294	34.588
1.0	17.437	1.744	23.297	23.297
2.0	0.441	0.044	24.997	12.499
5.0	-1.596	-0.160	25.201	5.040



รูปที่ 4.6 ไอโซเทอมแบบพหุนคติของถ่านซีแบ่งในการดูดติดผิวสีย้อมเอลิต

ในการศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวโดยใช้สมการพหุนดลชีไอโซเทอมมาอธิบาย ซึ่งสมการ คือ $X/M = kC^{1/n}$ หรือ $\log X/M = \log k + (1/n)\log C$ ความสามารถในการดูดติดผิวสีย้อมสามารถพิจารณาได้จากค่า X/M ซึ่งเป็นปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดติดผิวต่อน้ำหนักถ่านที่ใช้ โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์ที่มีเส้นไอโซเทอมการดูดติดผิวที่อยู่เหนือเส้นอื่นจะมีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวได้ดีกว่า ดังนั้นประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิด สามารถใช้ค่าคงที่ k และ $1/n$ ที่ได้จากสมการ โดยที่ $\log k$ เป็นจุดตัดแกน y และ $1/n$ เป็นค่าความชัน มาอธิบายได้

ตารางที่ 4.16 สมการความสัมพันธ์และค่าคงที่ไอโซเทอมแบบพหุนดลชีของถ่านซีแ่ง

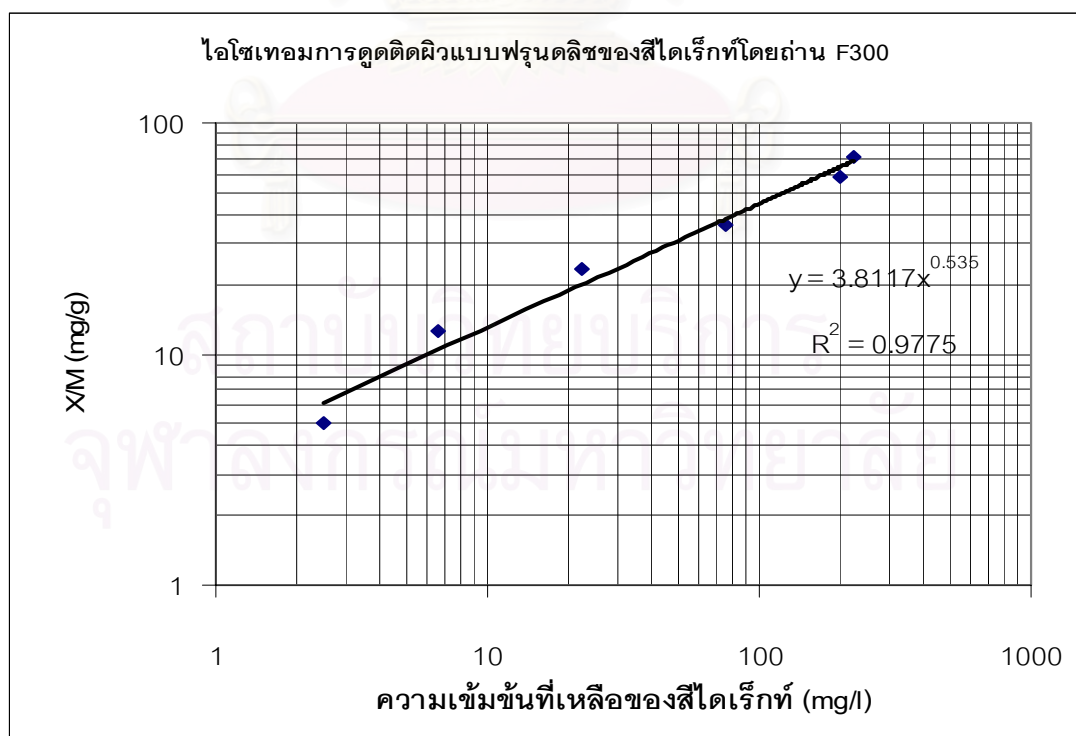
สี	สมการ	R^2	k	$1/n$
ไดเร็กซ์	$y = 4.88x^{0.19}$	0.92	4.88	0.19
รีแอกทีฟ	$y = 4.94x^{0.18}$	0.93	4.94	0.18
ดิสเพิร์ส	$y = 5E-12x^{4.90}$	0.86	5E-12	4.90
เอสดี	$y = 14.09x^{0.22}$	0.98	14.09	0.22

จากข้อมูลในตารางที่ 4.16 เป็นการทดลองศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวสีย้อมทั้งสี่ประเภทโดยใช้ถ่านซีแ่งพบว่า ค่า k ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการดูดติดผิวของสีเอสดีมีค่าสูงสุด คือ 14.09 แสดงว่าถ่านซีแ่งมีความสามารถในการดูดติดผิวสีเอสดีได้สูงสุด รองลงมาคือ สีรีแอกทีฟ สีไดเร็กซ์ และสีดิสเพิร์ส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.94, 4.88 และ 5×10^{-12} ตามลำดับ สีเอสดีสามารถถูกดูดติดผิวได้สูงสุดอาจเนื่องจากสีเอสดีมีขนาดอนุภาคมีความเหมาะสมกับขนาดของรูพรุนของถ่าน และสำหรับสีดิสเพิร์สซึ่งสามารถถูกดูดติดผิวโดยถ่านซีแ่งได้น้อยมาก เนื่องจากสีดิสเพิร์สมีลักษณะเป็นคอลลอยด์อยู่ในน้ำ ทำให้ไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปในรูพรุนของถ่านซีแ่งได้มากนัก สำหรับค่า $1/n$ ของสีไดเร็กซ์ รีแอกทีฟ ดิสเพิร์ส และเอสดี เท่ากับ 0.19, 0.18, 4.90 และ 0.22 ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นว่า ค่า $1/n$ ของสีดิสเพิร์สมีค่าสูงกว่าของสีอื่นๆมาก แสดงว่าความเข้มข้นของสีมีอิทธิพลต่อการดูดติดผิว คือ สีดิสเพิร์สสามารถถูกดูดติดผิวได้ดีเฉพาะที่ความเข้มข้นสูงๆเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองข้างต้นเนื่องจากในการดูดติดผิวสีดิสเพิร์สโดยใช้ถ่านซีแ่งและถ่าน F 300 ประสิทธิภาพจะเริ่มดีขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้น และถ่านซีแ่งจะมีประสิทธิภาพสูงในการดูดติดผิวสีดิสเพิร์สเมื่อนำไปใช้ในระบบสัมผัส

สำหรับผลการทดลองไอโซเทอมการดูดติดผิวสีเขียวของถ่าน F300 ดังตารางที่ 4.17-4.20 และรูปที่ 4.7-4.10

ตารางที่ 4.17 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่าน F300 ในการดูดติดผิวสีเขียวไคเร็กซ์

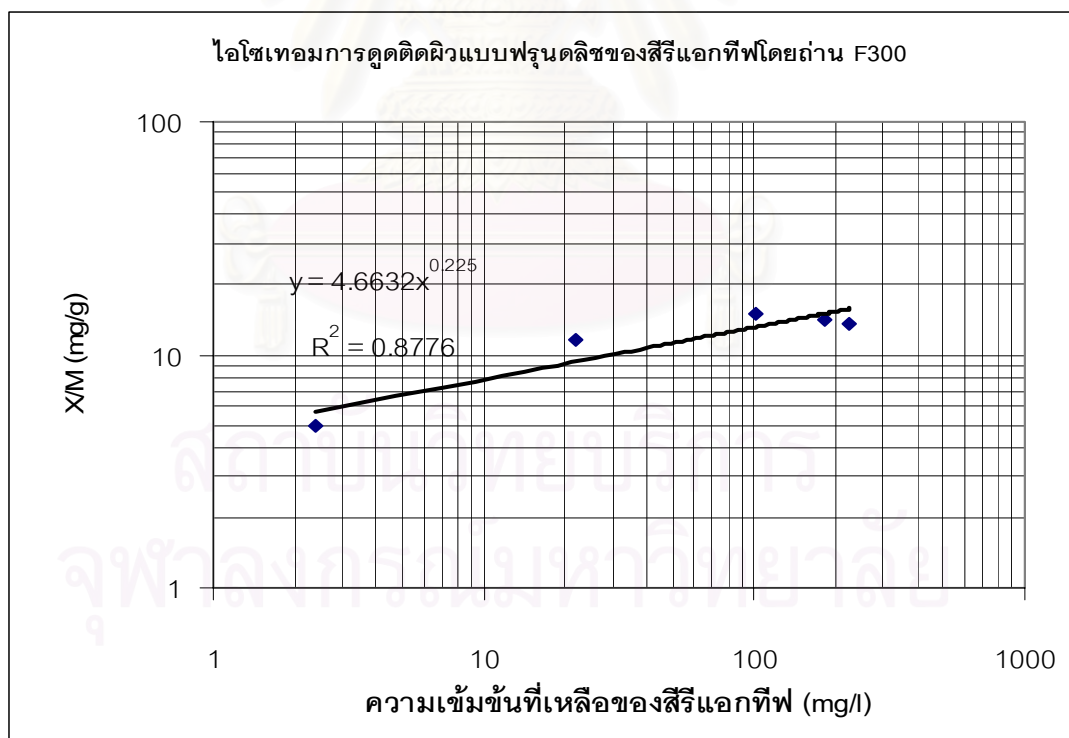
น้ำหนักถ่าน (g)	ความเข้มข้นสีที่เหลือ (mg/L)	C (mg)	X (mg)	X/M (mg/g)
0	255.857	25.586	0.000	-
0.05	220.412	22.041	3.545	70.89
0.1	197.809	19.781	5.805	58.048
0.2	184.010	18.401	7.185	35.924
0.5	75.365	7.537	18.049	36.098
1.0	22.125	2.213	23.373	23.373
2.0	6.594	0.659	24.926	12.463
5.0	2.474	0.247	25.338	5.068



รูปที่ 4.7 ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่าน F 300 ในการดูดติดผิวสีเขียวไคเร็กซ์

ตารางที่ 4.18 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่าน F300 ในการดูดติดผิวสี้อมรีแอกทีฟ

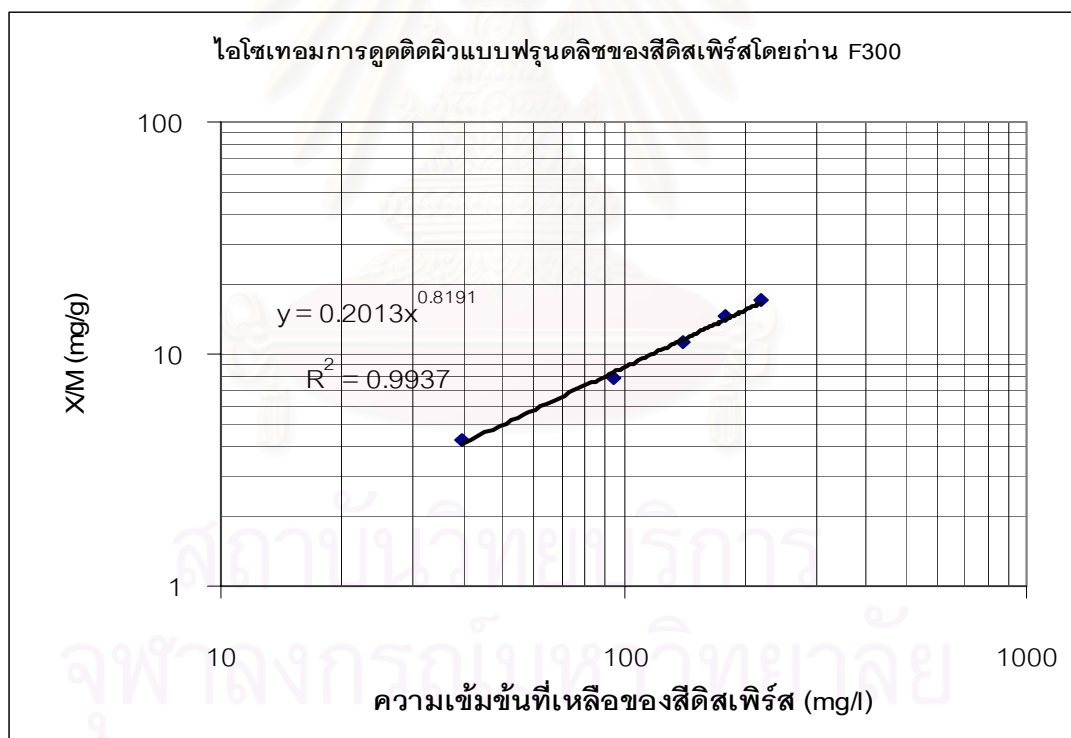
น้ำหนักถ่าน (g)	ความเข้มข้นสีที่เหลือ (mg/L)	C (mg)	X (mg)	X/M (mg/g)
0	252.356	25.236	0.000	-
0.05	247.973	24.797	0.438	8.766
0.1	239.932	23.993	1.242	12.424
0.2	224.961	22.496	2.740	13.698
0.5	182.322	18.232	7.003	14.007
1.0	102.013	10.201	15.034	15.034
2.0	22.005	2.201	23.035	11.518
5.0	2.385	0.239	24.997	4.999



รูปที่ 4.8 ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่าน F 300 ในการดูดติดผิวสี้อมรีแอกทีฟ

ตารางที่ 4.19 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรอนดลิชของถ่าน F300 ในการดูดติดผิวสี้อมดิสเพิร์ส

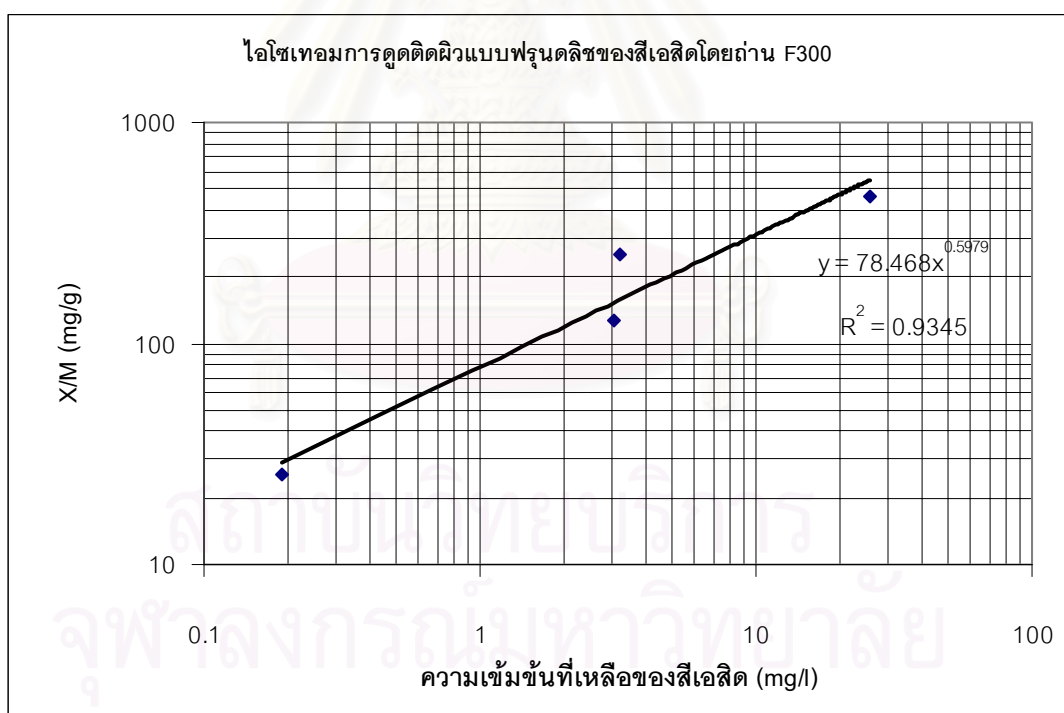
น้ำหนักถ่าน (g)	ความเข้มข้นสีที่เหลือ (mg/L)	C (mg)	X (mg)	X/M (mg/g)
0	252.069	25.207	0.000	-
0.05	227.263	22.726	2.481	49.612
0.1	219.734	21.973	3.234	32.335
0.2	218.133	21.813	3.394	16.968
0.5	179.157	17.916	7.291	14.582
1.0	139.935	13.994	11.213	11.213
2.0	94.879	9.488	15.719	7.860
5.0	39.677	3.968	21.239	4.248



รูปที่ 4.9 ไอโซเทอมแบบฟรอนดลิชของถ่าน F 300 ในการดูดติดผิวสี้อมดิสเพิร์ส

ตารางที่ 4.20 การทดสอบไอโซเทอมแบบพหุนคติของถ่าน F300 ในการดูดติดผิวสี้อมเอสิค

น้ำหนักถ่าน (g)	ความเข้มข้นสีที่เหลือ (mg/L)	C (mg)	X (mg)	X/M (mg/g)
0	257.996	25.800	0.000	-
0.05	21.665	2.167	23.633	472.662
0.1	3.226	0.323	25.477	254.770
0.2	3.055	0.306	25.494	127.471
0.5	3.014	0.301	25.498	50.996
1.0	2.897	0.290	25.510	25.510
2.0	-0.430	-0.043	25.843	12.921
5.0	-1.183	-0.118	25.918	5.184



รูปที่ 4.10 ไอโซเทอมแบบพหุนคติของถ่าน F 300 ในการดูดติดผิวสี้อมเอสิค

ตารางที่ 4.21 สรุปสมการความสัมพันธ์และค่าคงที่ไอโซเทอมแบบพหุนาดลีชของถ่าน F300

สี	สมการ	R ²	k	1/n
ไคเร็กท์	$y = 3.81x^{0.54}$	0.98	3.81	0.54
รีแอกทีฟ	$y = 4.66x^{0.23}$	0.88	4.66	0.23
ดิสเพิร์ส	$y = 0.20x^{0.82}$	0.99	0.20	0.82
เอสิด	$Y = 78.47x^{0.60}$	0.93	78.47	0.60

จากการทดลองศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวสีย้อมทั้งสี่ประเภทโดยถ่าน F 300 พบว่า ค่า k ของเอสิดมีค่าสูงสุด คือ 78.47 แสดงว่าถ่าน F 300 มีความสามารถในการดูดติดผิวสีเอสิดได้สูงสุด รองลงมาคือ สีรีแอกทีฟ สีไคเร็กท์ และ สีดิสเพิร์ส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.66, 3.81 และ 0.20 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า เป็นเช่นเดียวกันกับการดูดติดผิวโดยถ่านซีบั้ง อาจเนื่องจากขนาดอนุภาคของสีเอสิดมีความเหมาะสมกับขนาดของรูพรุนของถ่าน จึงทำให้สามารถถูกดูดติดผิวได้ดีกว่าสีอื่นๆ และเมื่อเปรียบเทียบการดูดติดผิวของถ่านซีบั้งและถ่าน F300 พบว่า ถ่าน F300 สามารถดูดติดผิวสีเอสิด และสีดิสเพิร์สได้ดีกว่าถ่านซีบั้งอยู่ 5.56 และ 4.02×10^{10} เท่าตามลำดับ แต่ถ่านซีบั้งสามารถดูดติดผิวสีไคเร็กท์ และสีรีแอกทีฟ ได้ดีกว่าถ่าน F300 อยู่ 1.28 และ 1.06 เท่าตามลำดับ สำหรับค่า 1/n ของสีไคเร็กท์ สีรีแอกทีฟ สีดิสเพิร์ส และสีเอสิด เท่ากับ 0.54, 0.23, 0.82 และ 0.60 ตามลำดับ

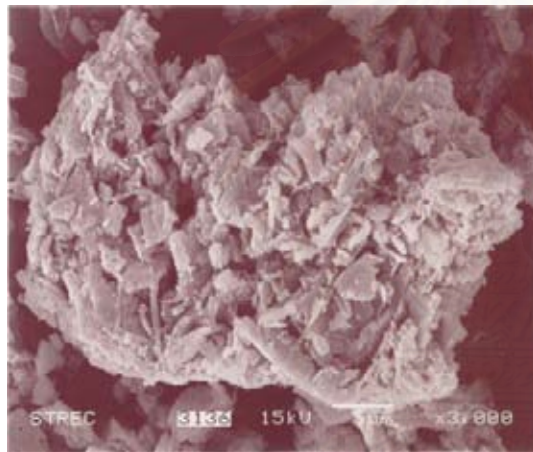
ตารางที่ 4.22 ค่าความจุของการดูดติดผิวสูงสุด (X/M) ของถ่านซีบั้งและถ่าน F 300

สี	ค่าความจุของการดูดติดผิวสูงสุด (มก./ก.)	
	ถ่านซีบั้ง	ถ่าน F 300
ไคเร็กท์	14.40	73.03
รีแอกทีฟ	13.31	16.19
ดิสเพิร์ส	2.42	18.62
เอสิด	48.02	2171.89

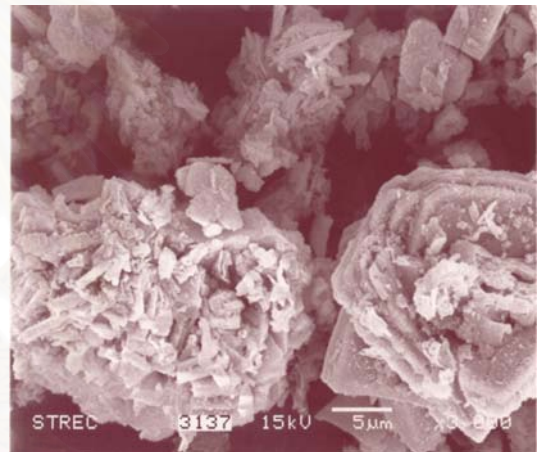
เมื่อพิจารณาค่าความจุของการดูดติดผิวสูงสุดพบว่าการดูดติดผิวของถ่านซีบั้งค่าความจุของการดูดติดผิวสูงสุดของสีเอสิดมีค่าสูงสุด คือ 48.02 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่าน รองลงมาคือ สีไค

เร็กซ์ ซีรีแอกทีฟ และสดีสเฟิร์ส ซึ่งมีค่า 14.40 , 13.31 และ 2.42 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่าน ตามลำดับ ส่วนการดูดติดผิวของถ่าน F300 ค่าความจุของการดูดติดผิวสูงสุดของสี่เอสดีมีค่าสูงสุดคือ 2,171.89 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่าน รองลงมาคือ สดีเร็กซ์ สดีสเฟิร์ส และซีรีแอกทีฟ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 73.03, 18.62 และ 16.19 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่าน ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่าความจุของการดูดติดผิวสูงสุดระหว่างถ่านซีแบ็งและถ่าน F300 พบว่าถ่าน F300 ยังสามารถดูดติดผิวสี่เอสดีเร็กซ์ ซีรีแอกทีฟ สดีสเฟิร์ส และสี่เอสดีได้ดีกว่าถ่านซีแบ็งอยู่ 5.14, 1.22, 7.69 และ 45.23 เท่า ตามลำดับ

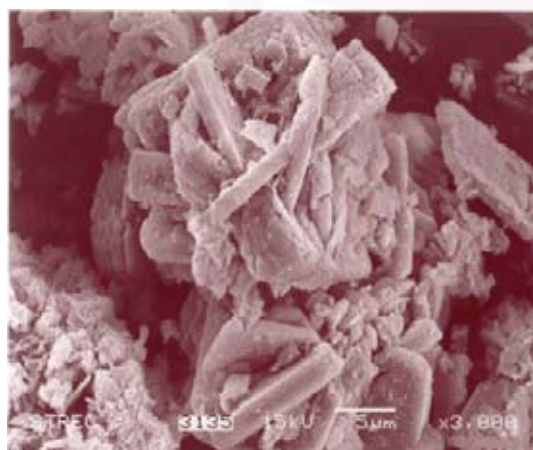
หลังทำการดูดติดผิวสี่เอสดีประเภทต่างๆแล้ว เมื่อนำถ่านซีแบ็งไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope : SEM) ดังรูปที่ 4.11 ซึ่งจะเห็นว่าอนุภาคสี่เอสดีเข้าไปเกาะคลุมพื้นผิวของถ่านซีแบ็ง



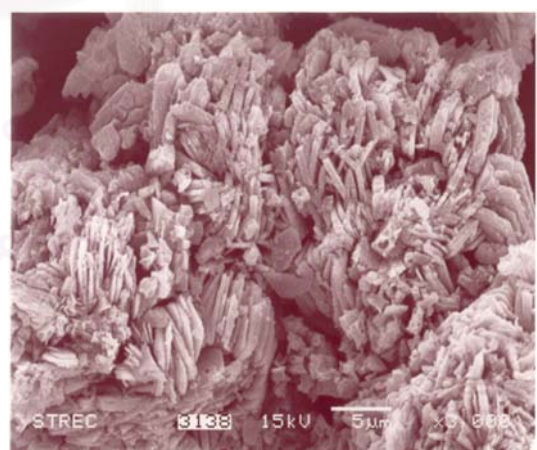
ก. ถ่านซีแบ็งดูดติดสี่เร็กซ์



ข. ถ่านซีแบ็งดูดติดสี่รีแอกทีฟ



ค. ถ่านซีแบ็งดูดติดสดีสเฟิร์ส



ง. ถ่านซีแบ็งดูดติดสี่เอสดี

รูปที่ 4.11 ภาพขยาย 3000 เท่าส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope : SEM) ของถ่านซีแบ็งที่ผ่านการดูดติดผิวสี่เอสดีประเภทต่างๆแล้ว

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านซีแ่งโดยการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ (Column Test)

เนื่องจากถ่านซีแ่งที่เตรียมได้นั้นมีความละเอียดค่อนข้างมาก ซึ่งคาดว่าจะเกิดปัญหาการอุดตันของคอลัมน์ จึงทำการเพิ่มวัสดุเชื่อมประสานกับถ่านซีแ่งที่เตรียมได้ เพื่อจะนำไปศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานได้ ซึ่งในที่นี้จะนำดินเหนียวมาเป็นวัสดุเชื่อมประสาน โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างซีแ่งที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์และแซงซ์คลอไรด์แล้วต่อดินเหนียวที่อัตราส่วน 100:0 90:10 80:20 70:30 60:40 50:50 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปขึ้นรูปให้เป็นเม็ด หลังจากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกับการเตรียมถ่านกัมมันต์แบบเดิม คือเข้าสู่กระบวนการกระตุ้นโดยการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างแซงซ์คลอไรด์ที่เหลือจนหมด นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มาคัดเลือกขนาดให้อยู่ในช่วง 8*30 เมช แล้วนำไปทดสอบด้วยการเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 120 นาที เลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำหนักถ่าน : น้ำหนักดิน ในการอัดเม็ด โดยพิจารณาจากการแตกของถ่านแบบเม็ดดังตารางที่ 4.23 แล้วนำถ่านที่เตรียมได้ไปใช้ในการทดสอบแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 4.23 การทดสอบการแตกของถ่านแบบเม็ด

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ถ่านซีแ่ง : ดินเหนียว	การแตกของเม็ดถ่านหลังการเขย่า
100 : 0	แตกมาก
90 : 10	แตกมาก
80 : 20	แตกน้อย
70 : 30	แตกน้อย
60 : 40	แตกน้อย
50 : 50	ไม่แตก

จากตารางที่ 4.23 พบว่า ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างถ่านซีแ่ง : ดินเหนียว ที่ 100:0 90:10 เมื่อผ่านการทดสอบโดยการนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมงนั้น เม็ดถ่านที่เตรียมได้นั้นจับตัวเป็นเม็ดได้ไม่ดี ทำให้มีการแตกออกมา ส่วนที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างถ่านซีแ่ง : ดินเหนียว 80:20 70:30 และ 60:40 นั้นมีการจับตัวกันได้ดีกว่า เนื่องจากมีการแตกน้อย และที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างถ่านซีแ่ง : ดินเหนียว 50:50 มีการจับตัวกันได้ดีทำให้ไม่มีการแตกออกมา

ดังนั้นที่อัตราส่วน 50:50 น่าจะเป็นอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเป็น ถ่านกัมมันต์แบบเม็ด แต่เนื่องจากในวัตถุประสงค์การวิจัยในครั้งนี้ต้องการทดสอบประสิทธิภาพ ของถ่านกัมมันต์จากซีแ่ง จึงเลือกที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างถ่านซีแ่ง : ดินเหนียว เป็น 80:20 เนื่องจากมีการแตกน้อยและมีน้ำหนักของถ่านซีแ่งมากที่สุด เพราะในการทดลองใน คอลัมน์จริงไม่ต้องผ่านการเขย่า จึงไม่ทำให้ถ่านแตกออกมา โดยจะถือว่าถ่านผสมดินเหนียวที่ เตรียมได้นั้นเป็นถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดเพื่อใช้ในการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งถ่านที่เตรียมได้มีลักษณะดังรูปที่ 4.12 และ ผลวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและค่าไอโอดีน นัมเบอร์ดังตารางที่ 4.24



รูปที่ 4.12 ถ่านซีแ่งชนิดเม็ดในการทดลองแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 4.24 ลักษณะทางกายภาพและค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านซีแ่งชนิดเม็ดที่อัตราส่วน โดยน้ำหนักถ่านซีแ่งต่อดินเหนียว 80:20

ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (มก./ก.)	พื้นที่ผิว (ตร.ม./กรัม)	ปริมาตรโพรง (ลบ.ซม./กรัม)	ขนาดโพรงเฉลี่ย (อังสตรอม)
161.40	64.62	0.137	84.82

ถ่านซีแบ่งที่เตรียมได้ชนิดเม็ดซึ่งใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักถ่านซีแบ่งต่อดินเหนียว 80:20 นั้น มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 161.40 มก./ก. พื้นที่ผิวเท่ากับ 64.62 ตร.ม./กรัม และปริมาตรโพรงเท่ากับ 0.137 ลบ.ซม./กรัม ซึ่งยังมีค่าน้อยกว่าถ่านซีแบ่งแบบผง สำหรับขนาดโพรงเฉลี่ยนั้นมีขนาดใหญ่กว่าถ่านซีแบ่งแบบผงซึ่งมีค่าเท่ากับ 84.82 อังสโตม

การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้งานของถ่านซีแบ่งเพื่อดูดติดผิวสีย้อมโดยการทดสอบแบบต่อเนื่องโดยใช้คอลัมน์ (Column Test) คอลัมน์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร และสูง 90 เซนติเมตร การทดลองจะใช้ทิศทางการไหลของน้ำแบบไหลลง (Down Flow) อัตราการไหลของน้ำ 3 ลิตร/ชั่วโมง โดยจะนำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย้อม 4 ประเภท คือ สีไคเร็กซ์ สีรีแอกทีฟ สีดิสเพิร์ส และสีเอสดี ความเข้มข้น 250 mg/l และน้ำเสียจริงจากโรงงานซึ่งทำการเพิ่มสีย้อมทุกประเภทลงไปสีละ 25 mg/l ปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 7 ไหลผ่านคอลัมน์และการเก็บตัวอย่างจะทำการเก็บที่ปลายท่อออกของน้ำที่ความสูง 30, 60 และ 90 เซนติเมตร จากนั้นจะนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือ สำหรับน้ำเสียจริงจะทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของน้ำเสียก่อนบำบัดและหลังบำบัด แล้วคำนวณหาร้อยละประสิทธิภาพในการกำจัด การคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างค่าความเข้มข้นและปริมาตรของถ่านในคอลัมน์ที่ระดับความสูง 30, 60, 90 เซนติเมตร เพื่อนำไปสร้าง Breakthrough Curve นั้นสามารถคำนวณ Bed Volume (BV) โดยใช้สมการ

$$\text{Bed Volume (BV)} = \frac{\text{ปริมาตรของน้ำที่ผ่านการบำบัด (ลิตร)}}{\text{ปริมาตรของชั้นถ่านกัมมันต์ (ลิตร)}}$$

$$\text{เมื่อปริมาตรของชั้นถ่านกัมมันต์ (ลิตร)} = \frac{\pi r^2 h}{1000}$$

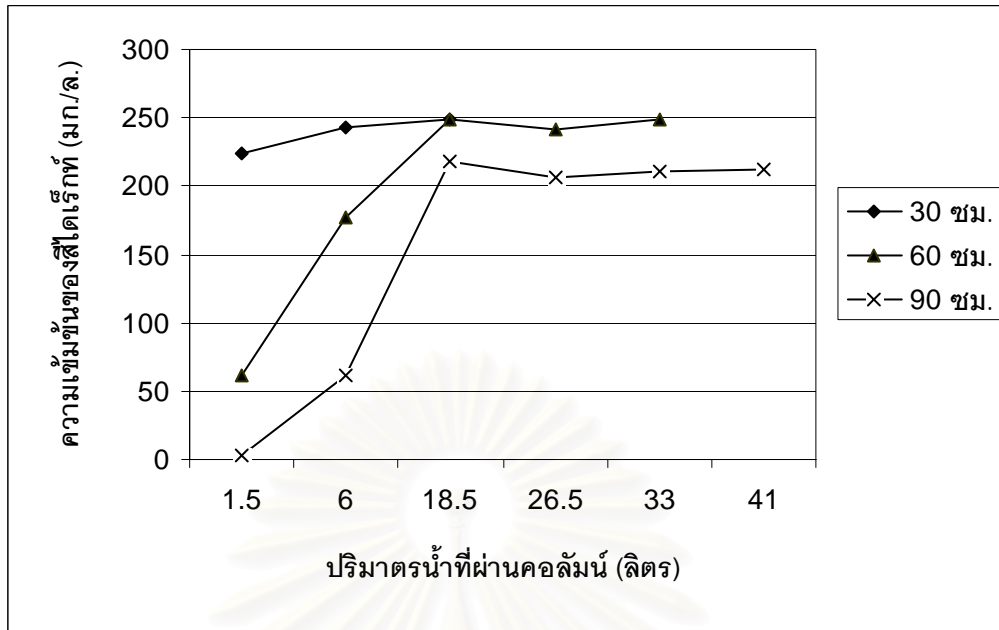
$$\text{โดยที่ } r = \text{รัศมีของคอลัมน์ (เซนติเมตร)}$$

$$h = \text{ความสูงของชั้นถ่านในคอลัมน์ (เซนติเมตร)}$$

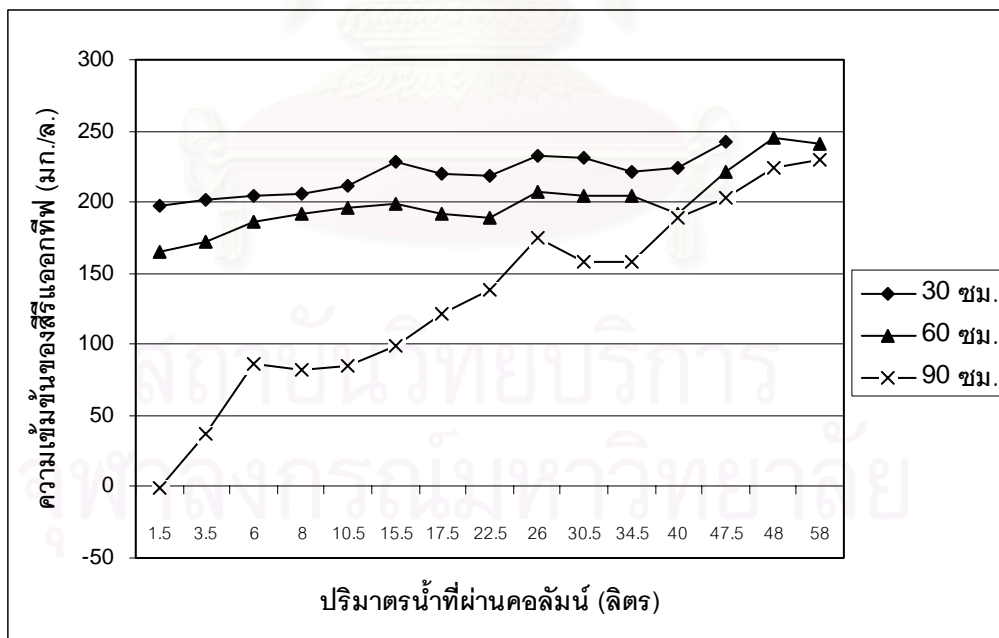
หลังจากนั้นจะทำการศึกษา Breakthrough Curve ระหว่างความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลืออยู่ในน้ำเสียหลังจากถูกดูดติดผิวโดยถ่านซีแบ่ง กับปริมาตรของน้ำหลังผ่านคอลัมน์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.25 และรูปที่ 4.13 ถึง รูปที่ 4.18

ตารางที่ 4.25 ผลการทดลองการกำจัดสีย้อมประเภทต่างๆในคอลัมน์

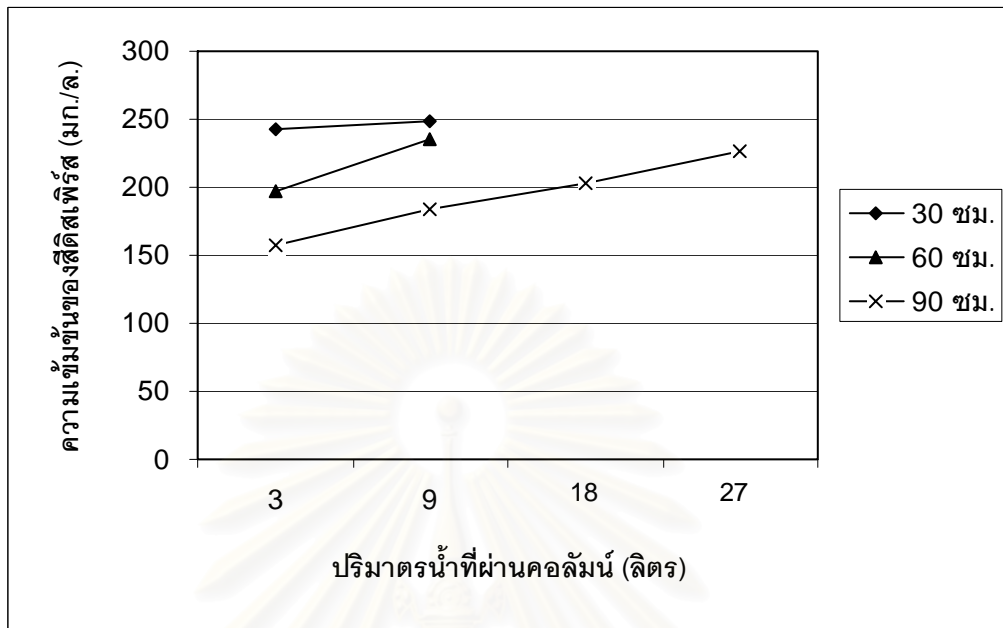
สีย้อม	ความสูง ของชั้น ถ่าน (ซม.)	ปริมาตรของ ชั้นถ่าน (ลิตร)	น้ำหนัก ถ่าน (กรัม)	ปริมาตร น้ำ (ลิตร)	ปริมาตร น้ำ (BV)	น้ำหนักสีย้อมที่ถูก กำจัดต่อกรัมของถ่าน (มิลลิกรัมต่อกรัม)
สีโคเร็กซ์	30	0.15	97.83	18.5	125.85	47.28
	60	0.30	195.67	33.0	111.86	42.16
	90	0.44	293.50	41.0	92.76	34.92
สีแอกทีฟ	30	0.15	91.73	47.5	323.13	129.46
	60	0.30	183.47	58.0	196.61	79.03
	90	0.44	275.20	58.0	131.22	52.69
สีดีสเพิร์ส	30	0.15	92.87	9.0	61.22	24.23
	60	0.30	185.73	9.0	30.51	12.11
	90	0.44	278.60	27.0	61.09	24.23
สีเอสดี	30	0.15	90.00	89.0	605.44	247.22
	60	0.30	180.00	89.0	301.69	123.61
	90	0.44	270.00	89.0	201.36	82.41
น้ำเสียจริง	30	0.15	98.47	77.5	527.21	-
	60	0.30	196.93	77.5	262.71	-
	90	0.44	295.40	77.5	175.34	-



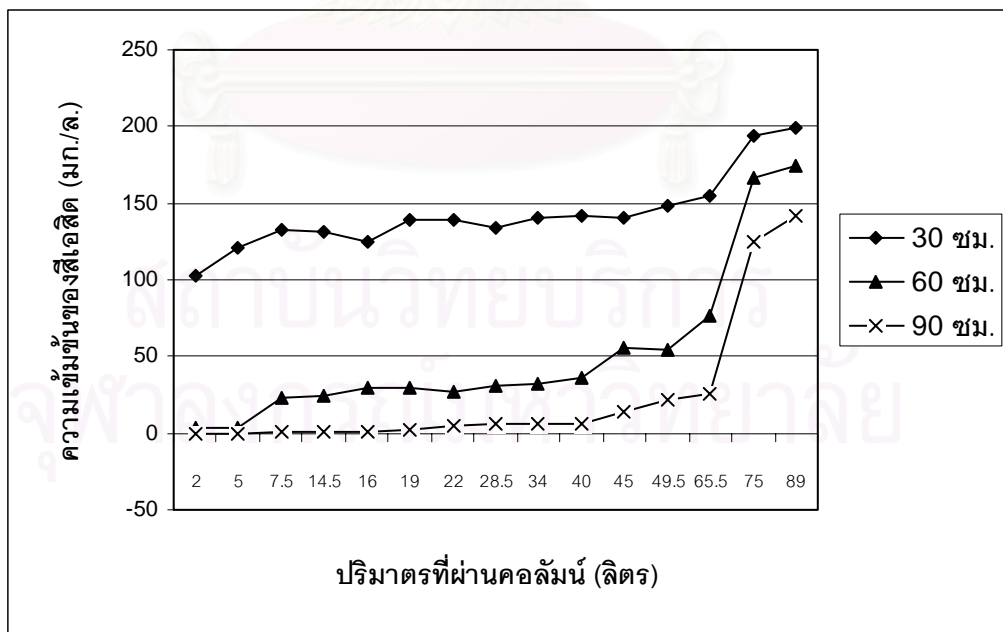
รูปที่ 4.13 เส้น Breakthrough ระหว่างความเข้มข้นของสีไดเร็กท์ที่เหลืออกอยู่กับปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์ที่ระดับความสูงต่างๆของชั้นถ่าน



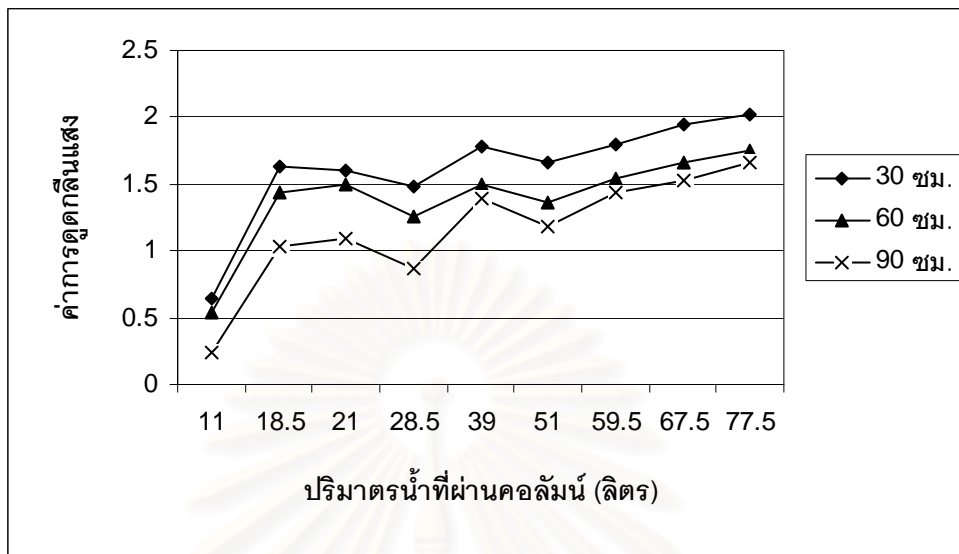
รูปที่ 4.14 เส้น Breakthrough ระหว่างความเข้มข้นของสีรีแอกทีฟที่เหลืออกอยู่กับปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์ที่ระดับความสูงต่างๆของชั้นถ่าน



รูปที่ 4.15 เส้น Breakthrough ระหว่างความเข้มข้นของซิลเวอร์ไอออนที่เหลืออกอยู่กับปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์ที่ระดับความสูงต่างๆของชั้นถ่าน

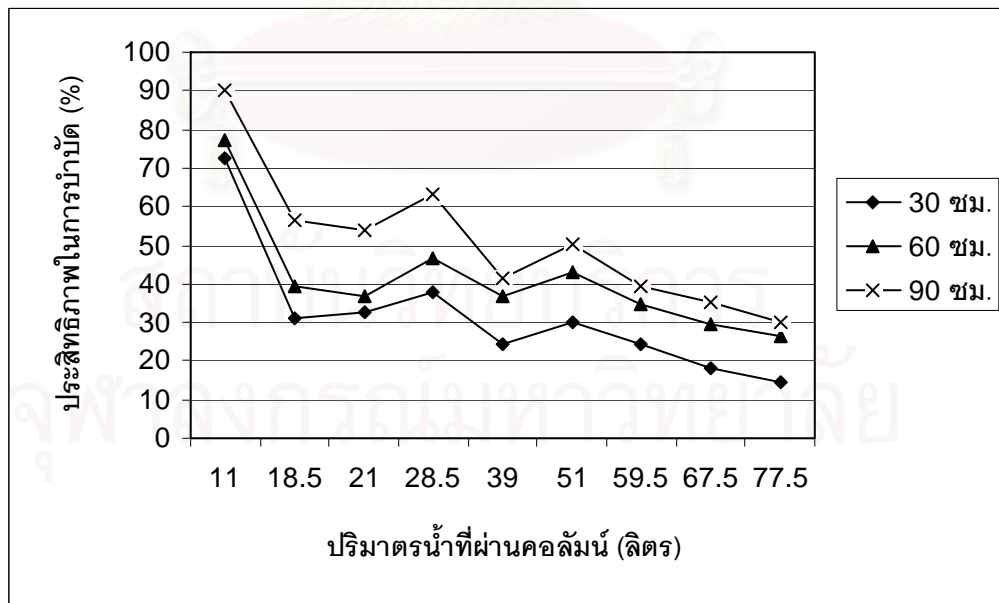


รูปที่ 4.16 เส้น Breakthrough ระหว่างความเข้มข้นของซิลเวอร์ไอออนที่เหลืออกอยู่กับปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์ที่ระดับความสูงต่างๆของชั้นถ่าน



หมายเหตุ ค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นของน้ำเสียจริงเท่ากับ 2.369

รูปที่ 4.17 เส้น Breakthrough ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียโรงงานกับปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์ที่ระดับความสูงต่างๆของชั้นถ่าน



รูปที่ 4.18 ประสิทธิภาพในการบำบัด (%) ของน้ำเสียโรงงานกับปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์ที่ระดับความสูงต่างๆของชั้นถ่าน

จากผลการทดลอง ความเข้มข้นของสีย้อมเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำผ่านคอลัมน์มากขึ้น โดยในระยะแรกปริมาณสีย้อมจะลดลง เนื่องจากถ่านยังมีพื้นที่ผิวสูงอยู่ ดังนั้นถ่านจึงยังมีความสามารถในการดูดติดผิวสีย้อมที่ผ่านคอลัมน์ได้ดี และเมื่อเวลาผ่านไปพื้นที่ผิวสำหรับการดูดติดผิวน้อยลงและไม่สามารถดูดติดผิวสีย้อมที่ผ่านเข้ามาใหม่ได้ จึงทำให้น้ำที่ออกจากคอลัมน์มีปริมาณสีย้อมสูงขึ้น จนเมื่อถึงจุดหนึ่งซึ่งความเข้มข้นของสีย้อมจะมีค่าเท่ากับความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้นที่ผ่านเข้าสู่การดูดติดผิว จุดนี้เรียกว่า จุดหมดสภาพ (Breakthrough Point) ซึ่งเป็นจุดที่ถ่านกัมมันต์หมดประสิทธิภาพในการดูดติดผิว

จากตารางที่ 4.25 ประสิทธิภาพของการดูดติดผิวสีย้อมประเภทต่างๆ รวมทั้งน้ำเสียจริงจากโรงงานที่ระดับความสูง 30, 60 และ 90 เซนติเมตร พบว่าที่ระดับความสูงดังกล่าว ถ่านซีบั้ง 1 กรัม สามารถดูดติดผิวสีย้อมไดเร็ทท์ได้เท่ากับ 47.28 ,42.16 และ 34.92 มิลลิกรัม ตามลำดับ สามารถดูดติดผิวสีย้อมรีแอกทีฟได้เท่ากับ 129.46,79.03 และ 52.69 มิลลิกรัม ตามลำดับ สามารถดูดติดผิวสีย้อมดีสเพิร์สได้เท่ากับ 24.23 ,12.11 และ 24.23 มิลลิกรัม ตามลำดับ และสามารถดูดติดผิวสีย้อมเอสดีได้เท่ากับ 247.22 ,123.61 ,82.41 มิลลิกรัม ตามลำดับ สำหรับน้ำเสียจริงจากโรงงานจะรายงานในหน่วย Bed Volume เนื่องจากไม่ทราบความเข้มข้นเริ่มต้นในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร แต่จะคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดจากการดูกลิ่นแสงของน้ำเสียก่อนเข้าคอลัมน์และออกจากคอลัมน์

นอกจากนี้ยังแสดงปริมาตรของน้ำในหน่วย Bed Volume (BV) พบว่าถ่านซีบั้งมีความสามารถในการดูดติดผิวสีย้อมไดเร็ทท์ที่ระดับความสูง 30 , 60 และ 90 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 125.85 ,111.86 และ 92.76 BV ตามลำดับ สามารถดูดติดผิวสีย้อมรีแอกทีฟได้ 323.13 ,196.61 และ 131.22 BV ตามลำดับ สามารถดูดติดผิวสีย้อมดีสเพิร์สได้ 61.22 , 30.51 และ 61.09 BV ตามลำดับ สามารถดูดติดผิวสีย้อมเอสดีได้เท่ากับ 605.44 , 301.69 และ 201.36 BV ตามลำดับ และสามารถดูดติดผิวน้ำเสียจริงซึ่งทำการเติมสีย้อมประเภทต่างๆลงไป ได้เท่ากับ 527.21 , 262.71 และ 175.34 BV ตามลำดับ

สำหรับน้ำเสียที่มีสีเอสดีและน้ำเสียจริงซึ่งปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเท่ากันเนื่องจากค่าความเข้มข้นและค่าการดูดกลิ่นแสงของน้ำออกยังไม่เท่ากับน้ำเข้า (ยังไม่ถึงจุดเบรคทวร์จ) แต่ในคอลัมน์มีอนุภาคสีจำนวนมากรวมทั้งน้ำเสียจริงอาจมีอนุภาคของสารอื่นๆปะปนมาด้วย จึงทำให้คอลัมน์ตันไปก่อนถึงจุดเบรคทวร์จ

ในการบำบัดสีดีสเพิร์สจะเห็นว่าที่ความสูงของชั้นถ่าน 90 เซนติเมตร น้ำหนักของสีย้อมที่ถูกกำจัดต่อกรัมมีค่ามากกว่าที่ชั้นถ่าน 60 เซนติเมตร อาจเนื่องมาจากอนุภาคของสีดีสเพิร์สมี

การหลุดรอดลงมาจากชั้นถ้ำด้านบนลงมา ทำให้ชั้นถ้ำด้านล่างสามารถดูดติดสีย้อมได้มากกว่า

ในการทดลองการกำจัดสีย้อมแบบต่อเนื่องในคอลัมน์จะเห็นว่าถ้ำซีแพ็งสามารถกำจัดสีย้อมได้ดีกว่าสีย้อมประเภทอื่นๆ และเมื่อพิจารณาน้ำหนักของสีย้อมทุกประเภทที่ถูกกำจัดต่อกรัมของถ้ำในการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์เปรียบเทียบกับน้ำหนักของสีย้อมที่ถูกกำจัดได้ต่อกรัมจากการศึกษาไอโซเทอมการดูดติดผิว พบว่าของการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์มีค่ามากกว่าการทดลองโดยการศึกษาไอโซเทอม ที่เป็นเช่นนี้เพราะค่าที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ย่อมไม่เท่ากับค่าที่ได้จากการทดลองจริง น้ำที่ผ่านคอลัมน์มีปริมาตรมากกว่าที่ใช้ในการทดลองไอโซเทอม และน้ำมีการผ่านคอลัมน์อย่างต่อเนื่อง

แต่จากผลการทดลอง จากจุดเบรคทูล์ ที่หลายๆตัวอย่างการทดลองนั้น ความเข้มข้นสีย้อมของน้ำเข้าและน้ำออกยังไม่เท่ากัน (ภาคผนวก ค) เนื่องจากคอลัมน์เริ่มมีการอุดตันในชั้นถ้ำส่วนบนก่อน ทำให้น้ำเสียไม่สามารถผ่านคอลัมน์ลงมาได้ ค่าการคำนวณที่ได้จึงอาจไม่ใช่ค่าเบรคทูล์ที่แท้จริง แต่ได้ถือว่าถ้ำหมดสภาพการใช้งานแล้ว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาหาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้เตรียมขึ้นจากกากซีแ่งซึ่งเป็นของเสียที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำยางข้นเพื่อนำมากำจัดสีย้อมตัวอย่างสีประเภท คือ สีไดเรกท์ สีรี แอกรีฟ สีดิสเพิร์ส และสีเอสดี ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปเพื่อดูแนวโน้มและความเป็นไปได้ในการนำไปพัฒนาเพื่อผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากซีแ่งโดยการเผาคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แสงสารกระตุ้นซิงค์คลอไรด์ตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อสารกระตุ้นที่อัตราส่วน 1:1 และเผากระตุ้นอีกครั้งที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์ถ่านซีแ่งซึ่งมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 547.31 ± 3.18 มิลลิกรัมต่อกรัม

โดยที่ร้อยละของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ (% yield) เป็น 20.81 คือ ในการผลิตถ่านซีแ่งเมื่อเริ่มจากกากซีแ่งอบแห้ง 1 กิโลกรัม จะได้ผลิตภัณฑ์ถ่านซีแ่ง 208.10 กรัม

พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากซีแ่ง 583.54 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับปริมาตรโพรงของถ่านซีแ่งเท่ากับ 0.142 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และมีขนาดโพรงเฉลี่ยเท่ากับ 40.38 อังสตรอม

5.1.2 การทดสอบประสิทธิภาพของถ่านซีแ่งในการกำจัดสีย้อมประเภทต่างๆเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

การหาพีเอชที่เหมาะสม

พีเอชเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการดูดติดผิว แต่จากการศึกษาในงานวิจัยนี้ปัจจัยพีเอชไม่มีผลต่อการดูดติดผิวสีย้อมโดยถ่านซีแ่งและถ่าน F300 มากนัก เนื่องจากประสิทธิภาพในการกำจัดของสีย้อมแต่ละประเภทที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้ถ่านซีแ่งกำจัดสี

ย่อมของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยไม่จำเป็นต้องปรับพีเอชอีก เพราะพีเอชจริงของน้ำเสียแต่ละส่วนของอุตสาหกรรมสิ่งทออยู่ในช่วงที่ทำการทดลองแล้ว สำหรับการกำจัดโดยใช้ถ่าน F300 ก็เป็นเช่นเดียวกัน

การหาความเข้มข้นที่เหมาะสม

จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสีย้อม ไตรเร็กท์ รีแอกทีฟ ดิสเพิร์สและเฮลิด เป็น 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่านซีแ่ง และถ่าน F300 ในการดูดติดผิวสีไตรเร็กท์ รีแอกทีฟ และประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่านซีแ่งในการดูดติดสีเฮลิดมีค่าลดลงตามลำดับ แต่สำหรับประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่านซีแ่ง ถ่าน F300 ในการดูดติดสีดิสเพิร์สและของถ่าน F300 ในการดูดติดสีเฮลิด ประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ดังนั้นในการทดลองนี้ ประสิทธิภาพของถ่านซีแ่งและถ่าน F300 ในการดูดติดผิวสีย้อม ไตรเร็กท์ รีแอกทีฟ และของถ่านซีแ่งในการดูดติดสีเฮลิด ความเข้มข้นที่ดีที่สุดคือ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ไม่อาจบอกได้ว่าความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีความเหมาะสมเนื่องจากไม่ได้ทำการทดลองที่ความเข้มข้นต่ำกว่านี้ และประสิทธิภาพของถ่านซีแ่ง ถ่าน F300 ในการดูดติดผิวสีดิสเพิร์สและของถ่าน F300 ในการดูดติดสีเฮลิด ความเข้มข้นที่ดีที่สุดเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และไม่อาจบอกได้ว่าความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีความเหมาะสมเนื่องจากไม่ได้ทำการทดลองที่ความเข้มข้นสูงกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพรุนดลิกซ์ของถ่านซีแ่งและถ่าน F300

จากการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพรุนดลิกซ์ พบว่า ในการดูดติดผิวสีย้อม ไตรเร็กท์ รีแอกทีฟ ดิสเพิร์ส และเฮลิด ด้วยถ่านซีแ่งมีค่า K ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการดูดติดผิว เท่ากับ 4.88, 4.94, 5×10^{-12} และ 14.09 ตามลำดับ และถ่าน F300 มีค่า K เท่ากับ 3.81, 4.66, 0.20 และ 78.47 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดติดผิวจากค่า K ระหว่างถ่านซีแ่งและถ่าน F 300 พบว่า การดูดติดผิวสีดิสเพิร์สและเฮลิด ถ่านซีแ่งสามารถดูดได้น้อยกว่าถ่าน F300 แต่สำหรับสีไตรเร็กท์และสีรีแอกทีฟ ถ่านซีแ่งดูดได้มากกว่าถ่าน F300 โดยถ่านซีแ่ง 1 กรัม สามารถดูดติดผิวสีไตรเร็กท์ได้ 14.40 มิลลิกรัม ดูดติดผิวสีรีแอกทีฟ 13.31 มิลลิกรัม ดูดติดผิวสีดิสเพิร์สได้ 2.42 มิลลิกรัม และดูดติดผิวสีเฮลิดได้ 48.02 มิลลิกรัม และถ่าน F300 1 กรัม สามารถดูดติดผิวสีไตรเร็กท์ได้ 73.03 มิลลิกรัม ดูดติดผิวสีรีแอกทีฟ 16.19 มิลลิกรัม

ดูดติดผิวสีดิสเพิร์สได้ 18.62 มิลลิกรัม และดูดติดผิวสีเอสดีได้ 2,171.89 มิลลิกรัม เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าโดยส่วนใหญ่ถ่าน F300 ซึ่งเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดยังสามารถดูดติดผิวได้ดีกว่าถ่านซีแบ็ง และสีเอสดีสามารถถูกดูดติดผิวได้มากกว่าสีย้อมประเภทอื่นๆ

5.1.3 การศึกษาประสิทธิภาพการไ้ใช้งานของถ่านซีแบ็งโดยการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ (Column Test)

เมื่อนำถ่านซีแบ็งมาบรรจุในคอลัมน์ แล้วทำการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย้อมไดเร็กทรีแอกทีฟ ดิสเพิร์ส และเอสดี ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อเนื่องแบบไหลลง โดยถ่านที่ใช้ในนั้นมีดินเหนียวเป็นตัวประสานที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างถ่านซีแบ็ง : ดินเหนียว เป็น 80:20 พบว่า ผลการทดลองการกำจัดสีย้อมไดเร็กทรีที่ระดับความสูง 30, 60 และ 90 เซนติเมตร สามารถบำบัดได้ 125.85 ,111.86 และ 92.76 BV ตามลำดับ และสามารถดูดติดผิวสีย้อมไดเร็กทรีได้ 47.28 ,42.16 และ 34.92 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

การกำจัดสีรีแอกทีฟที่ระดับความสูง 30, 60 และ 90 เซนติเมตร สามารถบำบัดได้ 323.13 ,196.61 และ 131.22 BV ตามลำดับ และสามารถดูดติดผิวสีรีแอกทีฟได้ 129.46 , 79.03 และ 52.69 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

การกำจัดสีดิสเพิร์สที่ระดับความสูง 30, 60 และ 90 เซนติเมตร สามารถบำบัดได้ 61.22 , 30.51 และ 61.09 BV ตามลำดับ และสามารถดูดติดผิวสีดิสเพิร์สได้ 24.23 , 12.11 และ 24.23 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

การกำจัดสีเอสดีที่ระดับความสูง 30, 60 และ 90 เซนติเมตร สามารถบำบัดได้ 605.44 , 301.69 และ 201.36 BV ตามลำดับ และสามารถดูดติดผิวสีเอสดีได้ 247.22 , 123.61 ,82.41 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

การกำจัดน้ำเสียจริงจากโรงงานซึ่งทำการเติมสีย้อมประเภทต่างๆลงไป ที่ระดับความสูง 30, 60 และ 90 เซนติเมตร สามารถบำบัดได้ 527.21 , 262.71 และ 175.34 BV ตามลำดับ

ในการทดลองการกำจัดสีย้อมแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ถ่านซีแบ็งสามารถกำจัดสีเอสดีได้ดีกว่าสีประเภทอื่นๆ สำหรับน้ำเสียจริงถึงแม้ว่าจะมีการเพิ่มสีย้อมลงไป แต่ถ่านซีแบ็งก็สามารถกำจัดได้ใกล้เคียงกับสีเอสดี ถ่านซีแบ็งที่เตรียมได้นั้นมีความสามารถในการดูดติดผิวได้ดีแต่ก็ยังมีน้อยกว่าถ่าน F300 และลักษณะถ่านซีแบ็งที่เตรียมได้นั้นยังมีลักษณะเป็นผงละเอียด ดังนั้นในการนำถ่านซีแบ็งมาใช้ในงานจริงจึงควรทำถ่านให้มีลักษณะเป็นเกล็ดหรือเม็ด อาจทำให้ขนาด

เกิดใหญ่ขึ้นหรือเปลี่ยนตัวประสานเพื่อให้ถ่านมีความคงทนต่อการละลายมากขึ้น ลดการเกิดการอุดตันในคอลัมน์ และสะดวกในการนำไปใช้งาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากซีเมนต์ด้วยวิธีการกระตุ้นอื่น เช่น การกระตุ้นด้วยการใช้ไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อพัฒนาให้ถ่านซีเมนต์มีความสามารถในการดูดติดผิวได้ดียิ่งขึ้น

5.2.2 ควรมีการทดลองศึกษาการนำถ่านซีเมนต์ไปใช้ประโยชน์ในการดูดติดผิวสารอื่นๆ เช่น สีย้อมประเภทอื่น การดูดติดผิวก๊าซพิษ เป็นต้น

5.2.3 เนื่องจากลักษณะถ่านซีเมนต์ที่เตรียมได้มีลักษณะละเอียด ดังนั้นจึงควรศึกษาการผสมตัวประสานอื่น ๆ เพื่อให้สะดวกในการใช้งานและเพิ่มประสิทธิภาพให้มากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กระทรวงอุตสาหกรรม กรมโรงงาน . 2539. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน. กรุงเทพมหานคร.
- เกศรา นุตาลัย และคณะ. 2531. รายงานการวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพรุในหองปฏิบัติการ. รายงานฉบับที่ 1 โครงการวิจัยที่ ภ30 – 14 โครงการวิจัยและพัฒนาดินพรุเพื่อประโยชน์ทางอุตสาหกรรม : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- ชนิดา เสมรัตน์.2543. ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร.วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ .2527. รายงานวิจัยขั้นสมบูรณ การกำจัดน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า เล่มที่ 2 ข้อมูลพื้นฐาน. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ .2527. รายงานวิจัยขั้นสมบูรณ การกำจัดน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า เล่มที่ 4 การกำจัดสีน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าโดยวิธี PACT. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นันทยา ยานุมาศ.2534. “กระบวนการผลิตและลักษณะน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมสิ่งทอ”,รายงานการสรุปผลการสัมมนาเรื่อง “การบำบัดน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมสิ่งทอ”.หน้า 23-39. โครงการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย.
- บุญชัย ตระกูลมหชัย. 2536. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลโตนด. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปนัดดา คำรัตน์.2545.ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากขี้แป้งของโรงงานน้ำยางชั้นใน การกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ .วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิยะพร บารมี. 2542. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากยางเหลือทิ้งโดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.

- พงศธร ใด้วคชาภรณ์ .2538. ถ่านกัมมันต์จากขี้ข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เพียรพรอค ทศศร. 2535. หน่วยปฏิบัติการทั่วไป. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2545. รายงานโครงการวิจัยเรื่องการตรวจสอบการจัดการของเสียของโรงงานน้ำยางข้น. โครงการวิจัยเรื่องการจัดการของเสียอุตสาหกรรมน้ำยางข้น สงขลา.
- มันสิน ต้นทุลเวศม์.2539. วิศวกรรมการประปา เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มานพ ติระรัตนสมโภช .2545.การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากขี้เลี้ยง. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มานัด แก้วถาวร.2537.ผลของโซเดียมคลอไรด์,ซิงค์คลอไรด์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว.วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- รัชนก แซ่เจิน. 2541. การลดปริมาณสารหนูในน้ำด้วยกระบวนการดูดซับ. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ลาวัลย์ ศรีพงษ์.2543.อัลตราไวโอเลตวิสิเบิล สเปกโตรสโกปี.คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- วราศรี เอกประสิทธิ์ และคณะ. 2542. คุณลักษณะกากขี้แบ่งและอัตราการเกิดกากขี้แบ่งของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น ในเอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 5, หน้า ENVI31-ENVI36. 24-26 มีนาคม 2542 ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอริชี่ จอมเทียน จังหวัดชลบุรี.
- วราศรี เอกประสิทธิ์. 2543. การนำกากขี้แบ่งจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นวัสดุบำรุงดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สัญญาวัล อิงคภาคย์.2539.ประสิทธิภาพการลดซีโอดีและสีออกจากน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และถ่านแกลบ.วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- สุจรรย์ ค้อยเสงี่ยม. 2544. การกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2514. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน. พิมพ์ครั้งที่ 2. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- เสาวนีย์ ก่ออุฒิกุลรังษี. 2540. ยางธรรมชาติเบื้องต้น. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

- American Society for Testing and Materials. 1996. Standard practice for : Determination of adsorptive capacity of activated carbon by aqueous phase isotherm technique, D 3860 – 89a. Annual book of ASTM standards Vol. 15.01. Philadelphia:ASTM.
- American Society for Testing and Materials. 1996. Standard test method for: Determination of iodine number of activated carbon, D 4607 - 94. Annual book of ASTM standards Vol. 15.01. Philadelphia:ASTM.
- American Society for Testing and Materials. 1977. Standard test method for: Specific surface area of carbon or graphite, C 819 - 77. Annual book of ASTM standards. Philadelphia:ASTM.
- Beszedits, S., Lugowski ,A. and Miyamoto, H.K . 1980 . Color removal from textile mill effuents. Canada.
- Bogle,M.1977. Textile Dyes,Finishes and Auxiliaries.London : Garland Ref Lib.
- Calgon Carbon Coperation. 1996. Filtrisorb 300 and 400 Granular Activated Carbon For Wastewater. (n.p.).
- Dubinini, M.M. 1966. Chemistry and physics of Carbon. Vol.2 New York: P.L. Walker Jr. (Ed.) , M Dekker.
- Eckenfelder, W.W. 1989. Industrial water pollution control. New York: McGraw-Hill .
- Hassler, J.W. 1967. Activated carbon. London : Leonard Hill.
- Mukherjee, S. and Coworker. 1974. Effect of chemical treatment on the properties of activated charcoal. (n.p.).
- Rengaraj, S., Arabindoo, B. and Murugesen,V. 1998. Activated Carbon from Rubber seed and Palm seed coats: Preparation and Characterization. Journal of Scientific & Industrial Research 57: 129-132.
- Singh,J., and Raman ,S.K.1976 . Utilization of Undersized Particles of Coconut Shell for Production of Activated Carbons.Indian Journal of Technology 14:145-147.
- The Society of Dyes and Colorist , American Association of Textile Chemists and Colorists.1987. Color Index. 3 rd. Ed. London : Lund Humphries.

Tsai, W.T., Chang,C.Y., Lin,M.C., Chien, S.F., Sun,H.F. and Hsieh,M.F..2000.Adsorption of acid dye onto activated carbons prepared from agriculture waste bagasse by $ZnCl_2$ activation.Chemosphere 45:51-58.

Yehaskel, A. 1978. Activated carbon: Manufacture and regeneration. New Jersey: Noyes Data Corporation.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ก-1 เตาเผา : Valcan box furnace รุ่น 3-1750. USA



รูปที่ ก-2 สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Helios Alpha ควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Vision 32



รูปที่ ก-3 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง : Desktop pH meter PHL-20, DKK Corporation.
Japan



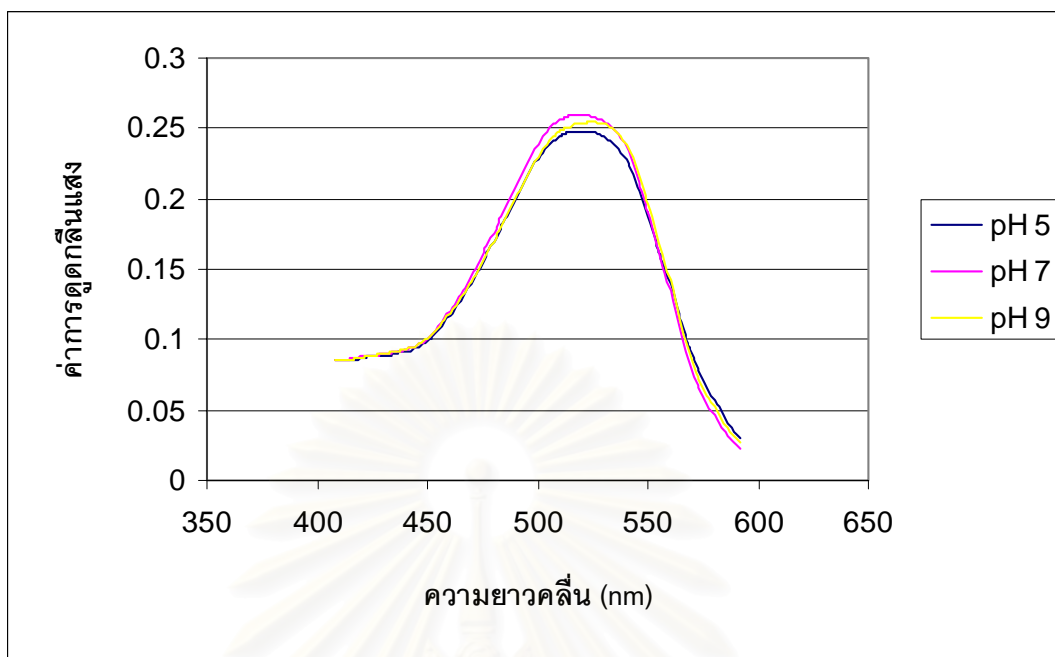
รูปที่ ก-4 เครื่องเขย่า (Shaker) ยี่ห้อ K รุ่น VRN-360



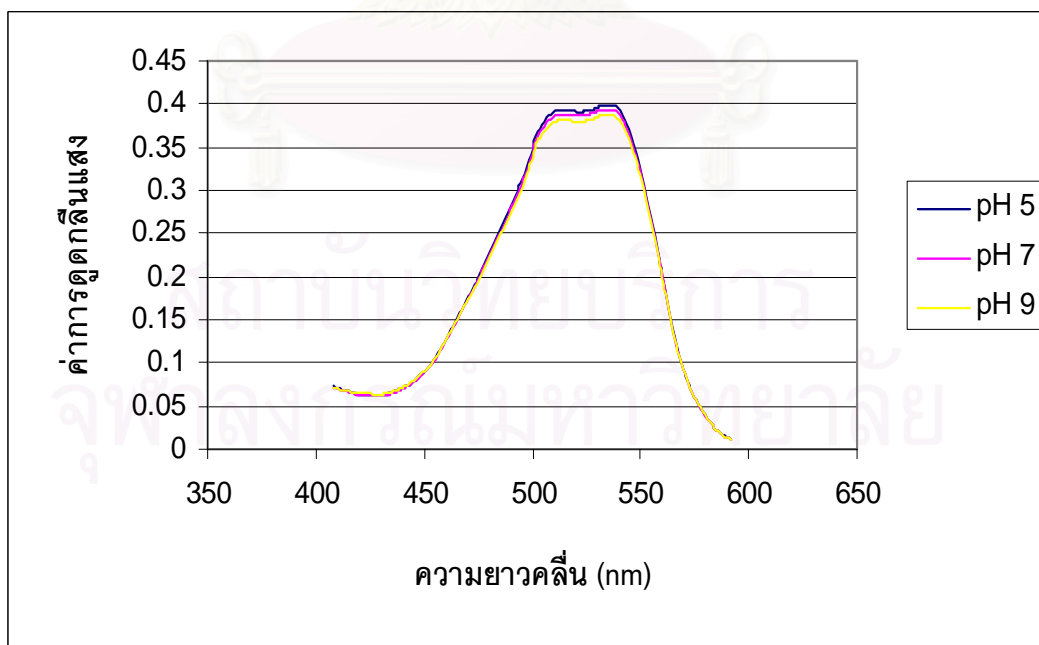
ภาคผนวก ข

ความยาวคลื่นที่เหมาะสมของน้ำเสียที่มีตัวอย่างสีย้อมประเภทต่างๆ

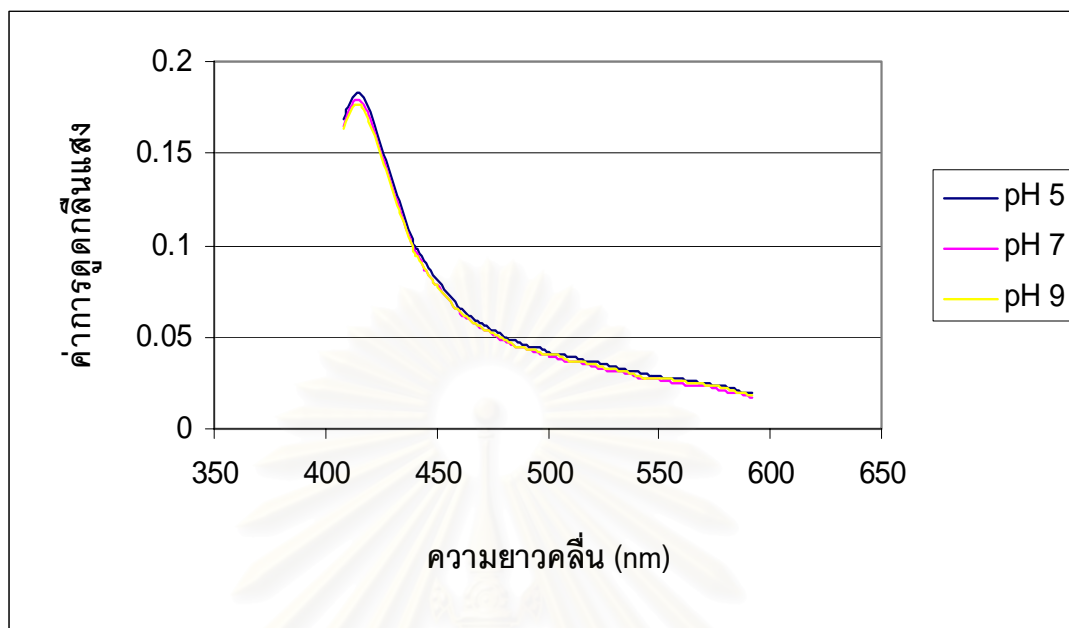
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



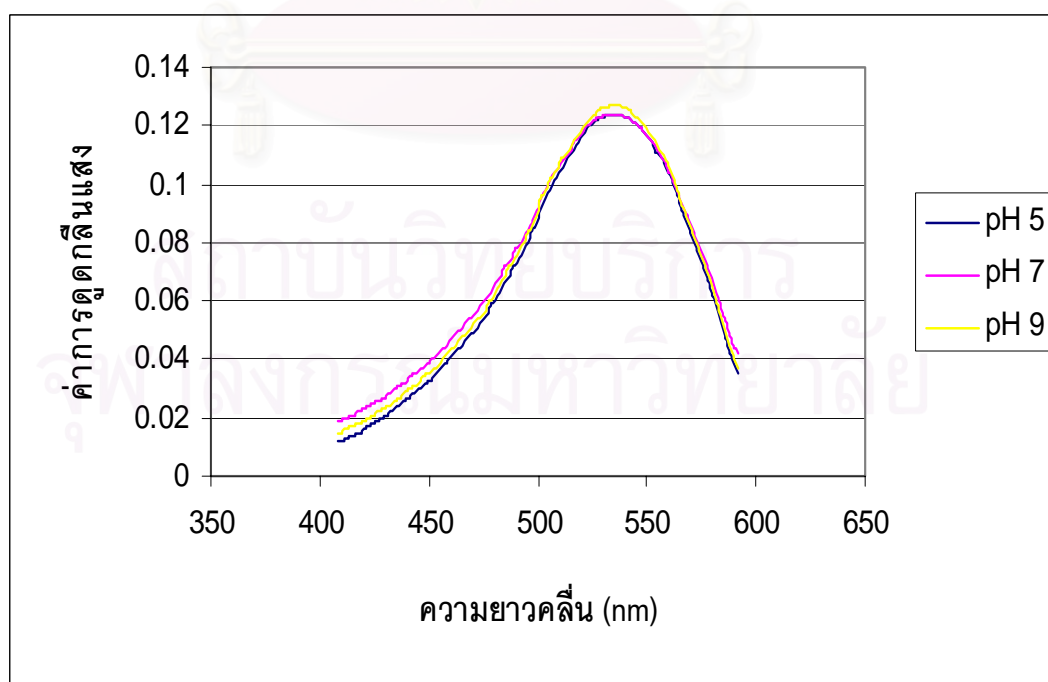
รูปที่ ข-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่นและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมชนิดไดเร็กท์ (ever direct supra red BWS) ที่พีเอชต่างๆ



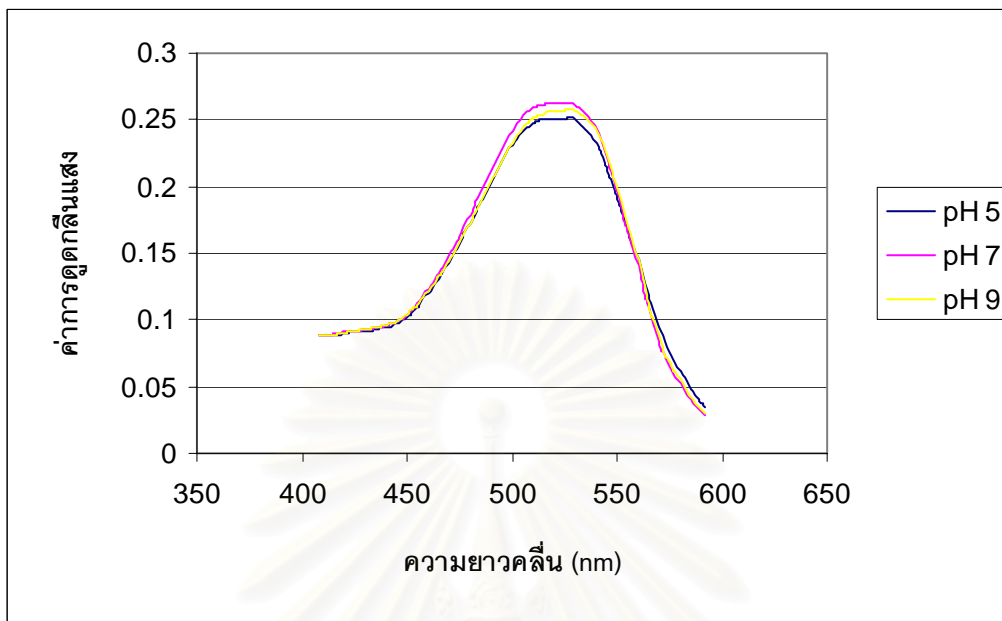
รูปที่ ข-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่นและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมชนิดรีเอกทีฟ (procion Brill Red H-EGXL) ที่พีเอชต่างๆ



รูปที่ ๓-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่นและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมชนิดดิสเพิร์ส (sumikaron Brilliant Bright Red S-BF) ที่พีเอชต่างๆ



รูปที่ ๓-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่นและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมชนิดเฮลิด (telon Red AFG) ที่พีเอชต่างๆ



รูปที่ ข-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่นและค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ ที่พีเอชต่างๆ

ตาราง ข-1 ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของแต่ละพีเอช คำนัยสำคัญทางสถิติ และค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสม

สี	ค่าความยาวคลื่น (nm)	pH	ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด				ค่านัยสำคัญทางสถิติ
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
ไคเร็กซ์	523	5	0.248	0.254	0.250	0.251	0.099
		7	0.256	0.259	0.254	0.256	
		9	0.255	0.251	0.250	0.252	
รีแอกทีฟ	537	5	0.399	0.394	0.399	0.397	0.112
		7	0.394	0.392	0.394	0.393	
		9	0.387	0.392	0.395	0.391	
ดิสเพิร์ส	415	5	0.183	0.180	0.179	0.181	0.132
		7	0.177	0.176	0.179	0.177	
		9	0.177	0.178	0.172	0.176	
เอสดี	534	5	0.124	0.119	0.122	0.122	0.228
		7	0.124	0.123	0.120	0.122	
		9	0.127	0.123	0.125	0.125	
น้ำเสียโรงงาน	529	5	0.252	0.254	0.248	0.251	0.254
		7	0.263	0.256	0.254	0.258	
		9	0.258	0.251	0.247	0.252	

หมายเหตุ ค่านัยสำคัญทางสถิติมากกว่า 0.05 ($p > 0.05$) แสดงว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ภาคผนวก ค

ข้อมูลผลการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์

ตารางที่ ค-1 การดูดติดผิวสีไคเร็กซ์โดยถ่านซีแป้ง

ปริมาณน้ำที่ผ่าน การบำบัด (ลิตร)	ความเข้มข้นของสีไคเร็กซ์ (มก./ล.)		
	30 ชม.	60 ชม.	90 ชม.
1.5	224.105	61.637	3.228
6	242.434	177.761	60.862
18.5	249.023	248.281	217.843
26.5		240.998	205.709
33		248.333	210.430
41			212.500

ตารางที่ ค-2 การดูดติดผิวสีรีแอกทีฟโดยถ่านซีแป้ง

ปริมาณน้ำที่ผ่าน การบำบัด (ลิตร)	ความเข้มข้นของสีรีแอกทีฟ (มก./ล.)		
	30 ชม.	60 ชม.	90 ชม.
1.5	196.730	165.487	-1.492
3.5	201.067	171.928	36.983
6	204.512	186.295	86.073
8	206.114	192.364	82.193
10.5	211.321	195.399	84.320
15.5	228.799	198.873	98.354
17.5	220.198	191.756	121.405
22.5	218.432	188.340	137.685
26	232.547	207.454	175.525
30.5	230.723	204.112	158.351
34.5	221.411	204.396	158.346

ตารางที่ ค-2 (ต่อ) การดูดติดผิวสีรีแอกทีฟโดยถ่านซีแบ่ง

ปริมาตรน้ำที่ผ่าน การบำบัด (ลิตร)	ความเข้มข้นของสีรีแอกทีฟ (มก./ล.)		
	30 ชม.	60 ชม.	90 ชม.
40	224.151	191.103	188.773
47.5	242.617	220.588	203.666
48		245.418	224.122
58		240.525	229.904

ตารางที่ ค-3 การดูดติดผิวสีดีสเพิร์สโดยถ่านซีแบ่ง

ปริมาตรน้ำที่ผ่าน การบำบัด (ลิตร)	ความเข้มข้นของสีดีสเพิร์ส (มก./ล.)		
	30 ชม.	60 ชม.	90 ชม.
3	243.232	196.997	156.805
9	248.612	235.458	184.343
18			202.742
27			225.845

ตารางที่ ค-4 การดูดติดผิวสีเฮลิดโดยถ่านซีแบ่ง

ปริมาตรน้ำที่ผ่าน การบำบัด (ลิตร)	ความเข้มข้นของสีเฮลิด (มก./ล.)		
	30 ชม.	60 ชม.	90 ชม.
2	103.232	3.548	-0.323
5	121.116	3.871	-0.968
7.5	133.232	22.581	1.194
14.5	131.943	23.871	0.677
16	124.754	29.032	0.710
19	138.487	29.677	1.613
22	138.832	26.774	5.161

ตารางที่ ค-4 (ต่อ) การดูดติดผิวสีเฮลิตโดยถ่านซีแบ่ง

ปริมาตรน้ำที่ผ่าน การบำบัด (ลิตร)	ความเข้มข้นของสีเฮลิต (มก./ล.)		
	30 ชม.	60 ชม.	90 ชม.
28.5	133.853	30.645	5.516
34	140.068	31.613	5.935
40	141.493	36.452	6.419
45	140.089	55.161	13.871
49.5	148.587	54.194	22.032
65.5	154.839	76.129	25.097
75	194.194	166.774	124.839
89	199.355	174.516	142.258

ตารางที่ ค-5 การดูดติดผิวน้ำเสียจริงจากโรงงานโดยถ่านซีแบ่ง

ปริมาตรน้ำที่ผ่าน การบำบัด (ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียจากโรงงาน		
	30 ชม.	60 ชม.	90 ชม.
11	0.648	0.537	0.234
18.5	1.631	1.442	1.033
21	1.595	1.499	1.094
28.5	1.478	1.260	0.871
39	1.788	1.501	1.389
51	1.658	1.356	1.179
59.5	1.796	1.549	1.435
67.5	1.945	1.667	1.534
77.5	2.021	1.745	1.657

หมายเหตุ ค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นเท่ากับ 2.369

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว เพ็ญลักษณ์ เทศสุวรรณ เกิดวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดชุมพร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต จากภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปีการศึกษา 2542 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย