

VHs 104070  
5099

รายงานวิจัย

การออกแบบและพัฒนาถังบำบัดสีย้อม ในการกำจัดสีย้อมเคมีจากน้ำทิ้ง  
ด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของกลุ่มสตรีทอผ้าเขตอีสานกลาง

ภิรมย์ สุวรรณสม

พัชรภรณ์ พิมจันทร์

สุชณา วาณิช

อรุณรัตน์ อุทัยคู

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม  
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ได้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา  
ภายใต้โครงการส่งเสริมการวิจัยในสถาบันอุดมศึกษาและการพัฒนามหาวิทยาลัย  
แห่งชาติ ปีงบประมาณ พ.ศ. 2554

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและพัฒนาถึงบำบัดสีย้อม ในการการกำจัดสีย้อมเคมีจากน้ำทิ้ง

ด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของกลุ่มสตรีทอผ้าเขตอีสานกลาง

Design and development of the removal of synthetic dyes from dyeing wastewater using  
agriculture product of weaving groups in Middle Isan Community



ภิรมย์ สุวรรณสม  
พัชรภรณ์ พิมจันทร์  
สุชนา วาณิช  
อรุณรัตน์ อุทัยคู

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

สนับสนุนโดย สำนักบริหารโครงการวิจัยในอุดมศึกษา  
และพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ  
สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สำนักบริหารโครงการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนา มหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักคณะกรรมการการอุดมศึกษา และอาจารย์สาขาวิชาเคมีและเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในเรื่องสถานที่และเครื่องมือต่างๆ ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามที่ให้ที่อำนวยความสะดวกและการให้คำแนะนำในเรื่องการทำวิจัยในครั้งนี้ จึงทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ภิรมย์ สุวรรณสม



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม  
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
วันรับ.....
วันคณะกรรมการ..... ๑6 ก.พ. 2556
เลขทะเบียน..... ๓. 213244
เลขเรียกหนังสือ..... ๖๖๔, 3 ๑๒๖๒ ๒๕๕๔

สั่งพิมพ์ ณ มสสจ. ๑๖/๒

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองใช้วิธีแบบไหลและถังแช่ศึกษาการกำจัดสีย้อมเคมีและโลหะหนักในน้ำทิ้งจากเกษตรกรรมด้วยวัสดุถ้ำกลบ และซีเมนต์ถ้ำกลบกระตุ้น พบว่า วิธีแบบถังแช่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อม ภาวะที่เหมาะสมได้แก่ น้ำหนักวัสดุ 60 กรัมต่อปริมาตรน้ำตัวอย่าง 1000 มิลลิลิตร (ในน้ำที่มีปริมาณสีประมาณ 2000 มิลลิกรัม/ลิตร) คนและแช่ด้วยวัสดุถ้ำกลบและซีเมนต์ถ้ำกลบเป็นเวลา 7-10 วัน พบว่าร้อยละการลดลงของสีมีค่า 70-75 และ 91-98 ตามลำดับ หรือประสิทธิภาพการดูดซับสีของวัสดุถ้ำกลบ และซีเมนต์ถ้ำกลบกระตุ้น เป็น 105.2 และ 100.3 มิลลิลิตรต่อกรัมวัสดุ วิธีการบำบัดเริ่มแรกแช่น้ำสีย้อมโดยน้ำหนักวัสดุในอัตราส่วน 400 กรัมต่อลิตร ของน้ำสีย้อม แล้วนำน้ำไปผ่านถังบำบัดเป็นเวลา 7 วัน พบว่าร้อยละการลดลงค่าปริมาณของแข็ง ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี (ซีโอดี) ปริมาณโลหะหนักตะกั่วและโครเมียมเท่ากับ 94.63, 99.18, 98.40, 93.40 และ 91.60 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า ถังบำบัดน้ำสีย้อมเคมี มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ดี กล่าวคือสามารถสังเกตุด้วยสายตาได้ว่าจากน้ำสีย้อมสีเข้ม ๆ ถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นน้ำที่เกือบไม่มีสี



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม  
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

## ABSTRACT

The object of research were studied flow and batch methods for the removal of synthetic dyes and heavy metal from dying wastewater using rice husk ash (RHA) and activated rice ash (ARH). The results indicated that batch process provided higher efficiency. The optimum sorbent dosages were 60 g for 100 ml dying wastewater (dye contents 2000 mg/l), suitable contact time was 5-7 days. The percent removals of dyes were about 70-75 and 91-98 using RHA and ARH respectively. The sorbent Capacities of RHA and ARH found 105.2 mg/g and 100.3 mg/g, respectively. The dying wastewater was mixed with RHA (400 g/l) and leaved for 7 days. The liquid then was decanted into the plant via the middle pipe and passing through and this process was continued until the RHA sorbent while flowing upward. The effluent passes through the overflow outlet and slowly passes through soil by gravity force. The total solid (TS), the chemical oxygen demanded (COD), synthetic dyes, lead and chromium in the effluent were 94.63, 99.18, 98.40, 93.40 and 91.60% decreased respectively. It can be concluded that a cheap, high efficiency and ease to use treatment plant was achieved.

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
สารบัญคำย่อ.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 ทฤษฎีและแนวทางการคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย.....	3
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	13
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	13
1.6 หน่วยงานที่นำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์.....	13
บทที่ 2 วิธีการทดลองและผลการทดลอง.....	14
2.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	14
2.2 การวิเคราะห์ลักษณะของวัสดุชุดขับ.....	18
2.3 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ.....	19
2.4 การศึกษาการออกแบบวิธีการบำบัดน้ำเสียอ้อมเคมีจากแบบ จำลองในห้องปฏิบัติการ.....	20
2.5 การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียอ้อมเคมีภาคสนาม.....	65
บทที่ 3 บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	68
3.1 สรุปการศึกษาการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียอ้อมเคมี ในห้องปฏิบัติการ.....	68
3.2 สรุประบบบำบัดน้ำเสียอ้อมเคมีภาคสนามที่ใช้สาริต.....	71
บรรณานุกรม.....	73
ภาคผนวก.....	75
ภาคผนวก ผ.ก วิธีการวิเคราะห์.....	75
ภาคผนวก ผ.ข มาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมใน ประเทศไทย.....	79
ภาคผนวก ผ.ค รูปภาพอุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์.....	81

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 สมบัติของการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ.....	๗
2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้สีย้อมเคมีของกลุ่มทอผ้าสตรีบ้านดอนกลาง อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคามจำนวน10ครอบครัว.....	14
2.2 รายละเอียดเกี่ยวกับเจดสีย้อม และยี่ห้อที่กลุ่มสตรีจำนวน10 ครอบครัวบ้านไช้ .....	15
2.3 ข้อมูลน้ำตัวอย่างสีย้อมเคมีผู้ที่ย้อมผ้าด้วยสีเคมีบ้านบ้านดอนกลาง อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม .....	17
2.4 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำสีย้อม.....	19
2.5 การศึกษาการดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแมงกานีส ของแกลบธรรมดา.....	21
2.6 การศึกษาการดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแมงกานีสของแกลบที่ กระตุ้นด้วยกรดไนตริก.....	21
2.7 การศึกษาการดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแมงกานีส ของถ่านแกลบ.....	21
2.8 แสดงการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยกรดไฮโดรคลอริกโดย ใช้เทคนิค pH Meter ของตัวดูดซับชนิดชนิดต่างๆ.....	25
2.9 แสดงการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์โดย ใช้เทคนิค pH Meterของตัวดูดซับชนิดต่าง ๆ.....	26
2.10 แสดงการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับด้วยกรดไฮโดรคลอริกโดย ใช้เทคนิค Electrical conductivity ของตัวดูดซับชนิดต่าง ๆ.....	28
2.11 แสดงการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้เทคนิค Electrical conductivity ของตัวดูดซับชนิดต่างๆ.....	29
2.12 แสดงการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยโซเดียมคลอไรด์โดย ใช้เทคนิค Electrical conductivity ของตัวดูดซับชนิดต่าง ๆ.....	31
2.13 แสดงการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยโซเดียมซัลเฟตโดย ใช้เทคนิค Electrical conductivity ของตัวดูดซับชนิดต่าง ๆ.....	32
2.14 แสดงการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยกรดไฮโดรคลอริกโดยหา ปริมาณของแข็ง ทั้งหมด ของตัวดูดซับชนิดต่าง ๆ.....	33
2.15 แสดงค่าบีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนและหลังการบำบัดด้วยแกลบ.....	35
2.16 แสดงค่าซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนและหลังการบำบัดด้วยแกลบ.....	37

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
2.17	ค่าการดูดกลืนแสงของสีเขียวที่ผ่านการบำบัดด้วยแสง.....	39
2.18	ค่าการดูดกลืนแสงของสีเทาที่ผ่านการบำบัดด้วยแสง.....	44
2.19	ค่าการดูดกลืนแสงของสีน้ำตาลที่ผ่านการบำบัดด้วยแสง.....	48
2.20	ค่าการดูดกลืนแสงของสีแดงที่ผ่านการบำบัดด้วยแสง.....	53
2.21	ค่าการดูดกลืนแสงของสีเหลืองที่ผ่านการบำบัดด้วยแสง.....	58
2.22	ข้อมูลการทดลองแบบไหล (ภาชนะใหญ่) หลังบำบัด.....	64
2.23	ข้อมูลร้อยละการลดลงหลังบำบัด การทดลองแบบไหล (ภาชนะใหญ่).....	64



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม  
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	4
1.2	5
1.3	6
2.1	18
2.2	19
2.3	20
2.4	22
2.5	23
2.6	23
2.7	24
2.8	25
2.9	26
2.10	28
2.11	30
2.12	31
2.13	32
2.14	34
2.15	35
2.16	36

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.17	37
2.18	38
2.19	39
2.20	40
2.21	40
2.22	41
2.23	42
2.24	42
2.25	43
2.26	44
2.27	45
2.28	45
2.29	46
2.30	46
2.31	47
2.32	47
2.33	49
2.34	50
2.35	50
2.36	51
2.37	51
2.38	52

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.39	เปอร์เซ็นต์การดูดซับของสีน้ำตาลด้วยแกลบธรรมดาและซีเถ้าแกลบ หรือแกลบดำ.....	52
2.40	กราฟการดูดกลืนแสงของสีแดงที่ผ่านการบำบัดด้วยแกลบธรรมดา.....	54
2.41	แสดงการเปรียบเทียบของสีแดงก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยแกลบธรรมดา...	55
2.42	เปอร์เซ็นต์การดูดซับของสีแดงด้วยแกลบธรรมดา.....	55
2.43	กราฟการดูดกลืนแสงของสีแดงที่ผ่านการบำบัดด้วยซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำ..	56
2.44	แสดงการเปรียบเทียบของสีแดงก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยซีเถ้าแกลบ หรือแกลบดำ.....	56
2.45	แสดงเปอร์เซ็นต์การบำบัดของสีแดงด้วยซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำ.....	57
2.46	เปอร์เซ็นต์การบำบัดของสีแดงแกลบธรรมดาและซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำ.....	57
2.47	กราฟการดูดกลืนแสงของสีเหลืองที่ผ่านการบำบัดด้วยแกลบธรรมดา.....	59
2.48	แสดงการเปรียบเทียบของสีเหลืองก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยแกลบธรรมดา...	60
2.49	แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับของสีเหลืองด้วยแกลบธรรมดา.....	60
2.50	กราฟการดูดกลืนแสงของสีเหลืองที่ผ่านการบำบัดด้วยซีเถ้าแกลบ หรือแกลบดำ.....	61
2.51	การเปรียบเทียบของสีเหลืองก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยซีเถ้าแกลบ หรือแกลบดำ.....	61
2.52	เปอร์เซ็นต์การดูดซับของสีเหลืองด้วยซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำ.....	62
2.53	เปอร์เซ็นต์การบำบัดของสีเหลืองด้วยแกลบธรรมดาและซีเถ้าแกลบ หรือแกลบดำ.....	62
2.54	แสดงการบำบัดแบบระบบไหล.....	63
2.55	ภาพการออกแบบถังบำบัดน้ำเสียอ้อมเคมี (ภาพสเกต).....	66

## สารบัญย่อ

AAS	อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี
AAS (non - flame)	กราไฟต์เฟอร์เนอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี
AR	สารเคมีเกรดสำหรับวิเคราะห์
ASV	เทคนิคแอนโอดิก สตรีปปีงโวลแทมเมตรี
ASP	เทคนิคแอนโอดิก สตรีปปีงโพลารोगราฟี่
DPASV	ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์แอนโอดิก สตรีปปีงโวลแทมเมตรี
DPMODE	โหมดดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์
Peak current	กระแสไฟฟ้าของพีค
µg	ไมโครกรัม
HMDE	ขั้วไฟฟ้าหยดปรอทแบบแขวน
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
ml	มิลลิลิตร
mV	มิลลิโวลต์
µA	ไมโครแอมแปร์
nA	นาโนแอมแปร์
ppb	ส่วนในพันล้านส่วน
ppm	ส่วนในล้านส่วน
SD	สแตนดาร์ด ดีวีเอชัน
R <sup>2</sup>	คอร์รีเลชัน แฟกเตอร์
kg	กิโลกรัม

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในชนบทภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้มีการทอผ้าไหม เพื่อไว้ใช้เองหรือเพื่อการค้า ซึ่งส่วนใหญ่ทำเป็นงานในครัวเรือน หรืออาจมีการรวมกันเป็นกลุ่ม ขั้นตอนการฟอกย้อมเส้นไหมนั้น ขั้นแรกจะทำการฟอกสีโดยใช้สารฟอกขาว ผสมต่าง (โซดาไฟ) ขั้นที่สองเป็นการย้อมสีซึ่งส่วนใหญ่เป็นสีสังเคราะห์ (สีเคมี) โดยนำสีมาผสมกับน้ำ น้ำมันพืช ผงฟอกขาว และโซดาแอช จากขั้นตอนนี้พบว่าน้ำหลังการย้อมเส้นไหมแล้วจะถูกเททิ้งโดยไม่ได้ผ่านการบำบัด ซึ่งจะก่อให้เกิดมลพิษ และทำลายสิ่งแวดล้อมได้ เนื่องจากสีย้อมเคมี เป็นสารอินทรีย์มีสูตรโครงสร้างใหญ่ซับซ้อน และอาจมีโลหะหนักที่เป็นพิษบางตัวผสมอยู่ได้แก่ โครเมียม (Cr) ตะกั่ว (Pb) และแมงกานีส (Mn) เป็นต้น ดังนั้นเพื่อเป็นการลดและแก้ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม จึงน่าจะมีการนำวัสดุธรรมชาติ เช่น ใต้อาจากโรงสี และขี้เถ้า เป็นต้น วัสดุเหล่านี้เป็นวัสดุทิ้งจากโรงสีที่หาง่าย และเหลือใช้ (ทิ้ง) ซึ่งมีสมบัติในการกำจัดสี และโลหะบางตัวได้ดี มาใช้ในการบำบัดน้ำสีย้อมเคมีโดยออกแบบให้เหมาะสม ใช้ง่าย และราคาถูก เพื่อช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน แล้วทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดต้นแบบที่สร้างขึ้นเพื่อปรับปรุงและให้กลุ่มสตรีทอผ้าใช้ต่อไป

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ในอดีตมนุษย์มีทัศนคติว่าน้ำมีอยู่ทั่วไปอย่างเพียงพอ และมนุษย์ได้ใช้โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบหลายๆ ประการที่อาจจะเกิดขึ้นตราบจนกระทั่งแหล่งน้ำนั้นๆ เริ่มมีปัญหาทั้งในแง่ของปริมาณและคุณภาพ ปัจจุบันทัศนคตินี้เปลี่ยนไป มนุษย์เริ่มตระหนักถึงความจำเป็นที่จะต้องรักษาทรัพยากรที่มีค่านี้เพื่อให้มีทรัพยากรน้ำที่สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างเพียงพอและยั่งยืน สำหรับแหล่งน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปมักจะมีสารต่างๆ ละลายอยู่มาก เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี ไอออนของโลหะที่พบในน้ำธรรมชาติ ได้แก่ โซเดียม (Na) แคลเซียม (Ca) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ส่วนไอออนของโลหะที่มีปริมาณน้อยได้แก่ ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb)ปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) และนิเกิล (Ni) เป็นต้น ซึ่งถ้าหากมีไอออนของโลหะเหล่านี้ปริมาณ มากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เช่นน้ำบาดาลระดับตื้นจะมีปริมาณไอออนของโลหะค่อนข้างสูง และปัจจุบันมีการใช้น้ำบาดาลมากขึ้นเรื่อยๆ บางแห่งนำไปทำน้ำประปาโดยผ่านเครื่องกรองก่อนนำไปใช้ ซึ่งพบว่าไอออนของโลหะใน น้ำบาดาลส่งผลเสียต่อพืช เช่นไอออนของเหล็กทำให้เกิดปัญหาการเคลื่อนของสนิมเหล็กที่รากข้าว ส่งผลให้ข้าวเกิดความเสียหายเป็นอย่างมาก ดังนั้นเพื่อลดปริมาณไอออนของโลหะให้เหลือน้อยที่สุด จึงควรปรับสภาพของน้ำให้มีสภาพที่ เหมาะสมก่อนที่จะนำไปใช้งาน การบำบัดน้ำให้สะอาดสามารถแบ่งได้เป็น 5 แบบ

1) การจับกลุ่มและการตกตะกอน (flocculation and precipitation) โดยการจับกลุ่มในกระบวนการบำบัดน้ำ คือการที่อนุภาคขนาดเล็กเกิดการรวมตัวให้ใหญ่ขึ้นแล้วตกตะกอนนอนกันลงไป โดยนิยมใช้สารส้ม เหลือของเหล็ก และพอลิเมอร์อินทรีย์สังเคราะห์

2) การกรอง (filtration) จะใช้ตัวกรองแยกอนุภาคที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ ตะกอน ดิน ทราวย เหล็ก แมงกานีส อินทรีย์วัตถุ และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก

3) การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) นิยมใช้ในการแยกอินทรีย์วัตถุที่ไม่สามารถกำจัดออกได้ ด้วยการกรองหรือการตกตะกอน ซึ่งการแลกเปลี่ยนประจุใช้ในการแก้ไขน้ำกระด้างโดยจะแยกสารหนู โครเมียม ฟลูออไรด์ส่วนเกิน ไนเตรท เรเดียม และยูเรเนียม

4) การดูดซับ (adsorption) จะใช้แยกอินทรีย์สาร สี กลิ่น และรสที่ปนเปื้อน โดยอาศัยสารดูดซับที่นิยมใช้ คือ ถ่านกัมมันต์

5) การฆ่าเชื้อ (disinfection) ในน้ำเสีย สารเคมีที่นิยมใช้ ได้แก่ คลอรีน คลอรามิน คลอรีนออกไซด์ ซึ่งรวมไปถึงการฆ่าเชื้อที่อยู่ในท่อน้ำที่ส่งออกด้วยการใช้โอโซน และการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตแนวทางในการกำจัดไอออนของโลหะในน้ำ ควรคำนึงถึงปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถทำได้โดยการลดปริมาณการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายลง หาสารเคมีที่อันตรายน้อยมาใช้ทดแทนสารเคมีที่เป็นอันตราย และเมื่อใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย ควรทำการกำจัดด้วยวิธีที่เหมาะสม การกำจัดไอออนของโลหะในน้ำ มีหลายวิธี เช่น

การตกตะกอน คือการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นพิษ โดยการเติม สารเคมีที่เหมาะสมให้ไปรวมตัวกับไอออนของโลหะ จะทำให้เกิดตะกอน แล้วจึงใช้กระบวนการกรองเพื่อแยกตะกอนออกไป

การแลกเปลี่ยนไอออน โดยไอออนของโลหะสามารถถูกกำจัดออกจากสารละลายได้ โดยการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไอออนของโลหะกับสารดูดซับที่มีประจุและ ต้องอยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของตัวแลกเปลี่ยนไอออน

การสกัด (extraction) คือการใช้ตัวทำละลาย สำหรับสกัดไอออนของโลหะ

การดูดซับ คือการที่โมเลกุลหรือมวลสารถูกดูดซับบนผิวของ สารดูดซับ เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของสารดูดซับหรือในทางกลับกัน จะเป็นการลดลงของความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของสารดูดซับ จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างสารดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับ สารดูดซับที่นิยมในการกำจัดไอออนของโลหะได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ถ่านกระดูก และซิลิกาเจล เป็นต้น

## 1.2 ทฤษฎี และ แนวทางความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย

### 1.2.1 ความเป็นพิษของโลหะ

**ตะกั่ว (Pb) :** เป็นโลหะที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ตะกั่วที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมตั้งถั่ว สร้างปัญหามลภาวะให้กับประชาชนด้วยการเพิ่มของปริมาณตะกั่วตกค้างสะสมในสิ่งแวดล้อม คือในอากาศ ในดิน ในน้ำ ในพืช และในสัตว์ ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน

ตะกั่วเป็นโลหะที่ร่างกายไม่ต้องการ ถั่วคือ ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบเมตาโบลิซึมหรือกระบวนการย่อยอาหาร ยิ่งไปกว่านั้นตะกั่วยังเป็นพิษต่อร่างกายอย่างมากถ้าร่างกายรับเข้าไปในปริมาณสูง โดยปกติร่างกายมนุษย์สามารถทนต่อตะกั่วในปริมาณสูงพอสมควร มีการวิจัยพบว่าคนทั่วไป ถ้ามีตะกั่วในเลือดประมาณ 0.25 ppm จะไม่ก่อให้เกิดอาการเป็นพิษแต่อย่างไร แต่ถ้าร่างกายรับตะกั่วเข้าไปในปริมาณมากในทันทีทันใด เช่นในเลือดมีมากกว่า 0.8 ppm จะเกิดอาการเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน เช่นเกิดอาการปวดท้องอย่างแรง อุจจาระมีสีดำ (เกิดจาก PbS ในอุจจาระ) เกิดอาการซีดตื้นเด่นง่าย ความจำเสื่อม และทำอันตรายต่อไต อาการพิษตะกั่วอย่างเฉียบพลันมักเกิดกับคนงานที่ทำงานในอุตสาหกรรมที่ใช้ตะกั่วในกระบวนการผลิต เช่น โรงงานสังเคราะห์เตตระเอทิลเลด โรงงานแบตเตอรี่รถยนต์ เป็นต้น แต่สำหรับคนทั่วไปพิษของตะกั่วที่เกิดขึ้นเป็นแบบสะสม ถั่วคือ ร่างกายรับตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่วเข้าไปทีละเล็กละน้อย ในปริมาณก็ยังมากกว่าที่ร่างกายจะสามารถขับถ่ายออกไปได้

สาเหตุการเกิดอาการพิษจากตะกั่ว เนื่องมาจากตะกั่วสามารถขัดขวางการเกิดฮีโมโกลบินของร่างกายโดยขัดขวางการสังเคราะห์ porphyrin ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตฮีโมโกลบิน นอกจากนี้แล้วยังสามารถขัดขวางการทำงานของเอนไซม์อีกด้วย นอกจากนี้ ตะกั่ว สามารถไปยับยั้งการสร้าง เม็ดเลือดแดงของไขกระดูกทำให้เกิดโรคโลหิตจาง และเมื่อไปสะสมที่ไตทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของไตลดลง จนเกิดอาการไตวายได้ และยังพบอีกว่า ตะกั่วจะเข้าไปทำลายเซลล์สมอง และประสาท ทำให้เกิดอาการต่าง ๆ ทางสมอง เช่น เกิดภาพหลอน เวียนศีรษะ คลุ้มคลั่ง ชัก เป็นอัมพาต ปวดท้องอย่างรุนแรง แต่ตำแหน่งไม่แน่นอน อ่อนเพลีย หมดสติ และตายไปในที่สุด

**โครเมียม (Cr):** ในปัจจุบันมีการนำโครเมียมมาใช้ในผลิตภัณฑ์ น้ำมันสี เป็นต้น เมื่อหายใจเอาโครเมียมเข้าไป จะทำให้เกิดอาการ ระคายเคืองในปอด และอาจก่อให้เกิดมะเร็งได้ นอกจากนี้โครเมียมยังทำความระคายเคืองต่อทางเดินอาหารเมื่อรับประทานเข้าไป

**แมงกานีส (Mn) :** แมงกานีสเป็นส่วนประกอบทางโครงสร้างของกระดูก และเอนไซม์ โดยทั่วไป ร่างกายต้องการแมงกานีสประมาณวันละ 3.0-4.0 มิลลิกรัม แต่ถ้าร่างกายได้รับแมงกานีสในปริมาณสูง จะทำให้ทางเดินอาหาร และผิวหนังอักเสบ ปวดศีรษะ ประสาทส่วนกลางถูกทำลายและเป็นอัมพาต

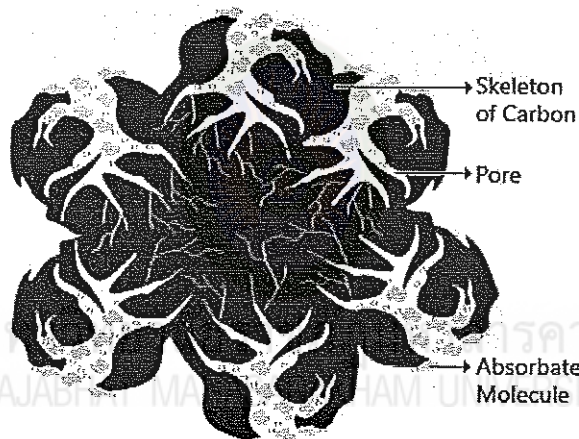
## 1.2.2 สมบัติวัสดุดูดซับและตัวถูกดูดซับ (สีย้อมเคมี)

### 1 วัสดุดูดซับแก้วกลบร่องสี และซีโต้แก้วกลบร่องสี

เป็นการเผาเปลือกข้าวโดยไม่จำกัดออกซิเจนจะได้แก้วกลบดำที่มีรูพรุนขนาดต่าง ๆ (มีพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนต่างกัน) และมีปริมาณคาร์บอนและซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก

#### ก. คาร์บอน (C) หรือถ่าน

ถ่านเป็นของแข็งอสัณฐานสามารถเตรียมได้จากการเผาวัสดุหลายชนิด เช่น แก้วกลบร่องสี กะลามะพร้าว ซีโต้ย ไม้เปลือกแข็ง และถ่านหิน เป็นต้น คุณภาพของคาร์บอนขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้เผา และอุณหภูมิในการเผาซึ่งจะมีผลต่อขนาดรูพรุนภายในของคาร์บอนทำให้ถ่านมีความสามารถในการดูดซับสารเคมีและโลหะได้ ดังนั้นจึงนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น ใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ใช้กำจัดกลิ่นและสี ในการกรองน้ำ เป็นต้น คาร์บอนหรือถ่านมีสมบัติคล้ายกับถ่านกัมมันต์ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างของถ่านกัมมันต์แสดงดังรูปที่ 1.1

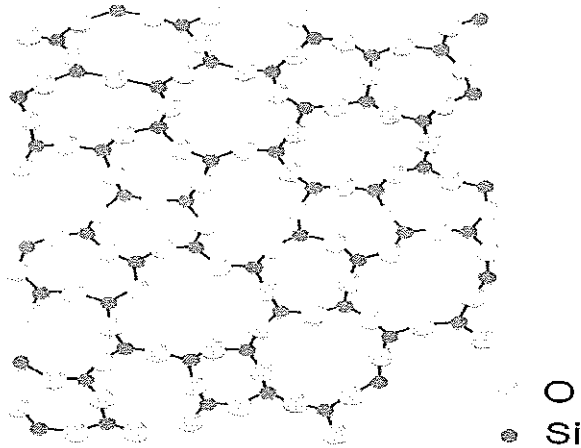


รูปที่ 1.1 ลักษณะถ่านกัมมันต์ และถ่านพร้อมขนาดของรูพรุนต่าง ๆ

#### ข. ซิลิกา (Silica), $\text{SiO}_2$

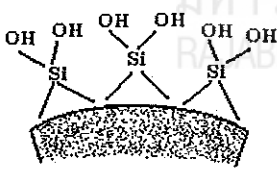
ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์มีองค์ประกอบหลักคือ ซิลิกอนและออกซิเจน ซิลิกาจัดเป็นองค์ประกอบหลักของวัสดุในธรรมชาติ เช่น ซีโต้ แก้ว และทราย เป็นต้น ซิลิกาที่เป็นของแข็งอสัณฐานสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น สารดูดความชื้น วัสดุดูดซับ ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกและเป็นวัสดุสำคัญในการทำซิลิกอนอัลลอยและซิลิโคน เป็นต้น ที่อุณหภูมิปกติซิลิกาทนต่อสารเคมีหลายชนิด และความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับโครงสร้าง (รูปที่ 1.2) และยังพบว่า ออสัณฐานซิลิกานั้นสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าซิลิกาผลึก



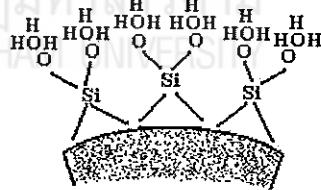


รูปที่ 1.2 โครงสร้างของซิลิกา เป็นโครงร่างตาข่าย  $\text{SiO}_4^{2-}$

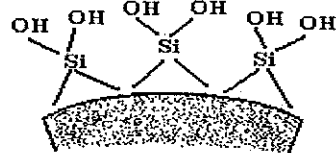
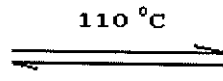
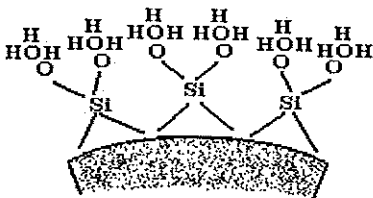
ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาของออสตรอนซิลิกาจะถูกกำหนดโดยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และหมู่ไฮเลนอล (Si-OH) ซึ่งปกติหมู่ฟังก์ชันกลุ่มนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในภาวะที่แตกต่างกัน ลักษณะของหมู่ฟังก์ชันแสดงดังรูปที่ 1.3 (ก) ถึง (ง)



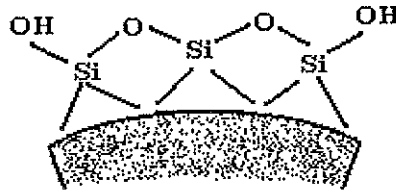
(ก) ผิวของซิลิกา (มีความชื้น)



(ข) ผิวซิลิกาเมื่ออยู่ในตัวทำละลายน้ำ



(ค) แสดงการเปลี่ยนแปลงผิวของซิลิกา (ก) และ (ข)



(ง) หมู่ Silinol ที่สูญเสียน้ำ (dehydrate) เมื่อได้รับความร้อน

### รูปที่ 1.3 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของซิลิกาในสภาวะต่าง ๆ

จากภาพที่ 1.3 (ก) เป็นผิวของซิลิกาซึ่งจะมีหมู่ไฮดรอกซิล Si-OH และเมื่ออยู่ในตัวทำละลายที่เป็นน้ำจะถูกโมเลกุลของน้ำล้อมรอบ (ภาพที่ 1.3 (ข)) นอกจากนี้พบว่าเมื่อผิวของซิลิกาถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำจะอยู่ในรูปของคอลลอยด์ แต่เมื่อถูกทำให้เย็นจะกลับสู่สภาพเดิม เป็นกระบวนการผันกลับได้ ภาพที่ 1.3 (ค) แต่เมื่อหมู่ซิลิกอนคลอไรด์เข้าแทนที่ไฮโดรเจนบนผิวซิลิกา พบว่าไม่เสถียรในสภาพที่ชื้นและหมู่ Si-OH จะเกิดสูญเสียน้ำ (dehydrated) เมื่อได้รับความร้อน ภาพที่ 1.3 (ง)

## 2. สีย้อมผ้า

สีย้อมผ้าสำหรับย้อมเส้นใยหรือสิ่งทอในอุตสาหกรรมที่แพร่หลายในปัจจุบัน เป็นสีที่ส่วนใหญ่สังเคราะห์ขึ้นจากสารเคมีชนิดต่าง ๆ กัน และมีโลหะที่มีพิษเป็นส่วนผสม จำแนกตามสมบัติและวิธีใช้ ซึ่งแบ่งได้เป็น

ก. สีเบสิก (Basic dyes) เป็นเกลือเบสของสารอินทรีย์ เมื่อละลายน้ำ จะแตกตัวเป็นอออนบวก บางครั้ง จะเรียกว่า สีแคทอออน (cation dyes) สามารถเกาะติดเส้นใยพวกโปรตีนได้

ข. สีแอซิด (Acid dyes) เป็นสีที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ (เกลือกรด) เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็น อออนลบ ซึ่งอาจเรียกว่า สีแอนอออน (anion dyes) ส่วนใหญ่เป็นเกลือโซเดียมของกรดซัลโฟนิก สามารถเกาะติดเส้นใยโปรตีนได้ดี

ค. สีมอร์แกนต์ (Morcant dyes) เป็นสีที่ต้องใช้ร่วมกับสารซึ่งทำหน้าที่เชื่อมโยงกับเส้นใยหรือที่เรียกว่า มอร์แกนต์ (เป็นเกลือของโลหะบางชนิด เช่น เกลือของโลหะอลูมิเนียม โครเมียม โคบอลต์ นิกเกิล ทองแดง และเหล็ก (รวมทั้งกรดแทนนิก) เป็นต้น เพราะเมื่อนำผ้าไปแช่หรือต้มกับมอร์แกนต์เกลือของโลหะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้สารประกอบของไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำแทรกตัวอยู่ใน เส้นใย และเมื่อนำผ้าไปย้อมสี สีจะซึมเข้าไปจับกับมอร์แกนต์ สีในกลุ่มนี้ใช้ย้อมผ้าใหม่ได้ดี

ง. สีไดเรกต์ (Direct dyes) เป็นเกลือของกรดที่มีสี เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็นอออน ซึ่งมีประจุลบ ส่วนใหญ่ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส

จ. สีแวต (Vat dyes) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำแต่สามารถเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ เมื่อทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ และตัวรีดิวซ์ สารประกอบที่เกิดขึ้นนี้สามารถเกาะติดเส้นใย เซลลูโลสได้ดี หลังจากนั้นต้องออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนในอากาศ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือโพแทสเซียมไดโครเมต จึงกลับเป็นสารเดิม และมีสีเกิดขึ้น

ข. สีเอโซอิก (Azoic dyes) ตัวสีไม่ละลายน้ำ การเกิดสีบนเส้นใยทำได้โดยการย้อมกับสารประกอบฟีนอลที่ละลายในน้ำก่อน แล้วจึงนำไปย้อมด้วยเกลือไดอะโซเนียมอีกครั้งเกลือนี้จะทำปฏิกิริยากับ สารประกอบฟีนอลเกิดเป็นสารประกอบเอโซติกที่ให้สีบนเส้นใย สีในกลุ่มนี้ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส

ค. สีดีสเพอร์ส (Disperse dyes) สีชนิดนี้เมื่อผสมลงในน้ำแล้วเม็ดสีจะกระจายอยู่ในรูปของคอลลอยด์ ปัจจุบันสีชนิดนี้ใช้พิมพ์ผ้าจำพวก โพลีเอสเตอร์ เซลลูโลสอะซิเตต และเซลลูโลสไดอะซิเตต

ง. สีรีแอคทีฟ (Reactive dyes) เป็นสีที่ละลายน้ำได้ง่าย โมเลกุลของสีประกอบด้วยส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (Reactive dyes) เป็นสีที่ละลายน้ำได้ง่าย โมเลกุลของสีประกอบด้วยส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีโดยตรงกับเส้นใยเซลลูโลส โดยการเกิดพันธะโควาเลนต์กับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใย

ช. สีกำมะถัน (Sulphur dyes) ในโมเลกุลของสีจะมีกำมะถันเป็นองค์ประกอบไม่ละลายน้ำในการย้อม ต้องละลายสีที่ถูกรีดิวซ์แล้วในสารละลายเบส และเมื่อถูกออกซิไดซ์จะมีสีเกิดขึ้น ซึ่งเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ส่วนใหญ่ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส

ฉ. สีพิกเมนต์ที่ใช้กับเรซิน (Pigment resin binder system) เป็นผงละเอียดไม่ละลายน้ำ การเกาะติดเส้น ใยต้องอาศัยเรซินเป็นตัวช่วย ส่วนใหญ่ใช้ย้อมและพิมพ์ผ้าฝ้าย

### 3. ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) หมายถึง การที่โมเลกุลของสารถูกดึงเข้ามาติดผิวของสารดูดซับ หรือการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวของสารถูกดูดซับ (adsorbate) ที่สัมผัสโดยตรงกับสารดูดซับ (adsorbent) โดยสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวต่ำจะถูกดูดซับได้ แต่สารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงจะไม่ถูกดูดซับ พลังงานอิสระที่ผิวของสารดูดซับจะมีความสัมพันธ์กับแรงดึงผิวและพื้นที่ผิว ดังสมการ (1) เมื่อความตึงผิว (surface tension) หรือพื้นที่ผิว (surface area) เปลี่ยนไปจะเป็นผลทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพลังงานอิสระที่ผิว ( $\Delta G_{\text{surface}}$ )

$$\Delta G_{\text{surface}} = \gamma A \dots \dots \dots (1)$$

เมื่อ  $\Delta G_{\text{surface}}$  = พลังงานอิสระที่ผิว

$\gamma$  = ความตึงผิว

A = พื้นที่ผิว

ปริมาณสารที่ถูกดูดซับขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสัมบูรณ์ ความดันและพลังงานศักย์ของอันตรกิริยา (Interaction potential energy) ระหว่างสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซ กับสารที่ถูกดูดซับซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือของแข็ง ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันหรือความเข้มข้น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำให้ปริมาณการดูดซับเปลี่ยนแปลง การดูดซับบนผิวของแข็ง แบ่งออกได้ตามแรงที่ดูดซับระหว่างพื้นผิวโมเลกุลเป็น 2 ชนิด คือ การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption หรือ physisorption) แรงที่ใช้ดูดซับเป็นแรง แวนเดอ วาลส์ (van der Waals) เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างสารที่อยู่ในของเหลวกับสารที่ถูกดูดซับมี มากกว่าแรงดึงดูดระหว่างสารในของเหลวกับของเหลว ทำให้สารที่อยู่ในของเหลวเข้าติดอยู่ที่สารที่ถูกดูดซับแทน ตัวอย่างเช่น การดูดซับของถ่านกัมมันต์ ซึ่งภายในโครงสร้างของพื้นผิวมีรูพรุนมากทำให้มีการดูดซับบนพื้นผิวของสารที่ถูกดูดซับสูงขึ้น ดังนั้นรูพรุนของสารที่ถูกดูดซับจึงมีความสำคัญส่วนการดูดซับทางเคมี (chemical adsorption หรือ chemisorption) แรงที่ใช้ดูดซับเป็นพันธะโคเวเลนต์ มักเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตของสารที่ถูกดูดซับ โดยมีค่าพลังงานสูงมากใน การเกิดพันธะและการดูดซับทางเคมีเป็นการดูดซับอย่างแท้จริง สมบัติการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพแสดงไว้ในตาราง 1.1

ตารางที่ 1.1 สมบัติของการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ

การดูดซับทางเคมี	การดูดซับทางกายภาพ
ค่าความร้อนของการดูดซับ 100-500 kJ/mol	ค่าความร้อนของการดูดซับประมาณ 20 kJ/mol หรือน้อยกว่า
เกิดได้ที่อุณหภูมิสูง	เกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ
ไม่เกิดการผันกลับ	เกิดการผันกลับได้เป็นส่วนใหญ่
เกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียว	เกิดการดูดซับหลายชั้น
มีพลังงานก่อกัมมันต์เกี่ยวข้อง	ไม่มีพลังงานก่อกัมมันต์ในกระบวนการ
แรงดึงดูดของสารดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับเป็นแรงดึงดูดอย่างแข็งแรง	แรงดึงดูดของสารดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับเป็นแรงดึงดูดอย่างอ่อนๆ

ไอโซเทอมของการดูดซับ (adsorption isotherm) เป็นความสัมพันธ์ของปริมาณสารที่ถูกดูดซับที่พื้นผิวกับความดันของก๊าซหรือความเข้มข้นของสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ สำหรับการดูดซับตัวถูกละลายบนผิวแข็งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายที่ภาวะสมดุลที่อุณหภูมิใดๆ ไอโซเทอมการดูดซับแบ่งออกได้เป็น ดังนี้

**ก. ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) ในปี ค.ศ.1916 เออร์วิง แลงเมียร์ (Irving Langmuir) ได้เสนอไอโซเทอมแบบง่ายที่สุด**

โดยมีสมมติฐานคือ 1) ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption) 2) โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน 3) ในแต่ละโมเลกุลของสารดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันและคงที่ ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกันจากการศึกษาไอโซเทอมของแลงเมียร์ที่สภาวะสมดุล สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับสารละลายได้ดังสมการ (2)

$$q_e = Q^{\circ} b C_e / (1 + b C_e) \dots\dots\dots(2)$$

- เมื่อ  $q_e$  = ปริมาณของสารถูกดูดซับบนสารดูดซับหนักหนึ่งกรัม
- $C_e$  = ความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล
- $Q^{\circ}$  = ปริมาณของสารถูกดูดซับอิ่มตัวแบบชั้นเดียว
- $b$  = ค่าคงที่แลงเมียร์ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

หรือ  $C_e/q_e = 1/bQ^{\circ} + C_e/Q^{\circ} \dots\dots\dots(3)$

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง  $C_e/q_e$  กับ  $C_e$  จะได้กราฟเส้นตรง มีจุดตัดแกน  $C_e/q_e$  เป็น  $1/bQ^{\circ}$  และมีความชันเท่ากับ  $1/Q^{\circ}$

**ข. ไอโซเทอมแบบฟรอนด์ลิค (Freundlich isotherm)**

ในปี ค.ศ. 1880-1941 นักฟิสิกส์-เคมี ชาวเยอรมัน Herbert Max Finlay Freundlich ได้เสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ปริมาณของสารถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายดังสมการ (3)

$$q_e = X/m = k_f C_e^{1/n} \dots\dots\dots(4)$$

- เมื่อ  $C_e$  = ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือหลังการดูดซับที่สมดุล
- $X/m$  = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับ
- $k_f$  และ  $n$  = ค่าคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

จากสมการฟรอนด์ลิค เมื่อใส่ลอการิทึม (logarithm) จะได้สมการ

$$\log q_e = \log X/m = \log k_f + (1/n) \log C_e \dots\dots\dots(5)$$

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง  $\log X/m$  กับ  $\log C_e$  ที่อุณหภูมิคงที่ จะได้กราฟเส้นตรงจุดตัดแกนสามารถนำมาหาค่า  $k_f$  ได้ และความชันของกราฟเป็น  $1/n$  บางกรณีที่พล็อตกราฟระหว่าง  $\log X/m$  กับ  $\log C_e$  แล้วไม่ได้เส้นตรงแสดงว่าเกิดการ เบี่ยงเบน ไปจากสมการของฟรอนด์ลิค เช่น การดูดซับสารละลายที่ไม่ได้วัดจากน้ำหนักจริงของ สารดูดซับ แต่ค่าจากสารถูกดูดซับในตัวทำละลายปริมาณมาก ทำให้สารถูกดูดซับที่เหลือที่ความ เข้มข้นสูงจึงมีปริมาณลดลง

**1.1.3 ไอโซเทอมแบบบรูเนาเออร์-เอมเมทท์-เทลเลอร์ (Brunauer-Emmett-Teller isotherm)**

ในปี ค.ศ. 1903-1986 นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกัน Stephen Brunauer และ ในปี ค.ศ. 1900-1985 Paul Emmett และ Edward Teller ได้ศึกษาการดูดซับหลายชั้นและเสนอตั้งสมการ (6)

$$P \cdot P_o / (P_o - P) = 1/V_o k + P/P_o \dots\dots\dots(6)$$

- เมื่อ
- P = ความดันสมดุลของสารถูกดูดซับ
  - V = ปริมาตรที่ถูกดูดซับที่ความดัน
  - V<sub>o</sub> = ปริมาตรที่ถูกดูดซับเพื่อให้เกิดเป็นชั้นเดียว
  - P<sub>o</sub> = ความดันไออิ่มตัวของโมเลกุลที่ถูกดูดซับ
  - k = ค่าคงที่

Brunauer-Emmett-Teller ได้แบ่งลักษณะไอโซเทอมออกเป็น 5 แบบ ดังรูป 1.1 ซึ่งอธิบายการดูดซับแต่ละแบบดังนี้ รูป 1.1 ไอโซเทอมของการดูดซับแบบต่าง ๆ ของ Brunauer-Emmett-Teller ในระบบก๊าซ

แบบ I เป็นไอโซเทอมของการดูดซับที่สารดูดซับมีขนาดใหญ่กว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่มาก การบรรจุโมเลกุลลงในรูขนาดเล็กของสารดูดซับน้อยอย่างสมบูรณ์ และการอิ่มตัวที่แน่นอนโดยเกิดการเรียงเป็นชั้นเดียว

แบบ II และ III เป็นไอโซเทอมที่สารดูดซับที่การกระจายขนาดรูพรุนในช่วงกว้างในระบบนี้เกิดการดูดซับที่ต่อเนื่องจากการเรียงตัวโมเลกุลเพียงชั้นเดียว จนถึงโมเลกุลหลายชั้น โดยในแบบ II จะมีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวสารดูดซับมากกว่าแบบ III

แบบ IV เป็นไอโซเทอมของการดูดซับ ที่มีรูพรุนใหญ่กว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของโมเลกุลที่ถูกดูดซับมาก จึงเกิดการเรียงตัวของโมเลกุลที่ผิวของสารดูดซับเป็นสองชั้น (bilayer)

แบบ V เป็นไอโซเทอมที่เกิดขึ้น เมื่อแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับมีความแรงมากขึ้น

### 1.3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การกำจัดน้ำเสีย คือ การแยกหรือการทำลายสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียให้มีปริมาณลดลงอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียขึ้นในแหล่งน้ำที่รองรับ และให้มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ในน้ำทิ้งสีย้อมเคมี นอกจากจะมีสีต่าง ๆ ปนอยู่แล้วยังมีโลหะหนักที่มีพิษบางตัวเช่น ตะกั่ว แมงกานีส โครเมียม และแคดเมียม เป็นต้น อยู่ด้วย การกำจัดสีในน้ำส่วนใหญ่จะอาศัยการดูดซับด้วยวัสดุที่มีค่าความพรุนหรือพื้นที่ผิวรูพรุนมีสูง ๆ เช่น ผงถ่าน หรือวัสดุอื่น ๆ ที่มีความพรุน ส่วนการกำจัดโลหะในน้ำกำจัดได้หลายวิธี เช่น ทำให้โลหะตกตะกอนในสารละลายเป็นเบส (ต่าง) เป็นต้น

ได้มีการศึกษาการดูดซับโดยใช้สารดูดซับจากวัสดุธรรมชาติเพื่อกำจัดไอออนต่างๆในน้ำ เช่น ปี ค.ศ. 2002 Borgo และGushikem ได้ทำการศึกษาการดูดซับลิเทียมไอออน (Li<sup>+</sup>) โซเดียมไอออน (Na<sup>+</sup>) โพแทสเซียมไอออน (K<sup>+</sup>) โดยใช้เส้นใยเซลลูโลส (cellulose fibers) ที่มีการกระจายตัวของเซอร์โคเนียมฟอสเฟต (zirconium phosphate) บนพื้นผิว เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสจัดเป็น

สารดูดซับที่ใช้ในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดีมาก และเซอร์โคเนียมมีสมบัติที่สามารถดูดซับกรด ฟอสฟอริกได้ และยึดติดบนผิวของเส้นใยเซลลูโลสได้ดีในลักษณะคอมโพสิต (composit) ซึ่งสารดูดซับนี้สามารถดูดซับไอออนของโลหะอัลคาไลไนต์ จึงสรุปได้ว่าปริมาณการดูดซับของ  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  บนผิว  $\text{HPO}_4^{2-}$  มากกว่า  $\text{Li}^+$  เพราะโครงสร้างของ  $\text{HPO}_4^{2-}$  มีลักษณะเป็นลามลลา (lamella) ที่จะยอมให้  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  แพร่ผ่านได้ยากกว่า  $\text{Li}^+$  ปี ค.ศ. 2002 Orlando และคณะ ได้ทำการศึกษาการเตรียมตัว แลกเปลี่ยนไอออนจากวัสดุธรรมชาติที่เหลือใช้ โดยเตรียมสารดูดซับที่มีประจุ ซึ่งสามารถแลกเปลี่ยนในเตรทไอออน ( $\text{NO}_3^-$ ) ได้ โดยนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่างๆ มาทำปฏิกิริยากับเอพิคลอโรไฮดริน (epichlorohydrin) และไดเมทิลลามีน (dimethylamine) ในไพริดีน (pyridine) และเอ็นเอ็น-3 ไดเมทิลฟอร์มมาไมด์ (N,N-dimethylformamide, DMF) ซึ่งตัวแลกเปลี่ยนที่มีประจุที่ได้สามารถสามารถกำจัด  $\text{NO}_3^-$  และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการดูดซับ  $\text{NO}_3^-$  ระหว่างรำข้าว ชานอ้อย และเปลือกสน พบว่าชานอ้อยมีปริมาณดูดซับสูงสุด ซึ่งเมื่อทำการกำจัดสารจำพวก สารแทรก (extractives) ลิกนิน (lignin) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ออกแล้วจะมีสมบัติการดูดซับ  $\text{NO}_3^-$  ได้ดีขึ้น เพราะสารจำพวกนี้มีผลต่อการดูดซับไอออนของประจุลบปี ค.ศ. 2002 Nakbanpote และคณะ ได้ศึกษาการดูดซับไอออนของโลหะทอง ( $\text{Au}^+$ ) ด้วยกลีบและถ่านกัมมันต์ พบว่าถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับ  $\text{Au}^+$  ได้ดีกว่ากลีบ แต่การชะ  $\text{Au}^+$  ออกจากสารดูดซับนี้ทำได้ยากกว่า สำหรับกลีบเป็นสารดูดซับที่เหมาะสมกว่า เนื่องจากมีความสามารถในการดูดซับสูงและสามารถชะ  $\text{Au}^+$  ออกจากการถูกดูดซับได้ง่ายปี ค.ศ. 2003 Ajmal และคณะ ได้ศึกษาสมบัติในการดูดซับไอออนของโลหะบางชนิดด้วยกลีบจากน้ำเสียเพื่อให้ได้กลับคืนมา ซึ่งได้นำกลีบที่เติมและไม่เติมด้วยฟอสเฟตมาศึกษาการดูดซับ  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  และ  $\text{Cr}^{4+}$  ผลพบว่าเมื่อตัดแปรกลีบโดยเติมด้วยฟอสเฟต พบว่าสารดูดซับที่เตรียมได้สามารถดูดซับ  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  และ  $\text{Cr}^{4+}$  โดยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโลหะบางชนิดบนสารดูดซับ ได้แก่ เวลาสัมผัส ความเข้มข้น อุณหภูมิ ปริมาณการดูดซับ และ pH ของสารละลาย รวมทั้งศึกษาไอโซเทอมแบบแลงเมียร์และปัจจัยทางเทอร์โมไดนามิกส์ ปี ค.ศ. 2004 Teixeira และ Arruda ได้ศึกษาการดูดซับไอออนของโลหะจากสารชะล้างโดยใช้กลีบเป็นสารดูดซับ เนื่องจากกลีบมีองค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินและซิลิกา เมื่อศึกษาด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปี และเทอร์โมกราวิเมตรี (thermogravimetry) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของกลีบมีตำแหน่งที่สามารถจับกับไอออนของโลหะได้ โดยในการทดลองพบว่ากลีบสามารถดูดซับ  $\text{Cd}^{2+}$  และ  $\text{Cu}^{2+}$  ได้ นอกจากนี้ยังพบว่ากลีบสามารถดูดซับไอออนของโลหะตัวอื่นๆ ได้อีก เช่น  $\text{Al}^{3+}$  และ  $\text{Zn}^{2+}$  เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการพัฒนาสารดูดซับ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนของโลหะในน้ำ โดยมีการตัดแปรสารดูดซับต่างๆ ขึ้น เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการขจัดไอออนของโลหะในน้ำที่วาริและคณะได้วิเคราะห์ถ้ำกลีบเปลือกข้าวมีองค์ประกอบซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) 76.46% คาร์บอน 10.89% ออกไซด์ของโลหะ 9.84% และอื่น ๆ อีก 2.9% รัตนา มหาชัย และคณะ (2546) ได้หาธาตุที่เป็นองค์ประกอบของถ้ำกลีบโรงสี ได้แก่ Si, C, N, P, S, K, Ca, Mg, Mn Fe Al Cu และ Na ปริมาณร้อยละโดยมวลมีค่า 4.80, 9.79, 0.11, 0.44, 0.03, 0.08, 0.46, 0.29, 0.19, 0.07,

0.06, 0.01 และ 0.25 ตามลำดับ จะเห็นว่าปริมาณซิลิกามากกว่าคาร์บอน สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากอินฟราเรดสเปกตรัม ซึ่งพบพีคที่ตำแหน่ง  $1125-1010 \text{ cm}^{-1}$  เป็นหมู่ฟังก์ชันนอล Si-O-Si และมีพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนทั้งหมด เท่ากับ  $83.71 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  ขนาดรูพรุน 6.22 นาโนเมตรตาม BET และเมื่อนำมาดูดซับหาสีย้อมเคมี ให้ค่าความจุของการดูดซับ  $6.26 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  และร้อยละการกำจัดสีในตัวอย่างน้ำสีย้อมได้ลดลง ประมาณร้อยละ 90 หรือคิดเป็นปริมาณการกำจัดสีได้ 100 mg ต่อวัสดุ 1 g ปริมาตรน้ำ 1000 มิลลิลิตร และค่า COD ลดลงร้อยละ 60 ส่วนโลหะที่มีพิษก็ลดลงอย่างมากเช่นกัน

งานวิจัยนี้จึงตัดสินใจเลือกวัสดุแก้วเคลือบโรงแส และซีเถ้า ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ จากโรงสีข้าว และการเผาไม้มาใช้บำบัดน้ำทั้งสีย้อมเคมี ซึ่งวัสดุเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนทั้งหมดอยู่ในช่วงประมาณ  $100-400 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  และอาศัยหลักการและทฤษฎีดูดซับแบบกายภาพของสีย้อม และโลหะกับวัสดุดูดซับที่มีพื้นที่ผิวและความมีรูพรุนของมัน และการดูดซับแบบการแลกเปลี่ยนไอออนของ สีย้อมและโลหะกับผิววัสดุที่มีหมู่ฟังก์ชันนอลได้แก่หมู่ไฮดรอกซิลหรือไฮดรอกซิลอยู่ที่ผิวนั้น ๆ

#### 1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. สร้างแบบจำลองระบบบำบัดน้ำสีย้อมเคมี ในห้องปฏิบัติการโดยใช้วัสดุธรรมชาติ ได้แก่ ซีเถ้า (ซีเถ้าจากการเผาถ่านหินและใบไม้) และ/หรือแก้วเคลือบ (เคลือบเผาจากโรงแส) และทดสอบเพื่อหาแบบที่เหมาะสมเพื่อใช้งาน
2. สร้างแบบถังบำบัดน้ำสีย้อมเคมีในภาคสนาม และประเมินประสิทธิภาพระบบบำบัดที่ออกแบบ

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ถึงบำบัดน้ำสีย้อมเคมีที่ผสมผสานภูมิปัญญาชาวบ้าน และนวัตกรรมเทคโนโลยีสะอาดร่วมกัน เพื่อไว้ใช้เป็นต้นแบบต่อไป

#### 1.6 หน่วยงานที่นำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

- 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
- 2 เกษตรกรในจังหวัดมหาสารคาม



## บทที่ 2

### วิธีการทดลองและผลการทดลอง

#### 2.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

##### 2.1.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับเรื่องสีย้อมเคมี

(ก) เก็บข้อมูลจากชาวบ้าน เกี่ยวกับการย้อมสีเคมี ได้แก่ ยี่ห้อ เจดสีที่ใช้ ขั้นตอนการฟอกและย้อม และปริมาณน้ำเสียย้อมเคมี ผลดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้สีย้อมเคมีของกลุ่มทอผ้าสตรีบ้านดอนกลาง อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม จำนวน 10 ครอบครัว

ชื่อผู้แทนครอบครัว	ชนิดสี (ยี่ห้อ) ที่ใช้มากที่สุด		
	มาก	ปานกลาง	น้อย
1. นางยม อนุสัย	1	2	2
2. นายอำนาจ ศรีพาแลว	1	1	2
3. นางราญ ฤาบุตรลา	1		2
4. นางเดือนใจ ศรีพาแลว	1	2	2
5. นางน้อย สิทธิต่าง	1	1	1
6. นางลำคาน บุญจันทร์	1		2
7. นางสรจันทร์ ศรีพาแลว	1	2	
8. นางมนต์ชนก จันทร์โครต	2	1	3
9. นางอนงค์ บุญวงศ์จันทร์	4		1
10. นางเพ็ญศรี แก้ววิเศษ	1		2

1 สีตราเครื่องบิน

2 สีตราสิงห์โต

3. สีตราช้าง

4. สีตราจรวด

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดเกี่ยวกับเขตสีย้อม และยี่ห้อที่กลุ่มสตรีจำนวน 10 ครอบครัวบ้านใช้

ชื่อครอบครัว	ยี่ห้อสีที่ใช้ในการย้อม			ปริมาณน้ำที่ต้ม	ปริมาณน้ำที่ทิ้ง	ปริมาณการย้อม กี่วันถึงย้อม
	มาก	ปานกลาง	น้อย			
1. นางยม อนุสัย	ตราเครื่องบิน สีดำ แดง น้ำทะเล สีฟ้า เลือดหม		ตราสิงห์โต สีเหลืองเข เหลืองทอง เนื้อโค	15-25 ลิตร	2-3 โยง (ไม่ได้ตวง) รวมน้ำที่ล้างไหม	อาทิตย์ละ 3 ครั้ง
2. นายอำนาจ ศรีพาแลว	ตราเครื่องบิน สีกรมท่า สีเทา สีน้ำเงิน		ตราสิงห์โต สีดำ เขียว แดงครั้ง เปลือกมังคุด	1 กะละมัง ประมาณ 10 ลิตร	ประมาณ 4 กะละมัง ประมาณ 40 ลิตร	อาทิตย์ละ 1 ครั้ง
3. นางราญ ภาบุตรลา	ตราเครื่องบิน สีดำ แดงครั้ง สีน้ำเงิน สีฟ้า เลือดหม		ตราสิงห์โต เหลือง แดงครั้ง เปลือกมังคุด	1 กะละมัง ใหญ่ ประมาณ 15 ลิตร	ประมาณ 5 - 7 กะละมัง ประมาณ 75 ลิตร	อาทิตย์ละ 3 ครั้ง
4. นางเดือนใจ ศรีพา แลว	ตราเครื่องบิน สีดำ สีฟ้า สีน้ำเงิน สีเทา เหลือง		ตราสิงห์โต สีเทาดำ	ประมาณ 40 ลิตร	400 ลิตร / 1 ครั้ง	อาทิตย์ละ 3-5 ครั้ง
5. นางน้อย สิทธิต่าง	ตราเครื่องบิน สีดำ สีฟ้า สีน้ำเงิน สีเทา เหลือง			ประมาณ 15-20 ลิตร	2 - 3 ลิตร/1 ครั้ง	อาทิตย์ละ 3 วัน/ ครั้ง
6. นางลำดวน บุญจันทร์	ตราเครื่องบิน สีดำ แสด สี ฟ้า สีน้ำเงิน สีเทา เหลือง			1 กะละมัง ประมาณ 10 ลิตร	400 ลิตร / 1 ครั้ง	อาทิตย์ละ 5-6 ครั้ง

ชื่อครอบครัว	ยี่ห้อสีที่ใช้ในการย้อม			ปริมาณ น้ำ ที่ต้ม	ปริมาณน้ำที่ทิ้ง	ปริมาณการ ย้อม ที่วันถึงย้อม
	มาก	ปานกลาง	น้อย			
7. นางศรจันทร์ ศรีพา แล้ว	ตราเครื่องบิน	ตราสิงโต		ประมาณ	3 กระละมั่งใหญ่	อาทิตย์ละ 3 ครั้ง หรือวันเว้นวัน
	สีแดง และสีฟ้า	สีแดง สีเหลือง น้ำเงิน ดำ		10 ลิตร		
8. นางมนต์ชนก จันท์ โครต	ตราสิงห์โต	ตราเครื่องบิน	ตราช้าง	ประมาณ	5 กระละมั่ง 8 วัน/	อาทิตย์ละ 3 วัน ครั้ง
	สีด้าแดงครั้ง	แดงครั้ง	สีด้า เหลือง	1 กระละมั่ง ใหญ่	1 ครั้ง	
	สีกะปิ น้ำเงิน สด		ดอกบวบ น้ำตาลทอง	/ ไหม 1 กิโลกรัม		
9. นางอนงค์ บุญวงศ์ จันทร์	ตราเครื่องบิน	ตราจรวด		ประมาณ	อาทิตย์ละ 1 ครั้ง	อาทิตย์ละ 3 วัน ครั้ง
	สีด้า สีฟ้า	แดงครั้ง		1 กระละมั่ง/ ไหม	หรือ 2 อาทิตย์ต่อครั้ง	
	สีน้ำเงิน สีเทา	เหลืองเข		2 กิโลกรัม		
	เหลือง	สีฟ้า				
10. นางเพ็ญศรี แก้ว วิเศษ	ตราเครื่องบิน		ตราสิงห์โต	ประมาณ	2-3 โถง อาทิตย์ละ 3-	อาทิตย์ละ 3 วัน ครั้ง
	สีด้าแดง		สีเหลืองเข	15-20 ลิตร	5 ครั้ง	
	เลือดหมู สีฟ้า		สีน้ำเงิน			

### 2.1.2 ขั้นตอนการฟอกสีผ้า

ขั้นแรกแช่ผ้ากับน้ำธรรมดาไว้ก่อนจากนั้นต้มน้ำให้ร้อน และใส่ต่างลงไปในหม้อ  
ใส่น้ำสบู่เทียมใส่ 1 ซอง/ไหม 1 กิโลกรัม และสารส้ม พอน้ำเดือดให้นำผ้าลง กลับผ้าไปมา  
ประมาณ 45 นาที นำผ้าขึ้นจากหม้อพักไว้ล้างผ้าที่ย้อมจนน้ำสะอาด จากนั้นนำผ้าที่ล้างมา  
กระตุกและตาก

### 2.1.3 ขั้นตอนการย้อม

ต้มน้ำให้ร้อน (อุ่น) ใส่เกลือ ใส่สีที่ต้องการย้อมลงไป ในหม้อ พอน้ำอุ่นได้ที่นำผ้าลงและขย่ำผ้าเพื่อให้สีทั่ว นำผ้าออกและบิดให้แห้ง ต้มน้ำให้ร้อน แล้วนำผ้าลงอีกทีแล้วกลับใหม่ไปมา (จนน้ำเดือด) และผ้ากินสีจนหมดนำผ้าออกแล้วล้างไปเรื่อย ๆ จนน้ำสะอาด (ไม่มีสี) กระจุกแล้วตาก

### 2.1.4 การออกแบบระบบบำบัดน้ำสีย้อมเคมีในภาคสนาม

วัสดุชุดขับ ที่ใช้ได้แก่ ถั่วกลีบจากโรงสี และขี้เถ้า (จากการเผาขนอ้อย)

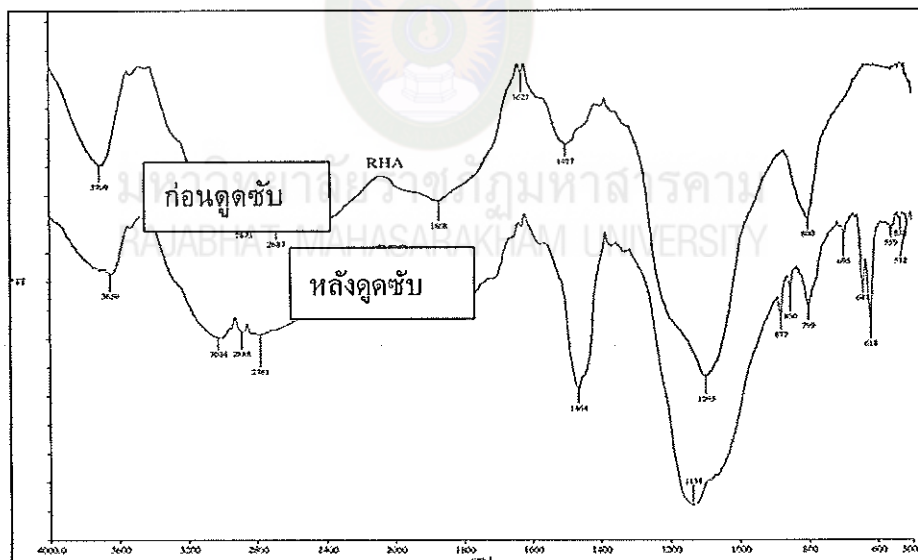
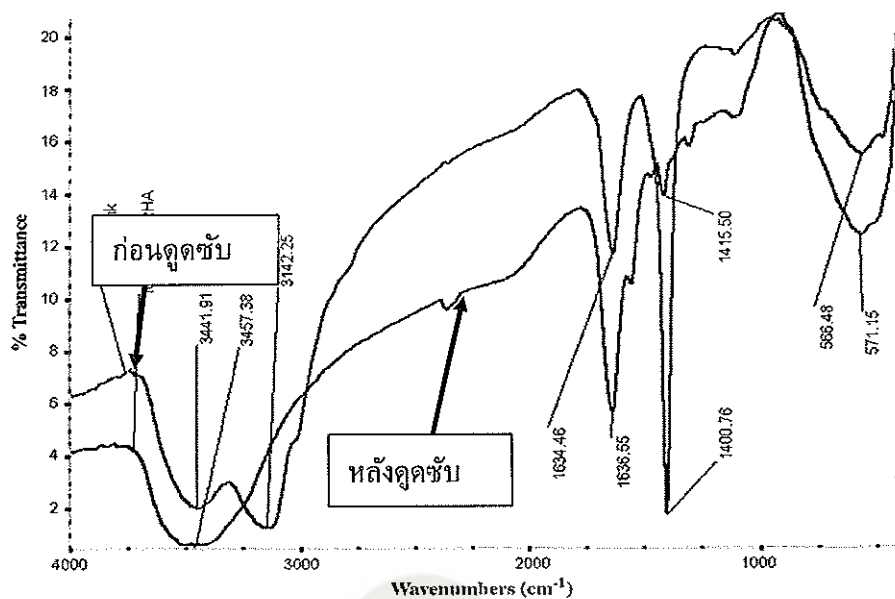
น้ำตัวอย่างสีย้อมเคมี เก็บรวบรวมตัวอย่างน้ำย้อมผ้าด้วยสีเคมี จากชาวบ้าน รวมเป็นตัวอย่างเดียวกัน ทำให้ได้ตัวอย่างน้ำสีผสม 5 สี ตามตารางที่ 2.3 มีสมบัติทางกายภาพลักษณะเป็นน้ำขุ่นสีดำปนน้ำเงิน มีกลิ่นต่างเล็กน้อย

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลน้ำตัวอย่างสีย้อมเคมีผู้ที่ย้อมผ้าด้วยสีเคมีบ้านบ้านดอนกลาง อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม

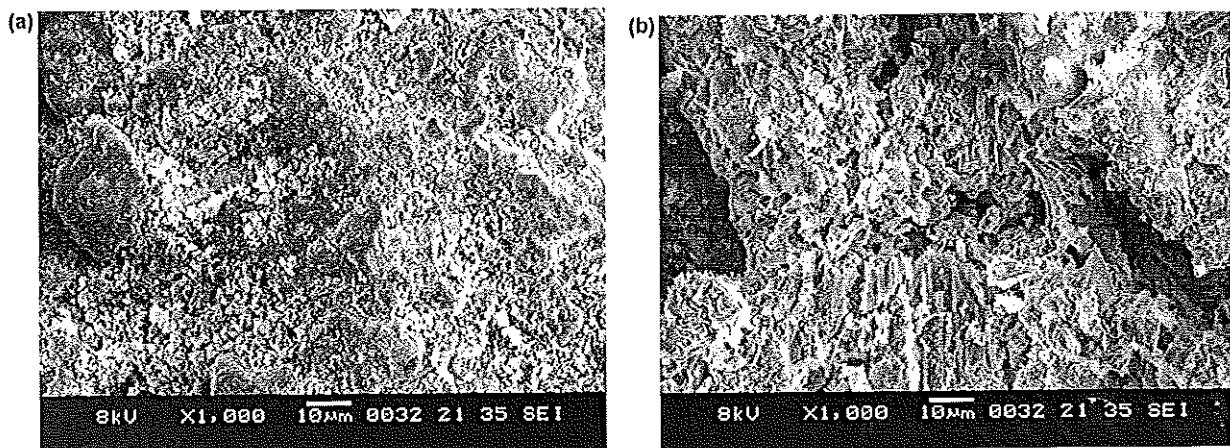
ชื่อ - สกุล	สีที่ใช้	จำนวน	ส่วนผสม
1. นางมนต์ชนก จันทร์โครต	สีแดงครั่ง	8 ลิตร	น้ำ 8 ลิตรต่อสีสำเร็จรูป 4 ของ
2. นางเพ็ญศรี แก้ววิเศษ	สีม่วงดอกกรัก	8 ลิตร	น้ำ 8 ลิตรต่อสีสำเร็จรูป 4 ของ ชั้นไลต์
3. นางศรจันทร์ ศรีพาแลว	สีเหลืองทอง	8 ลิตร	น้ำ 9 ลิตรต่อสีสำเร็จรูป 5 ของ ชั้นไลต์
4. นางยม อนุสัย	สีฟ้า และสีน้ำทะเล (ตราสิงโตตีกลอง)	8 ลิตร	น้ำ 8 ลิตรต่อสีสำเร็จรูป 2 และครึ่งของ ชั้นไลต์
5. นางราญ ฤาษุตรา	สีดำ (ตรา	8 ลิตร	น้ำ 8 ลิตรต่อสีสำเร็จรูป 15 ของ

หมายเหตุ นำน้ำตัวอย่างสีย้อมเคมีทุกตัวอย่างรวมเป็นตัวอย่างเดียวกันก่อนนำไปศึกษา

## 2.2 การวิเคราะห์ลักษณะของวัสดุดูดซับ



รูปที่ 2.1 ลักษณะของสเปกตรัมของแกลบก่อนและหลังดูดซับสี ที่มี การตรวจวัดด้วยเครื่อง อินฟราเรด สเปกโทรสโคปี



รูปที่ 2.2 ภาพถ่ายด้วยเทคนิคSEMของวัสดุตกตะกอน (a) ก่อนเผา (b) หลังการเผา

จากรูปที่ 1 และ 2 เป็นการตรวจสอบลักษณะทางโครงสร้างของวัสดุตกตะกอนของแกลบ ซึ่งพบว่าโครงสร้างนั้นสามารถนำวัสดุนี้มาทำการตกตะกอนและมีประสิทธิภาพ

### 2.3 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

ใช้วิธีการตามมาตรฐานการวิเคราะห์น้ำทิ้ง (standard methods of water and wastewater) วิธีการวิเคราะห์ที่อยู่ในภาคผนวก

ตารางที่ 2.4 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำเสีย

พารามิเตอร์	วิธีการ / เครื่องมือ
พีเอช	pH meter
การนำไฟฟ้า	Conductivity meter
ของแข็งทั้งหมด (TS)	Gravimetric method
ปริมาณสีและเนคตี	Visible Spectrophotometer
ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD)	Potassium dichromate method
โลหะ ตะกั่ว ไครเมียม แมงกานีส	Flame Atomic Absorption Spectrophotometer

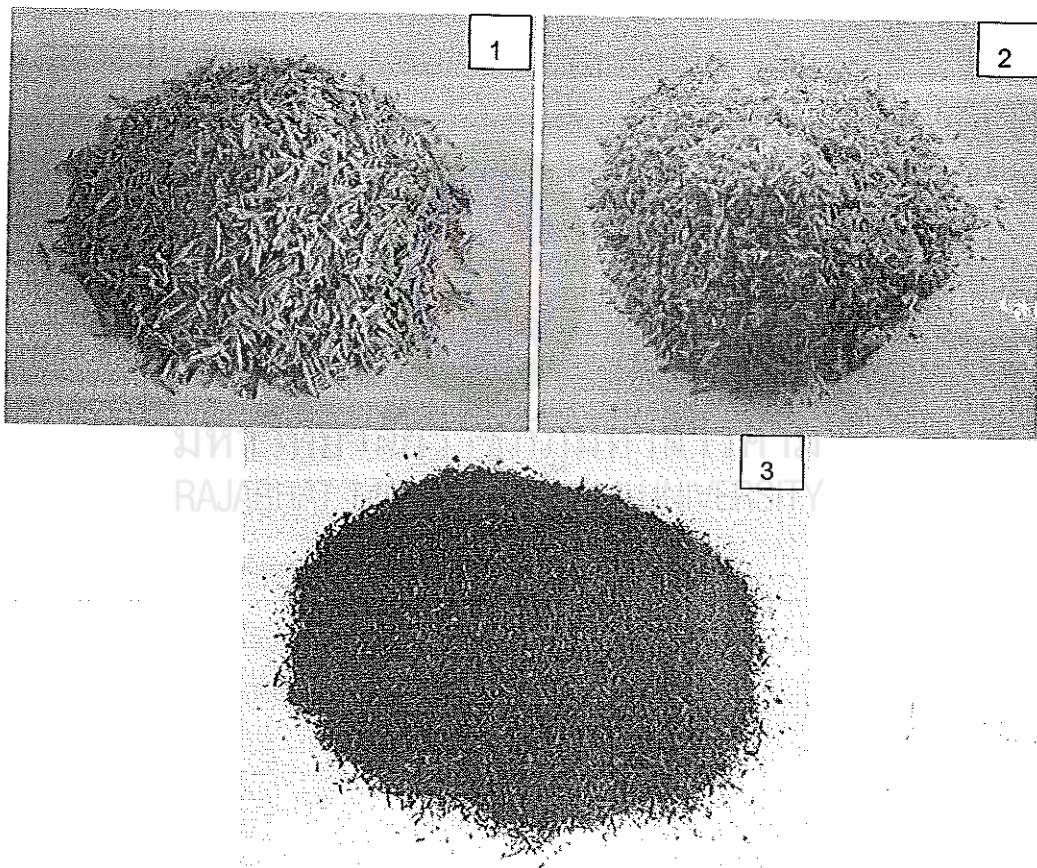
## 2.4 การศึกษาการออกแบบวิธีการบำบัดน้ำเสียเคมี จากแบบจำลองในห้องปฏิบัติการ ที่ออกแบบไว้ 2 วิธี

2.4.1. วิธีแบบถังแช่ (batch method)

2.4.2. วิธีแบบระบบไหลต่อเนื่อง (flow method)

### 2.4.1 วิธีการบำบัดแบบถังแช่ (batch method)

เนื่องจากการบำบัดแบบถังแช่พบว่าเวลาที่มีผลต่อการดูดซับหรือกำจัด เนื่องจากเป็นการสัมผัสระหว่างตัวถูกดูดซับกับวัสดุดูดซับ ต้องถึงสมดุลหรืออิ่มตัว และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักวัสดุมีผลต่อการบำบัด การศึกษาได้ทดลองใช้วัสดุ 3 ชนิด ได้แก่ ถ้ำกลบ และซีเมนต์ ถ้ำกลบกระตุ้นด้วยกรด และถ้ำกลบธรรมดา ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วัสดุดูดซับ (1)ถ้ำกลบธรรมดา (2) ถ้ำกลบกระตุ้นด้วยกรด และ(3)ซีเมนต์ถ้ำกลบ

### ก. การศึกษาการดูดซับโลหะหนักของถ้ำกลบ

การศึกษาการดูดซับโลหะหนัก (ตะกั่ว โครเมียม และแมงกานีส) ของถ้ำกลบ โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี ซึ่งจะทำการศึกษาการดูดซับโลหะ

หนัก ของแกลบแต่ละชนิดที่เวลาต่างๆ คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง ซึ่งได้ผลการทดลองดัง ตารางที่ 2.5, 2.6 และ 2.7

ตารางที่ 2.5 การศึกษาการดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแมงกานีส ของแกลบธรรมดา

โลหะ ไอออน	ความเข้มข้นของโลหะไอออน (ppm)						ค่าการ ดูดกลืน (%)
	เริ่มต้น	สุดท้ายที่เวลา (ชม.)					
		1	2	3	4	5	
Pb <sup>2+</sup>	9.09	1.14±0.02	0.68±0.01	0.45±0.02	0.34±0.11	0.23±0.01	97.50
Cr <sup>3+</sup>	7.51	3.80±0.01	3.34±0.01	3.11±0.01	2.88±0.02	3.23±0.02	57.01
Mn <sup>2+</sup>	29.14	27.48±0.03	26.69±0.14	26.51±0.02	26.25±0.02	26.06±0.18	10.58

ตารางที่ 2.6 การศึกษาการดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแมงกานีสของแกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก

โลหะ ไอออน	ความเข้มข้นของโลหะไอออน (ppm)						ค่าการ ดูดกลืน (%)
	เริ่มต้น	สุดท้ายที่เวลา (ชม.)					
		1	2	3	4	5	
Pb <sup>2+</sup>	8.59	2.83±0.03	3.19±0.03	3.10±0.02	2.74±0.02	2.38±0.03	72.33
Cr <sup>3+</sup>	7.51	6.22±0.04	6.33±0.02	6.45±0.06	6.10±0.12	6.45±0.08	14.18
Mn <sup>2+</sup>	16.86	14.95±0.06	12.57±0.04	12.10±0.01	13.05±0.03	13.28±0.03	21.19

ตารางที่ 2.7 การศึกษาการดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแมงกานีส ของถ่านแกลบ

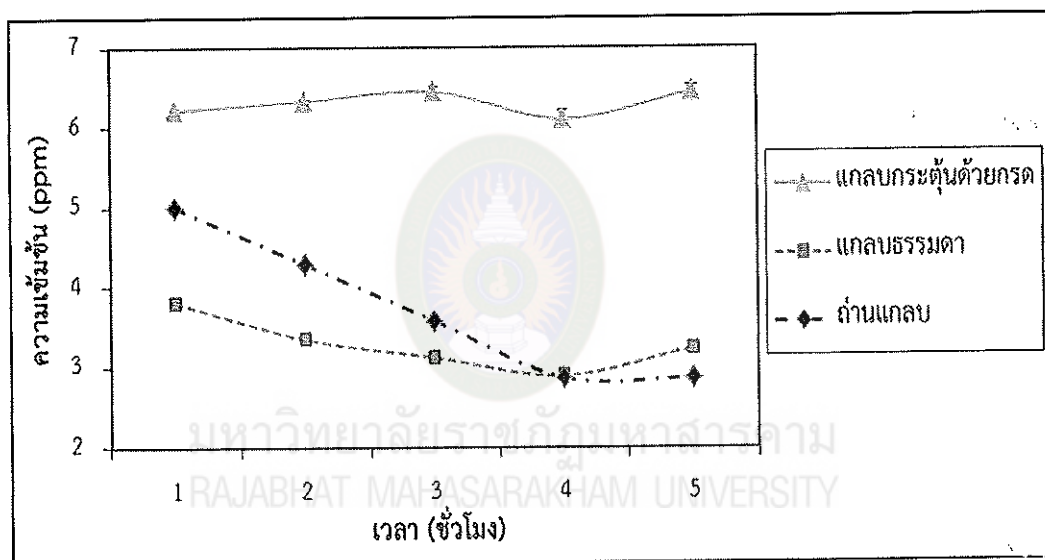
โลหะ ไอออน	ความเข้มข้นของโลหะไอออน (ppm)						ค่าการ ดูดกลืน (%)
	เริ่มต้น	สุดท้ายที่เวลา (ชม.)					
		1	2	3	4	5	
Pb <sup>2+</sup>	19.10	1.36±0.04	0.68±0.04	0.11±0.02	ND	ND	99.40
Cr <sup>3+</sup>	9.28	5.00±0.05	4.28±0.01	3.57±0.03	2.86±0.02	2.86±0.03	61.54
Mn <sup>2+</sup>	16.86	15.90±0.02	12.57±0.01	11.62±0.02	10.19±0.01	11.14±0.04	31.07

หมายเหตุ ND คือ ไม่สามารถตรวจพบ, %ABS คือ ร้อยละการดูดซับ

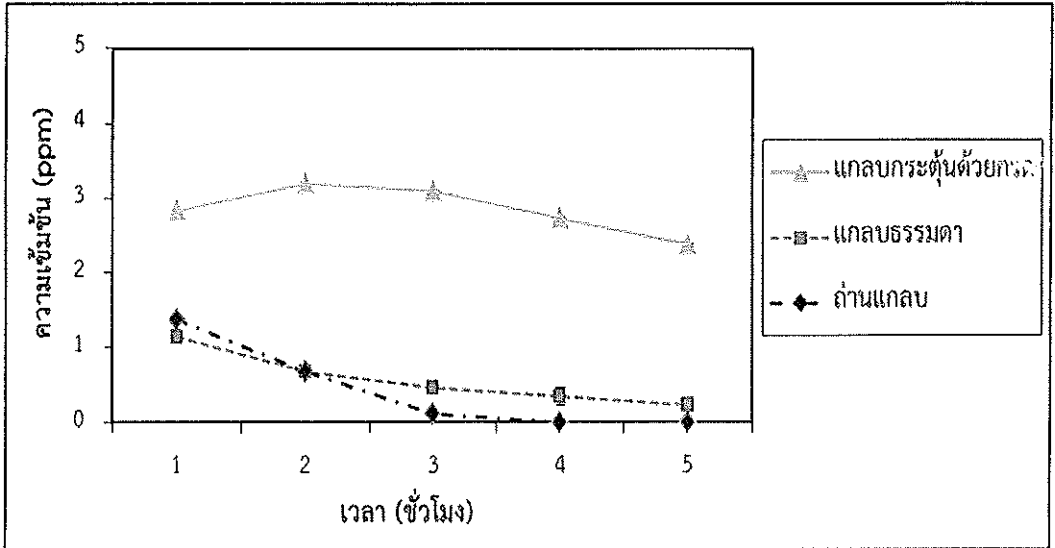
จากตารางที่ 2.5, 2.6 และ 2.7 จะเห็นว่าการดูดซับโลหะไอออนของถ่านแกลบ มีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดีที่สุด รองลงมาคือแกลบธรรมดา และสุดท้ายคือแกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก ดังจะเห็นได้จากร้อยละการดูดซับโลหะไอออนของตัวอย่างแกลบแต่ละชนิดทุกเวลาในการดูดซับ 5 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปภาพที่ 2.7 โดยเรียงลำดับความสามารถในการดูดซับ



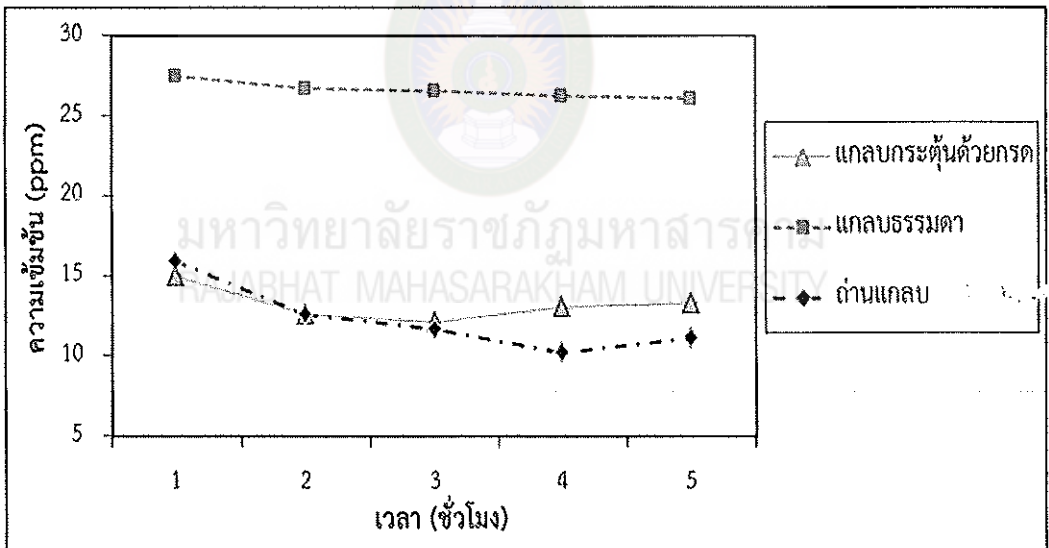
โลหะไอออนของถ่านแกลบ แกลบธรรมดา และแกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก จากน้อยไปหา  
 มากได้ดังนี้ คือ  $Pb^{2+} > Cr^{3+} > Mn^{2+}$ ,  $Pb^{2+} > Cr^{3+} > Mn^{2+}$  และ  $Pb^{2+} > Mn^{2+} > Cr^{3+}$   
 ตามลำดับ และเมื่อพล็อตกราฟระหว่างเวลากับความเข้มข้นของโลหะไอออนแต่ละชนิดจะพบว่า  
 ความเข้มข้นของโลหะไอออนนั้นมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า  
 ระยะเวลาที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการ ดูดซับโลหะไอออนของแกลบ กล่าวคือเมื่อเวลาผ่านไป  
 ขึ้นแกลบแต่ละชนิดจะสามารถดูดซับโลหะไอออนได้มากขึ้นด้วย นอกจากนี้การที่แกลบแต่ละ  
 ชนิดสามารถดูดซับโลหะไอออนได้แตกต่างกันเนื่องจากแกลบแต่ละชนิดมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่  
 แตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ่านแกลบที่มีขนาดเล็กจะสามารถ ดูดซับโลหะไอออนได้ดีกว่า  
 แกลบธรรมดาและแกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริกที่มีขนาดใหญ่กว่า ดังแสดงในรูปภาพที่  
 2.4, 2.5, 2.6 และ 2.7



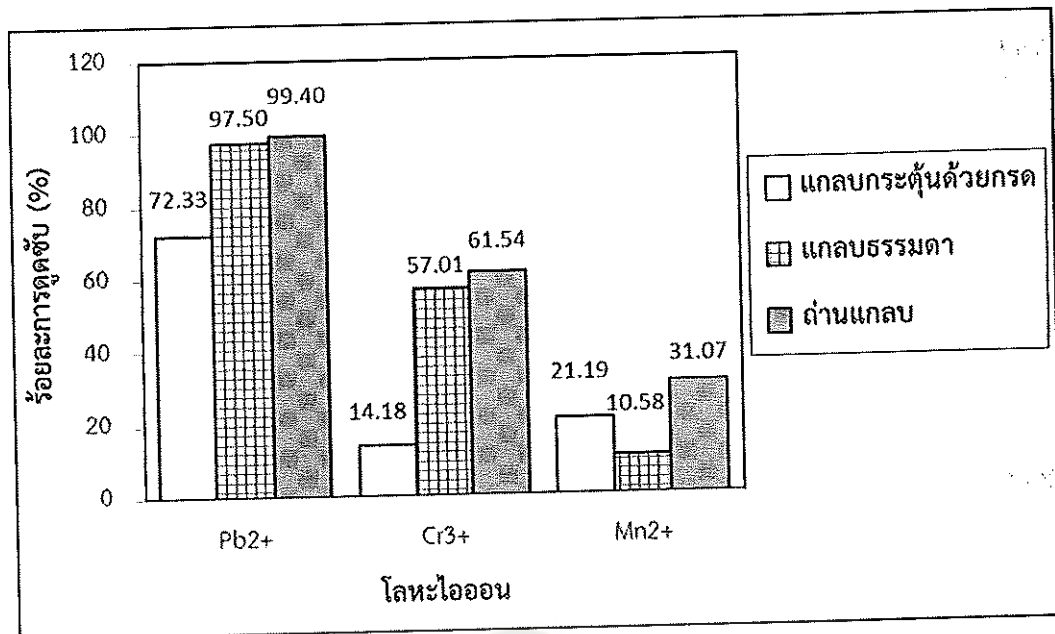
รูปที่ 2.4 ความสามารถในการดูดซับตะกั่วที่เวลาต่างๆ ของแกลบแต่ละชนิด



รูปที่ 2.5 ความสามารถในการดูดซับโครเมียมที่เวลาต่างๆ ของแกลบแต่ละชนิด



รูปที่ 2.6 ความสามารถในการดูดซับแมงกานีสที่เวลาต่างๆ ของแกลบแต่ละชนิด



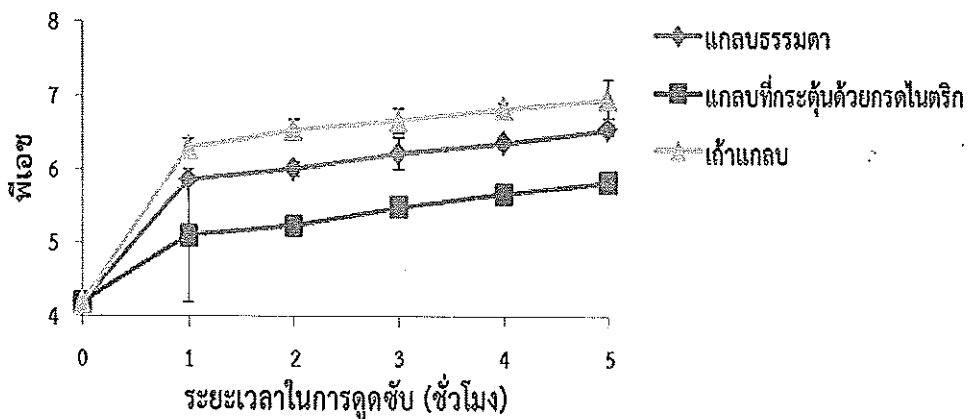
รูปที่ 2.7 การดูดซับโลหะไอออนของแกลบแต่ละชนิดที่เวลาในการดูดซับ 5 ชั่วโมง

#### ข. การศึกษาความสามารถในการดูดซับ pH ด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้เทคนิค pH Meter

การศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ของตัวดูดซับ 3 ชนิด คือ แกลบธรรมชาติ แกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก และถ่านแกลบ โดยใช้เทคนิค pH Meter โดยทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ของแกลบแต่ละชนิดที่เวลาต่างๆ คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2.8 และ 2.9

ตารางที่ 2.8 แสดงการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยกรดไฮโดรคลอริกโดยใช้เทคนิค pH Meter ของตัวดูดซับชนิดชนิดต่างๆ

ชนิดของตัวดูดซับ	ระยะเวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ค่าพีเอช				ค่าเฉลี่ย	S.D.
		เริ่มต้น	1	2	3		
แกลบธรรมดา	1	4.2	5.87	5.79	5.88	5.85	0.049
	2	4.2	6.02	6.08	5.89	6.00	0.097
	3	4.2	6.43	6.20	6.00	6.21	0.215
	4	4.2	6.43	6.29	6.32	6.35	0.074
	5	4.2	6.45	6.60	6.56	6.54	0.078
แกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก	1	4.2	4.20	5.10	6.00	5.10	0.900
	2	4.2	5.19	5.20	5.29	5.23	0.055
	3	4.2	5.45	5.43	5.56	5.48	0.070
	4	4.2	5.66	5.55	5.78	5.66	0.115
	5	4.2	5.87	5.79	5.80	5.82	0.044
เถ้าแกลบ	1	4.2	6.32	6.38	6.14	6.28	0.125
	2	4.2	6.40	6.56	6.67	6.54	0.136
	3	4.2	6.47	6.80	6.70	6.66	0.169
	4	4.2	6.77	6.90	6.80	6.82	0.068
	5	4.2	6.67	7.00	7.19	6.95	0.263

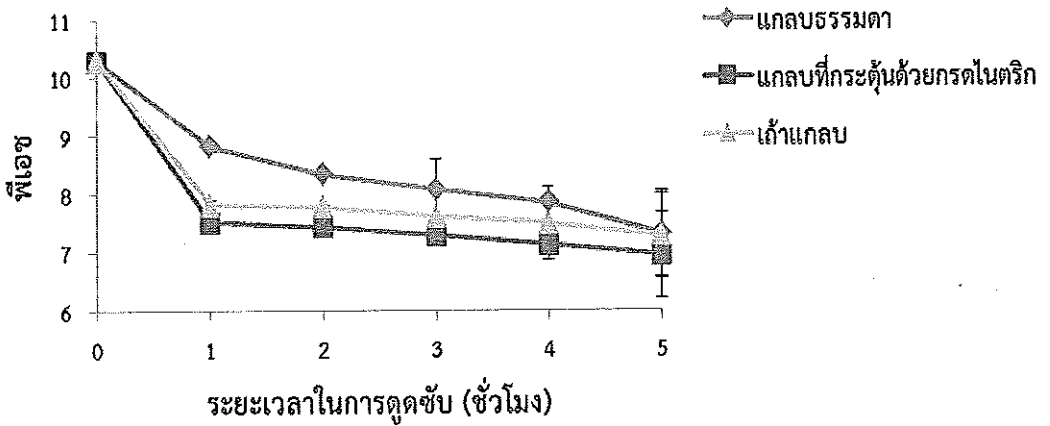


รูปที่ 2.8 กราฟแสดงการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยกรดไฮโดรคลอริกโดยใช้เทคนิค pH Meter ของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

จากตารางที่ 2.7 และรูปที่ 2.7 พบว่าค่าพีเอช ของน้ำเสียสังเคราะห์ของกรดไฮโดรคลอริกเริ่มต้น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.2 หลังจากศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยแกลบชนิดต่าง ๆ พบว่า ถ้ำแกลบสามารถดูดซับได้ดีกว่า แกลบธรรมดา และแกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก ซึ่งมีค่าพีเอช เท่ากับ 6.95, 6.54 และ 5.82 ตามลำดับและจากการทดลองยังพบว่าตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด สามารถดูดซับได้ดีที่เวลา 5 ชั่วโมง

ตารางที่ 2.9 แสดงการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้เทคนิค pH Meter ของตัวดูดซับชนิดต่าง ๆ

ชนิดของตัวดูดซับ	ระยะเวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ค่าพีเอช				ค่าเฉลี่ย	S.D.
		เริ่มต้น	1	2	3		
แกลบธรรมดา	1	10.28	8.75	8.80	8.90	8.82	0.076
	2	10.28	7.80	8.95	8.28	8.34	0.028
	3	10.28	8.29	7.80	8.13	8.07	0.517
	4	10.28	7.80	7.95	7.80	7.85	0.028
	5	10.28	7.10	7.12	7.70	7.31	0.733
แกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก	1	10.28	7.59	7.46	7.52	7.52	0.046
	2	10.28	7.39	7.54	7.38	7.44	0.080
	3	10.28	7.20	7.27	7.40	7.29	0.057
	4	10.28	7.29	7.55	6.56	7.13	0.153
	5	10.28	7.10	7.02	6.70	6.94	0.733
ถ้ำแกลบ	1	10.28	7.75	7.80	7.90	7.82	0.076
	2	10.28	7.80	7.75	7.80	7.78	0.028
	3	10.28	7.02	7.80	8.00	7.61	0.517
	4	10.28	7.90	7.80	6.77	7.49	0.825
	5	10.28	8.10	7.02	6.70	7.27	0.733



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงการศึกษาศักยภาพในการดูดซับด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้เทคนิค pH Meter ของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

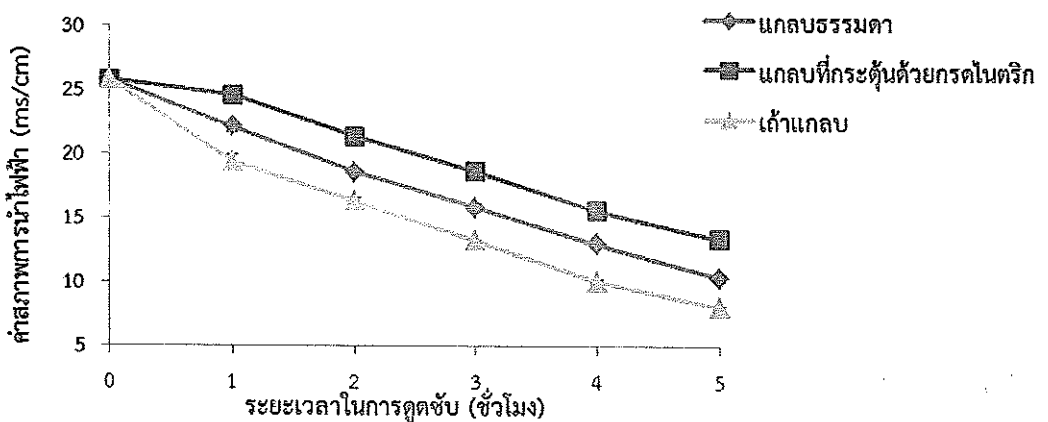
จากตารางที่ 2.8 และรูปที่ 2.8 พบว่าค่าพีเอช ของน้ำเสียสังเคราะห์ของโซเดียมไฮดรอกไซด์เริ่มต้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากัน คือ 10.28 หลังจากได้ศึกษาศักยภาพในการดูดซับด้วยแกลบชนิดต่างๆ พบว่า เถ้าแกลบสามารถดูดซับได้ดีกว่า แกลบธรรมดาและแกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก ซึ่งมีค่าพีเอช เท่ากับ 7.27, 7.31 และ 6.94 ตามลำดับและจากการทดลองยังพบว่า ตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด สามารถดูดซับได้ดีที่เวลา 5 ชั่วโมง

### ค. การศึกษาศักยภาพในการดูดซับด้วยกรดไฮโดรคลอริกโซเดียมไฮดรอกไซด์และโดยใช้เทคนิค Electrical conductivity

การศึกษาศักยภาพในการดูดซับด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ของตัวดูดซับ 3 ชนิด คือ แกลบธรรมดา แกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก และเถ้าแกลบ โดยใช้เทคนิค Electrical conductivity โดยทำการศึกษาศักยภาพในการดูดซับด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ของแกลบแต่ละชนิดที่เวลาต่างๆ คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2.9 และ 2.9

ตารางที่ 2.10 แสดงการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับด้วยกรดไฮโดรคลอริกโดยใช้เทคนิค Electrical conductivity ของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

ชนิดของตัวดูดซับ	ระยะเวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ms/cm)				ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
		เริ่มต้น	1	2	3		
แกลบธรรมดา	1	25.8	21.82	22.03	22.44	22.10	0.315
	2	25.8	18.41	18.73	18.50	18.55	0.165
	3	25.8	15.97	15.38	15.91	15.75	0.325
	4	25.8	12.76	13.09	13.03	12.96	0.176
	5	25.8	10.76	10.09	10.03	10.29	0.405
แกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก	1	25.8	24.50	24.50	24.70	24.57	0.115
	2	25.8	21.18	21.40	21.46	21.35	0.147
	3	25.8	18.60	18.10	19.10	18.60	0.500
	4	25.8	15.80	15.70	15.10	15.53	0.379
	5	25.8	13.05	13.50	13.37	13.31	0.232
เถ้าแกลบ	1	25.8	19.46	19.49	19.22	19.39	0.148
	2	25.8	16.27	16.15	16.44	16.29	0.146
	3	25.8	13.19	13.25	13.15	13.20	0.050
	4	25.8	16.27	16.15	16.44	16.29	0.146
	5	25.8	7.87	8.61	7.61	8.03	0.519



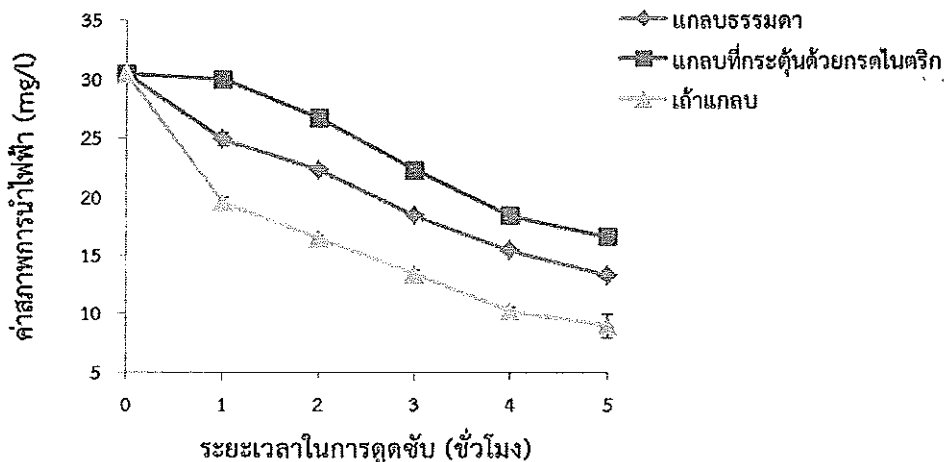
รูปที่ 2.10 กราฟแสดงการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยกรดไฮโดรคลอริกโดยใช้เทคนิค Electrical conductivity ของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

จากตารางที่ 2.10 และรูปที่ 2.10 พบว่าค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์ของกรดไฮโดรคลอริกเริ่มต้น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.8 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร หลังจากศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยแกลบชนิดต่างๆ พบว่า เถ้าแกลบ สามารถดูดซับได้ดีกว่าแกลบธรรมดาและแกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก มีค่าสภาพการนำไฟฟ้า เท่ากับ 8.03, 10.29 และ 13.31 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ และจากการทดลองยังพบว่าตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด สามารถดูดซับได้ดีที่เวลา 5 ชั่วโมง

ตารางที่ 2.11 แสดงการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้เทคนิค Electrical conductivity ของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

ชนิดของตัวดูดซับ	ระยะเวลาในการดูดซับ(ชั่วโมง)	ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ms/cm)				ค่าเฉลี่ย	S.D.
		เริ่มต้น	1	2	3		
แกลบธรรมดา	1	30.46	25.32	24.25	25.14	24.90	0.573
	2	30.46	22.35	22.32	22.30	22.32	0.025
	3	30.46	18.30	18.50	18.50	18.43	0.115
	4	30.46	15.30	15.50	15.50	15.43	0.115
	5	30.46	13.35	13.32	13.30	13.32	0.025
แกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก	1	30.46	30.47	29.95	29.50	29.97	0.485
	2	30.46	27.32	26.30	26.44	26.69	0.553
	3	30.46	22.35	22.32	22.30	22.32	0.025
	4	30.46	18.30	18.50	18.50	18.43	0.115
	5	30.46	16.47	16.95	16.50	16.64	0.269
เถ้าแกลบ	1	30.46	19.99	19.13	19.50	19.54	0.431
	2	30.46	16.49	16.77	16.20	16.49	0.285
	3	30.46	13.53	13.64	13.08	13.42	0.297
	4	30.46	10.61	9.92	10.18	10.24	0.348
	5	30.46	8.19	8.65	10.18	9.01	1.042





รูปที่ 2.11 กราฟแสดงการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้เทคนิค Electrical conductivity ของตัวดูดซับชนิดต่าง ๆ

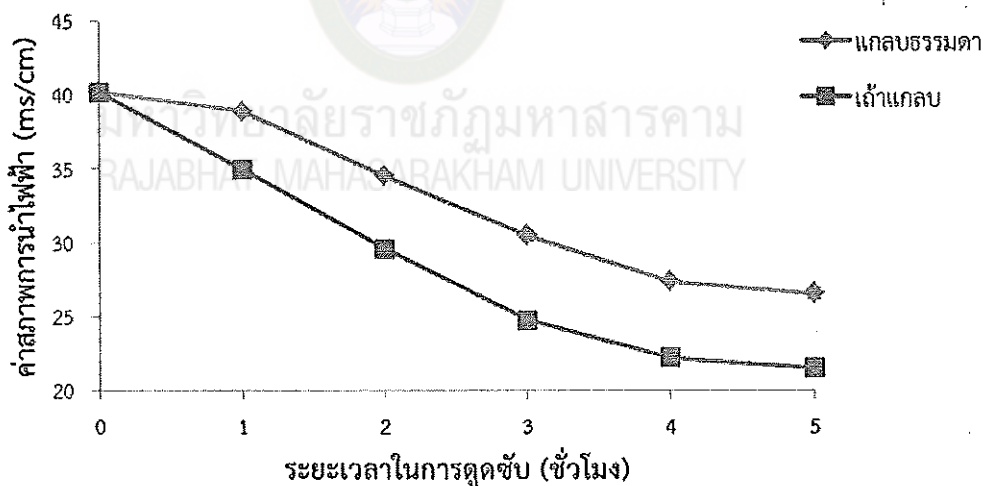
จากตารางที่ 2.11 และรูปที่ 2.11 พบว่าค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์ของโซเดียมไฮดรอกไซด์เริ่มต้น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.46 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร หลังจากศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยแกลบชนิดต่าง ๆ พบว่าเถ้าแกลบ สามารถดูดซับได้ดีกว่า แกลบธรรมชาติและแกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก มีค่าสภาพการนำไฟฟ้า เท่ากับ 9.01, 13.32 และ 16.64 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับและจากการทดลองยังพบว่าตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด สามารถดูดซับได้ดีที่เวลา 5 ชั่วโมง

#### ง. การศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมซัลเฟตโดยใช้เทคนิค Electrical conductivity

การศึกษการดูดซับด้วยโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมซัลเฟตของตัวอย่างแกลบ 2 ชนิด คือ แกลบธรรมชาติ และเถ้าแกลบ โดยใช้เทคนิค Electrical conductivity โดยทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมซัลเฟตของแกลบแต่ละชนิดที่เวลาต่างๆ คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2.12 และ 2.13

ตารางที่ 2.12 แสดงการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยโซเดียมคลอไรด์โดยใช้เทคนิค Electrical conductivity ของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

ชนิดของตัวดูดซับ	ระยะเวลาในการดูดซับ(ชั่วโมง)	ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ms/cm)				ค่าเฉลี่ย	S.D.
		เริ่มต้น	1	2	3		
แกลบธรรมดา	1	40.20	38.95	38.95	38.80	38.90	0.087
	2	40.20	34.31	34.70	34.60	34.54	0.203
	3	40.20	30.90	30.40	30.20	30.50	0.361
	4	40.20	27.30	27.30	27.60	27.40	0.173
	5	40.20	26.30	26.98	26.45	26.58	0.357
เถ้าแกลบ	1	40.20	34.82	35.57	34.59	34.99	0.512
	2	40.20	29.80	29.70	29.30	29.60	0.265
	3	40.20	24.50	24.50	25.30	24.77	0.462
	4	40.20	22.10	22.39	22.30	22.26	0.148
	5	40.20	21.15	22.04	21.37	21.52	0.464



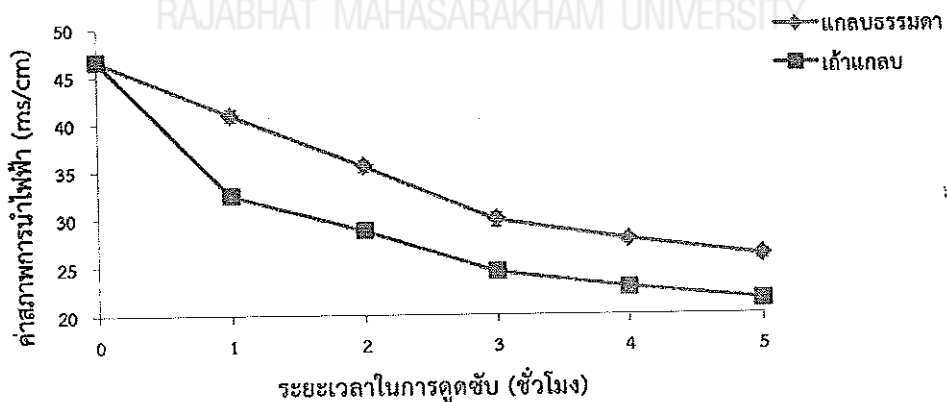
รูปที่ 2.12 กราฟแสดงการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยโซเดียมคลอไรด์โดยใช้เทคนิค Electrical conductivity ของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

จากตารางที่ 2.12 และรูปที่ 2.12 พบว่าค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์ของโซเดียม คลอไรด์เริ่มต้น มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน คือ 40.20 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร หลังจากศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยแกลบชนิดต่างๆ พบว่า เถ้าแกลบ สามารถดูดซับได้ดีกว่า

แกลบธรรมดา มีค่าสภาพการนำไฟฟ้า เท่ากับ 21.52 และ 26.58 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ และจากการทดลองยังพบว่าตัวดูดซับทั้ง 2 ชนิด สามารถดูดซับได้ดีที่เวลา 5 ชั่วโมง

ตารางที่ 2.13 แสดงการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยโซเดียมซัลเฟตโดยใช้เทคนิค Electrical conductivity ของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

ชนิดของตัวดูดซับ	ระยะเวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (mS/cm)				ค่าเฉลี่ย	S.D.
		เริ่มต้น	1	2	3		
แกลบธรรมดา	1	46.60	40.25	41.58	40.87	40.90	0.666
	2	46.60	35.40	35.90	34.68	35.33	0.613
	3	46.60	29.20	29.90	30.62	29.91	0.710
	4	46.60	27.60	27.59	28.10	27.76	0.292
	5	46.60	25.60	26.59	26.10	26.10	0.495
ถ้ำแกลบ	1	46.60	32.25	32.50	32.80	32.52	0.275
	2	46.60	28.30	28.78	29.40	28.83	0.551
	3	46.60	24.70	24.60	24.10	24.47	0.321
	4	46.60	22.10	23.50	22.80	22.80	0.700
	5	46.60	21.10	21.50	21.80	21.47	0.351



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยโซเดียมซัลเฟตโดยใช้เทคนิค Electrical conductivity ของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

จากตารางที่ 2.13 และรูปที่ 2.13 พบว่าค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์ของโซเดียมซัลเฟตเริ่มต้น มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน คือ 46.60 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร หลังจาก

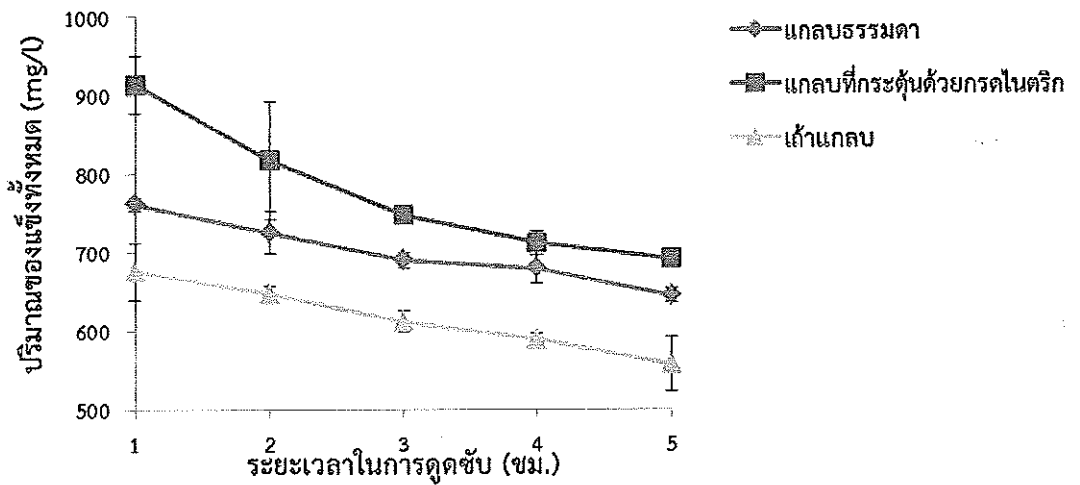
ศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยแกลบชนิดต่างๆ พบว่า ถั่วแกลบ สามารถดูดซับได้ดีกว่า แกลบธรรมดาและแกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก มีค่าสภาพการนำไฟฟ้า เท่ากับ 21.47 และ 26.10 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับและจากการทดลองยังพบว่าตัวดูดซับทั้ง 2 ชนิด สามารถดูดซับได้ดีที่เวลา 5 ชั่วโมง

#### จ. การศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยกรดไฮโดรคลอริกโดยหาปริมาณของแข็งทั้งหมด

การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับด้วยกรดไฮโดรคลอริกของตัวอย่างแกลบ 3 ชนิด คือ แกลบธรรมดา แกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก และถั่วแกลบ โดยหาปริมาณของแข็งทั้งหมดโดยทำการศึกษาการดูดซับด้วยกรดไฮโดรคลอริกของแกลบแต่ละชนิดที่เวลาต่างๆ คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 แสดงการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยกรดไฮโดรคลอริกโดยหาปริมาณของแข็ง ทั้งหมด ของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

ชนิดของตัวดูดซับ	ระยะเวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg/L)			ค่าเฉลี่ย	S.D.
		1	2	3		
แกลบธรรมดา	1	770	754	760	761.33	8.08
	2	754	722	700	725.33	27.15
	3	699	692	679	690.00	10.15
	4	694	657	688	679.67	19.86
	5	650	634	650	644.67	9.24
แกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก	1	942	927	873	914.00	36.29
	2	731	861	861	817.67	75.06
	3	756	745	742	747.67	7.37
	4	709	728	699	712.00	14.73
	5	698	680	698	692.00	10.39
ถั่วแกลบ	1	665	686	614	675.50	37.03
	2	640	654	634	647.00	10.26
	3	599	624	619	611.50	13.23
	4	590	582	596	589.33	7.02
	5	545	568	614	556.50	35.13



รูปที่ 2.14 กราฟแสดงการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยกรดไฮโดรคลอริกโดยหาปริมาณของแข็ง ทั้งหมดของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

จากตารางที่ 2.14 และรูปที่ 2.14 พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำเสียสังเคราะห์ของกรดไฮโดรคลอริก จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยแกลบชนิดต่างๆ พบว่าเถ้าแกลบสามารถดูดซับปริมาณของแข็งได้ดีกว่า แกลบธรรมดาและแกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก มีค่าเท่ากับ 556.50, 644.67 และ 692.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับและจากการทดลองยังพบว่าตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด สามารถดูดซับได้ดีที่เวลา 5 ชั่วโมง

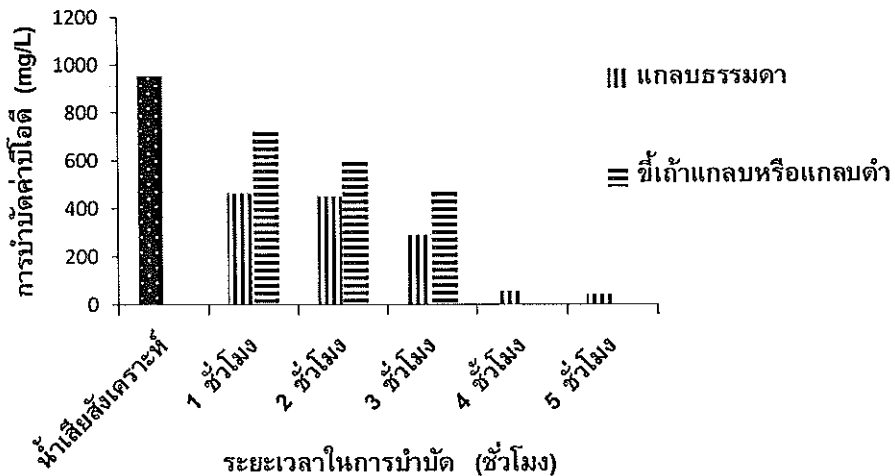
**จ. ผลการทดลองหาค่าบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัดด้วยแกลบ**

จากการนำตัวอย่างของน้ำเสียมาทำการวิเคราะห์หาค่าบีโอดีก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียด้วยแกลบทั้ง 2 ชนิด คือ ตัวอย่างแกลบธรรมดา ขี้เถ้าแกลบดำ ได้มีการบำบัดน้ำเสียในในช่วงเวลาที่แตกต่างกันคือ 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับโดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ได้ผลดังตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.15 แสดงค่าบีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนและหลังการบำบัดด้วยแกลบ

ชนิดตัวอย่าง แกลบ	ช่วงเวลาในการ บำบัดน้ำเสียด้วย แกลบ(ชั่วโมง)	ค่าบีโอดี (มิลลิกรัม/ ลิตร)				ค่า เบี่ยงเบน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
แกลบ ธรรมดา	น้ำเสียสังเคราะห์	930.00	960.00	975.00	955.00	±0.00
	1	449.00	451.00	450.00	450.00	±1.00
	2	433.00	433.00	434.00	433.00	±1.00
	3	285.00	285.00	286.00	285.00	±0.81
	4	60.00	60.00	60.00	60.00	±0.00
	5	45.00	45.00	45.00	45.00	±0.00
ขี้เถ้าแกลบ หรือแกลบดำ	น้ำเสียสังเคราะห์	930.00	960.00	975.00	955.00	±0.00
	1	750.00	753.00	750.00	751.00	±1.00
	2	600.00	600.00	600.00	600.00	±0.00
	3	480.00	480.00	480.00	480.00	±0.00
	4	ND	ND	ND	ND	±0.00
	5	ND	ND	ND	ND	±0.00

หมายเหตุ ND หมายถึง ตรวจไม่พบ, S.D หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

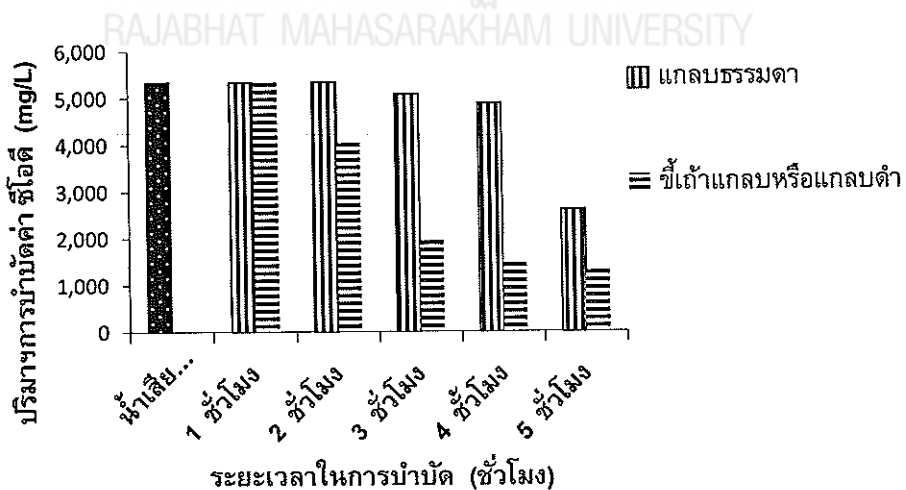


รูปที่ 2.15 เปรียบเทียบของค่าบีโอดีก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยแกลบธรรมดาและขี้เถ้าแกลบหรือแกลบดำ

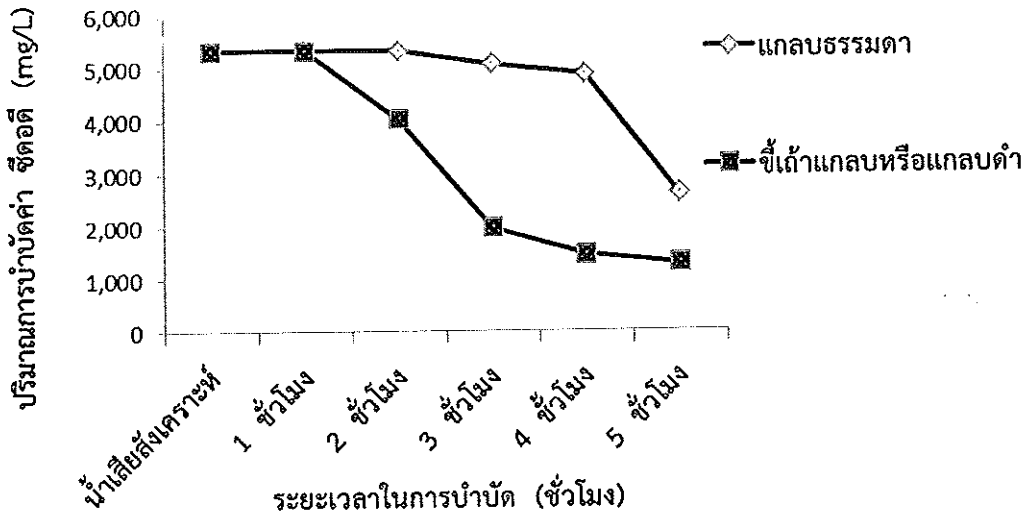
ตารางที่ 2.16 แสดงค่าซีไอทีของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนและหลังการบำบัดด้วยแกลบ

ชนิดตัวอย่าง แกลบ	ช่วงเวลาในการ บำบัดน้ำเสียด้วย แกลบ(ชั่วโมง)	ค่าซีไอที (มิลลิกรัม/ ลิตร)				ค่า เบี่ยงเบน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
แกลบ ธรรมดา	น้ำเสียสังเคราะห์	5,333	5,333	5,333	5,333	±0.00
	1	5,333	5,333	5,333	5,333	±0.00
	2	5,333	5,333	5,333	5,333	±0.00
	3	5,093	5,066	5,066	5,075	±0.00
	4	4,879	4,877	4,880	4,879	±1.00
5	2,604	2,606	2,604	2,605	±1.00	
ซีไอทีแกลบ หรือแกลบ ดำ	น้ำเสียสังเคราะห์	5,333	5,333	5,333	5,333	±0.00
	1	5,333	5,333	5,333	5,333	±0.00
	2	4,034	4,037	4,032	4,035	±1.00
	3	1,973	1,973	1,973	1,973	±0.00
	4	1,466	1,466	1,466	1,466	±0.00
5	1,299	1,294	1,297	1,297	±1.00	

หมายเหตุ ND หมายถึง ตรวจไม่พบ, S.D หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 2.17 แสดงการเปรียบเทียบของค่าซีไอทีก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยแกลบธรรมดา และ ซีไอทีแกลบ หรือแกลบดำ



รูปที่ 2.18 เปรียบเทียบค่าซีไอต์ก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยแกลบธรรมดาซีเถ้าแกลบ หรือแกลบดำ

จากตารางที่ 2.16 พบว่าค่าซีไอต์ของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการบำบัดด้วยแกลบ ทั้ง 2 ชนิด คือ ตัวอย่างแกลบธรรมดา ซีเถ้าแกลบดำ พบว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5,333 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยแกลบในระยะเวลา 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ พบว่าค่าซีไอต์มีค่าลดลงในตัวอย่างแกลบธรรมดาโดยอยู่ในช่วง 2,605 - 5,333 มิลลิกรัม/ลิตร แล้วยังพบว่าช่วงเวลาที่บำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุดคือ 5 4 3 และ 2 1 ตามลำดับและซีเถ้าแกลบดำหรือแกลบดำอยู่ในช่วง 1,297 - 5,333 มิลลิกรัม/ลิตร แล้วยังพบว่าช่วงเวลาที่บำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุดคือ 5 4 3 2 และ 1 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแกลบดำมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดีกว่าแกลบธรรมดาเพราะแกลบดำมีขนาดรูพรุนมากกว่าแกลบธรรมดาจึงสามารถดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดีกว่าแกลบธรรมดา

#### ข. การดูดซับน้ำสีสังเคราะห์ด้วยแกลบ

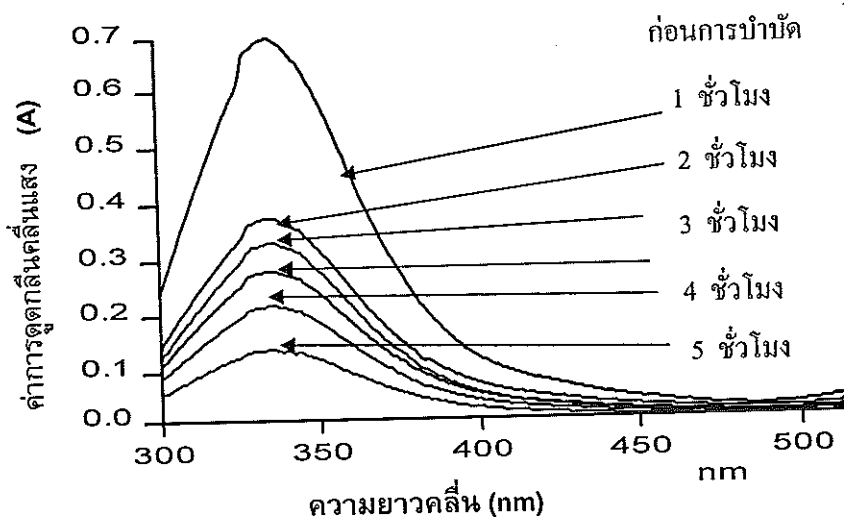
จากการนำตัวอย่างของแกลบทั้ง 2 ชนิด คือ ตัวอย่างแกลบธรรมดา ซีเถ้าแกลบดำ มาทดสอบความสามารถในการดูดซับสีเคมีย้อมผ้าฝ้าย ได้มีความเข้มข้นของสีมาตรฐาน 1 กรัมต่อ 9,500 มิลลิลิตร สำหรับสีที่นำมาทดลองคือ สีเหลือง สีแดง สีฟ้า สีเขียว สีเทา สีชมพูโดยได้มีการใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ได้มีการการดูดซับสีเคมีย้อมผ้าฝ้าย ในช่วงเวลาที่แตกต่างกันคือ 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับโดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ดังแสดงในตารางและภาพประกอบ



ตารางที่ 2.17 ค่าการดูดกลืนแสงของสีเขียวที่ผ่านการบำบัดด้วยแกลบ

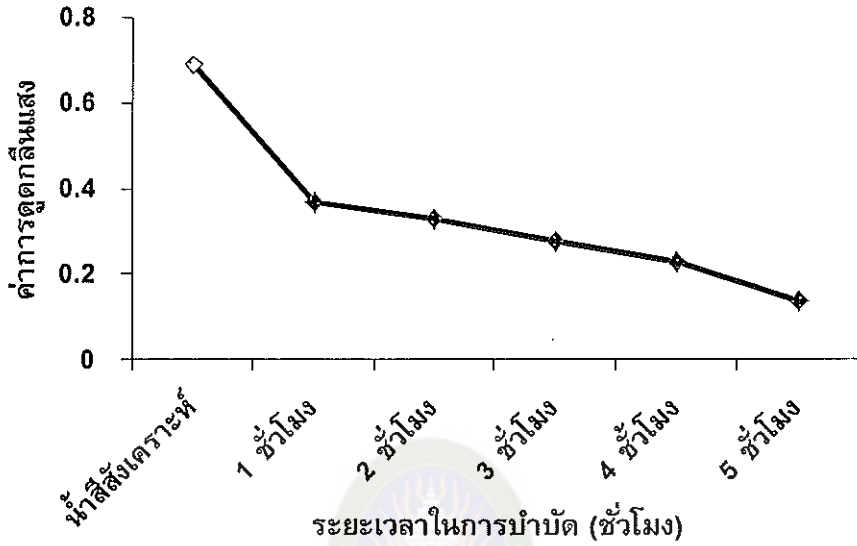
ชนิดของสี	ชนิดตัวอย่างแกลบ	ช่วงเวลาในการบำบัดน้ำเสียด้วยแกลบ (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)				ค่า S.D	ร้อยละของการดูดซับ
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย		
สีเขียว	แกลบธรรมดา	น้ำสีสังเคราะห์	0.69	0.69	0.69	0.69	±0.00	100.00
		1	0.37	0.35	0.38	0.36	±0.01	49.27
		2	0.32	0.37	0.33	0.32	±0.00	53.62
		3	0.27	0.29	0.27	0.27	±0.01	60.86
		4	0.21	0.23	0.24	0.22	±0.01	69.56
		5	0.14	0.13	0.14	0.13	±0.00	81.15
สีเขียว	ขี้เถ้าแกลบหรือแกลบดำ	น้ำสีสังเคราะห์	0.69	0.69	0.69	0.69	±0.00	100.00
		1	0.25	0.25	0.26	0.25	±0.00	63.76
		2	0.20	0.23	0.21	0.21	±0.01	71.01
		3	0.18	0.16	0.18	0.17	±0.01	76.81
		4	0.11	0.10	0.11	0.10	±0.00	85.50
		5	0.06	0.05	0.04	0.05	±0.00	94.20

หมายเหตุ ND หมายถึง ตรวจไม่พบ, S.D หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



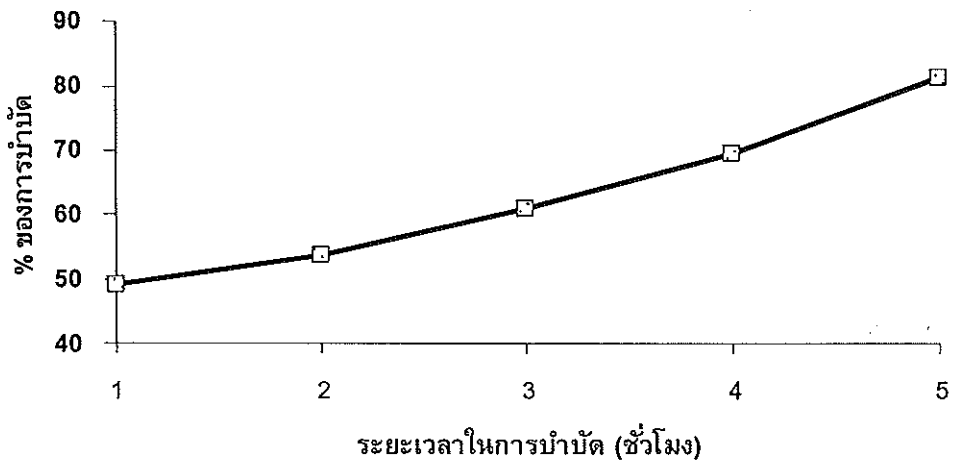
รูปที่ 2.19 การดูดกลืนแสงของสีเขียวที่ผ่านการบำบัดด้วยแกลบธรรมดา

จากรูปภาพที่ 2.19 ตัวอย่างกราฟการดูดกลืนแสงของสีเขียวที่ผ่านการบำบัดที่แสดงให้เห็นการลดลงของตัวอย่างเมื่อเทียบกับตัวอย่างก่อนการบำบัดด้วยกลบธรรมชาติ โดยได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่อง UV-Vis spectrometer



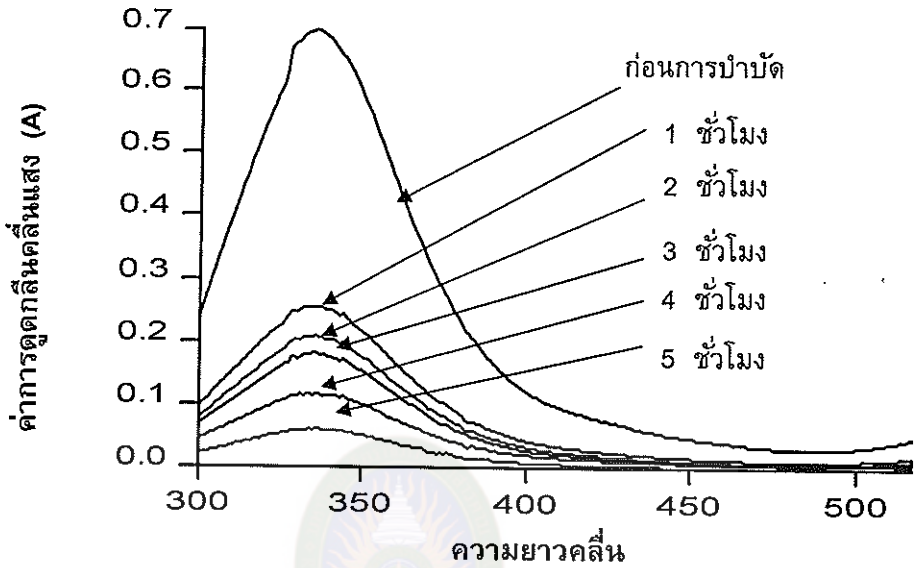
รูปที่ 2.20 เปรียบเทียบของสีเขียวก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยกลบธรรมชาติ

จากรูปภาพที่รูปที่ 2.20 แสดงการเปรียบเทียบของสีเขียวก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยกลบธรรมชาติมีแนวโน้มความสามารถในการบำบัดลดลงตามลำดับจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง



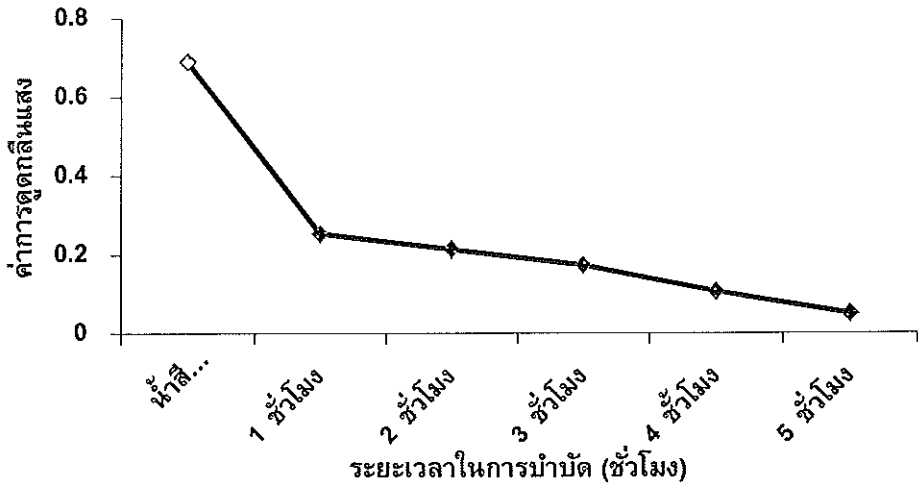
รูปที่ 2.21 เปรี่ขึ้นการบำบัดของสีเขียวมรดกด้วยกลบธรรมชาติ

จากรูปที่ 2.21 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับของสีด้วยกลีบธรรมดา พบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดมีค่ามากเท่าไรยิ่งมีความสามารถในการบำบัดได้ดี



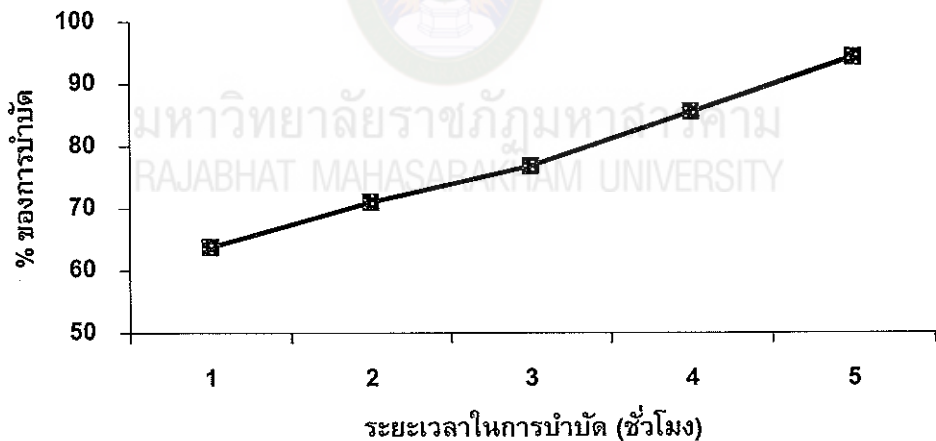
รูปที่ 2.22 กราฟการดูดกลืนแสงของสีเขียวที่ผ่านการบำบัดด้วยขี้เถ้ากล้วยหรือกล้วยดำ

จากรูปที่ 2.22 กราฟการดูดกลืนแสงของสีเขียวที่ผ่านการบำบัดด้วยขี้เถ้ากล้วยหรือกล้วยดำที่แสดงให้เห็นการลดลงของตัวอย่างเมื่อเทียบกับตัวอย่างก่อนการบำบัดด้วยกลีบธรรมดาโดยได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่อง UV-Vis spectrometer



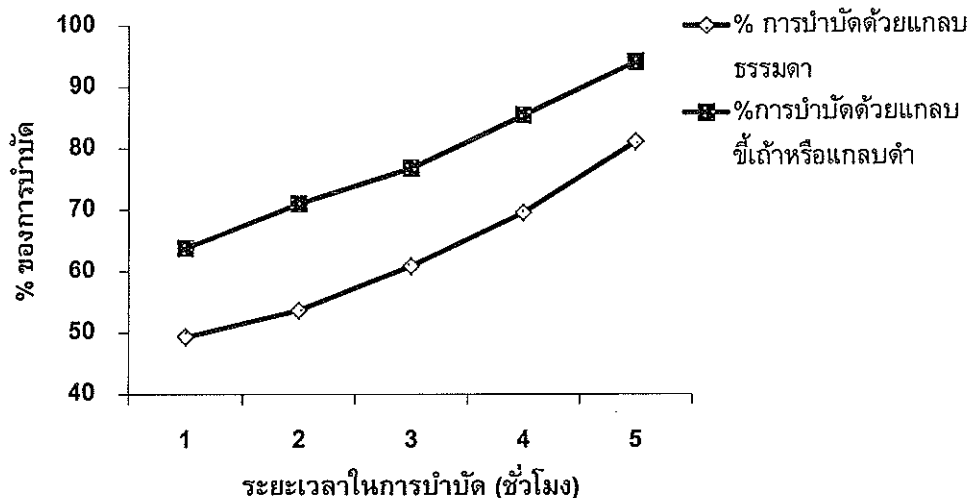
รูปที่ 2.23 เปรียบเทียบของสีเขียวก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำ

จากรูปภาพที่รูปที่ 2.23 แสดงการเปรียบเทียบของสีเขียวก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำมีแนวโน้มความสามารถในการบำบัดลดลงตามลำดับจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง



รูปที่ 2.24 เปอร์เซ็นการบำบัดของสีเขียวด้วยแกลบซีเถ้าหรือแกลบดำ

จากรูปที่ 2.24 แสดงเปอร์เซ็นต์การบำบัดของสีเขียวด้วยแกลบซีเถ้าหรือแกลบดำพบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดมีค่ามากเท่าไรยิ่งมีความสามารถในการบำบัดได้ดี



รูปที่ 2.25 เปรียบเทียบการเปรียบเทียบการบำบัดของซีไธ้าด้วยแอลบธรรมดาและซีไธ้าแอลบดำหรือแอลบดำ

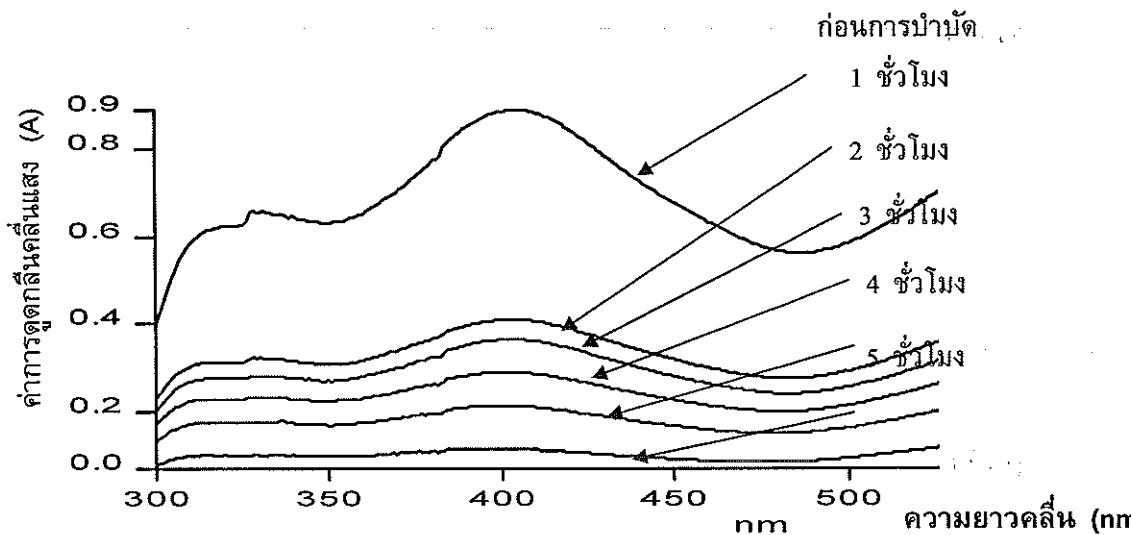
จากรูปที่ 2.25 แสดงเปรียบเทียบการบำบัดของซีไธ้าด้วยแอลบธรรมดาและซีไธ้าแอลบดำหรือแอลบดำ พบว่าแอลบดำหรือซีไธ้าแอลบดำมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดมากกว่าแอลบธรรมดา ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการบำบัดของแอลบดำได้ดีกว่าแอลบธรรมดาและระยะเวลาในการบำบัดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ คือ 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง

จากตารางที่ 2.17 พบว่าค่าการดูดกลืนของน้ำสีสังเคราะห์ของน้ำสีสังเคราะห์ก่อนการบำบัดด้วยแอลบ ทั้ง 2 ชนิด คือ ตัวอย่างแอลบธรรมดา ซีไธ้าแอลบดำ พบว่าค่าการดูดกลืนแสงตัวอย่างแอลบธรรมดามีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.69 และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยแอลบในระยะเวลา 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ พบค่าการดูดกลืนของน้ำสีสังเคราะห์ลดลงในตัวอย่างแอลบธรรมดาโดยอยู่ในช่วง 0.13 - 0.38 แล้วยังพบว่าช่วงเวลาค่าการดูดกลืนได้ดีที่สุดคือ 5 4 3 2 และ 1 ตามลำดับและซีไธ้าแอลบดำหรือแอลบดำอยู่ในช่วง 0.04-0.26 แล้วยังพบว่าช่วงเวลาที่บำบัดน้ำสีสังเคราะห์ได้ดีที่สุดคือ 5 4 3 2 และ 1 ตามลำดับดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแอลบดำมีความสามารถในการดูดซับน้ำสีสังเคราะห์ได้ดีกว่าแอลบธรรมดาเพราะแอลบดำมีขนาดรูพรุนมากกว่าแอลบธรรมดาจึงสามารถดูดซับน้ำสีสังเคราะห์ได้ดีกว่าแอลบธรรมดา

ตารางที่ 2.18 ค่าการดูดกลืนแสงของสีเทาที่ผ่านการบำบัดด้วยแกลบ

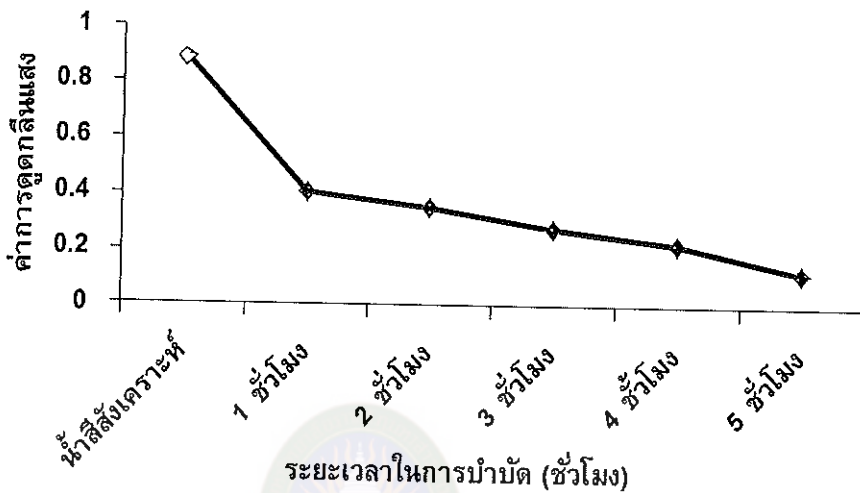
ชนิดของสี	ชนิดตัวอย่างแกลบ	เวลาในการบำบัดน้ำเสียด้วยแกลบ (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)				ค่า S.D	ร้อยละของการดูดซับ
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย		
สีเทา	แกลบธรรมชาติ	น้ำสีสังเคราะห์	0.89	0.89	0.89	0.89	±0.00	100.00
		1	0.40	0.41	0.40	0.40	±0.00	55.05
		2	0.36	0.36	0.34	0.33	±0.01	61.79
		3	0.28	0.26	0.29	0.27	±0.01	70.78
		4	0.22	0.22	0.24	0.22	±0.01	75.28
		5	0.12	0.12	0.14	0.12	±0.01	86.51
สีเทา	ขี้เถ้าแกลบหรือแกลบดำ	น้ำสีสังเคราะห์	0.89	0.89	0.89	0.89	±0.00	100.00
		1	0.27	0.27	0.28	0.27	±0.00	69.66
		2	0.23	0.24	0.22	0.23	±0.01	75.28
		3	0.21	0.2	0.2	0.20	±0.00	77.52
		4	0.13	0.15	0.12	0.13	±0.01	86.51
		5	0.06	0.06	0.07	0.06	±0.00	93.25

หมายเหตุ ND หมายถึง ตรวจไม่พบ, S.D หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



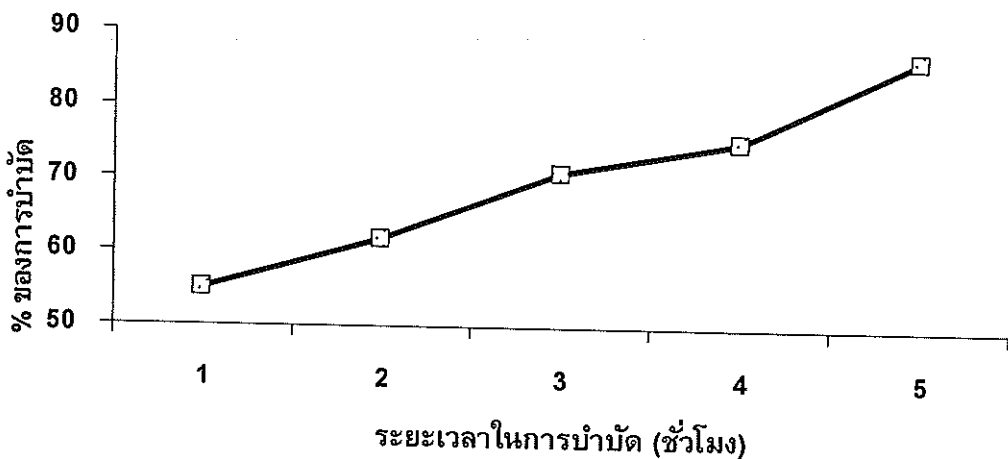
รูปที่ 2.26 กราฟการดูดกลืนแสงของสีเทาที่ผ่านการบำบัดด้วยแกลบธรรมชาติ

จากรูปที่ 2.26 กราฟการดูดกลืนแสงของสีเทาที่ผ่านการบำบัดด้วยกลีบธรรมดาที่แสดงให้เห็นการลดลงของตัวอย่างเมื่อเทียบกับตัวอย่างก่อนการบำบัดด้วยกลีบธรรมดาโดยได้จาก การวัดค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่อง UV-Vis spectrometer



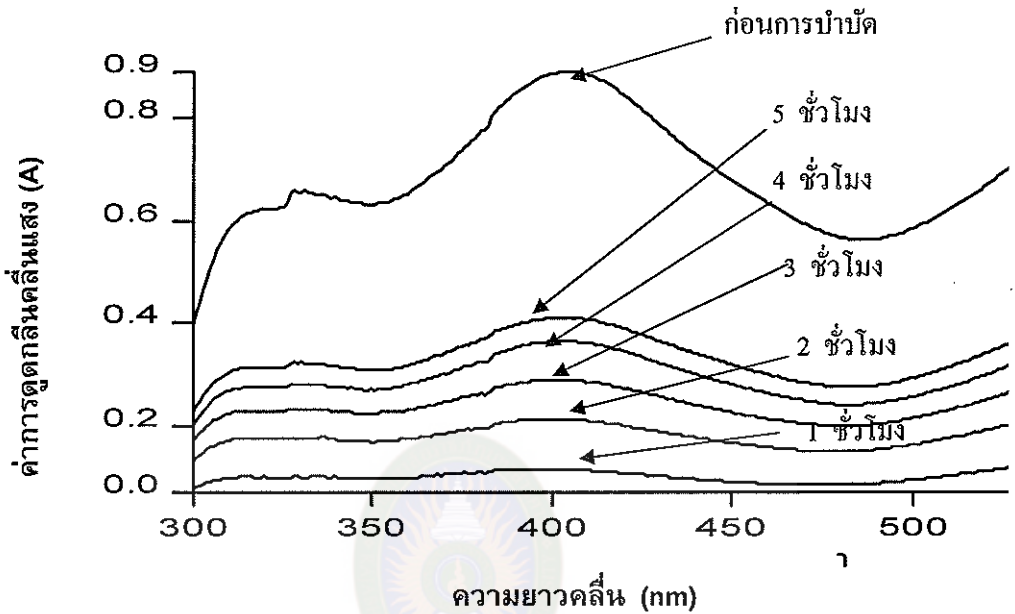
รูปที่ 2.27 เปรียบเทียบของสีเทา ก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยกลีบธรรมดา

จากรูปภาพที่รูปที่ 2.27 แสดงการเปรียบเทียบของสีเทา ก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วย กลีบธรรมดามีแนวโน้มความสามารถในการบำบัดลดลงตามลำดับจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง



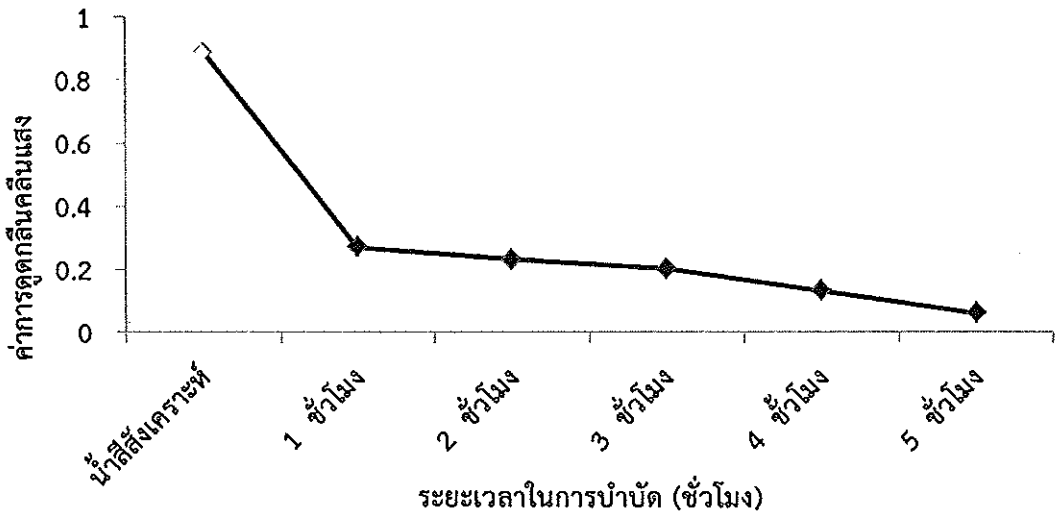
รูปที่ 2.28 เปอร์เซ็นการดูดซับของสีเทาด้วยกลีบธรรมดา

จากรูปที่ 2.28 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับของสีเทาด้วยกลีบธรรมชาติพบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดมีค่ามากเท่าไรยิ่งมีความสามารถในการบำบัดได้ดี



รูปที่ 2.29 การดูดกลืนแสงของสีเทาที่ผ่านการบำบัดด้วยขี้เถ้ากลีบหรือกลีบดำ

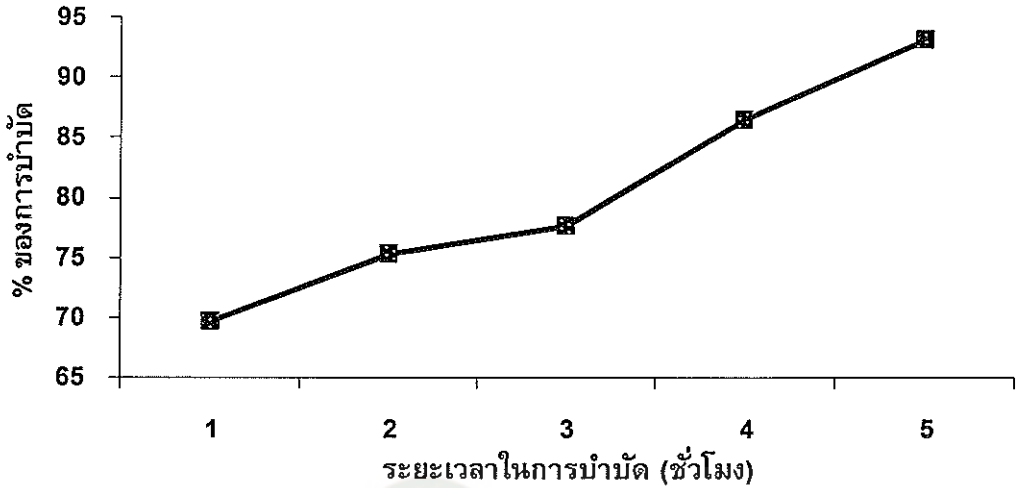
จาก รูปที่ 2.29 กราฟการดูดกลืนแสงของสีเทาที่ผ่านการบำบัดด้วยขี้เถ้ากลีบหรือกลีบดำที่แสดงให้เห็นการลดลงของตัวอย่างเมื่อเทียบกับตัวอย่างก่อนการบำบัดด้วยกลีบธรรมชาติโดยได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่อง UV-Vis spectrometer



รูปที่ 2.30 การเปรียบเทียบของสีเทาก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยขี้เถ้ากลีบหรือกลีบดำ

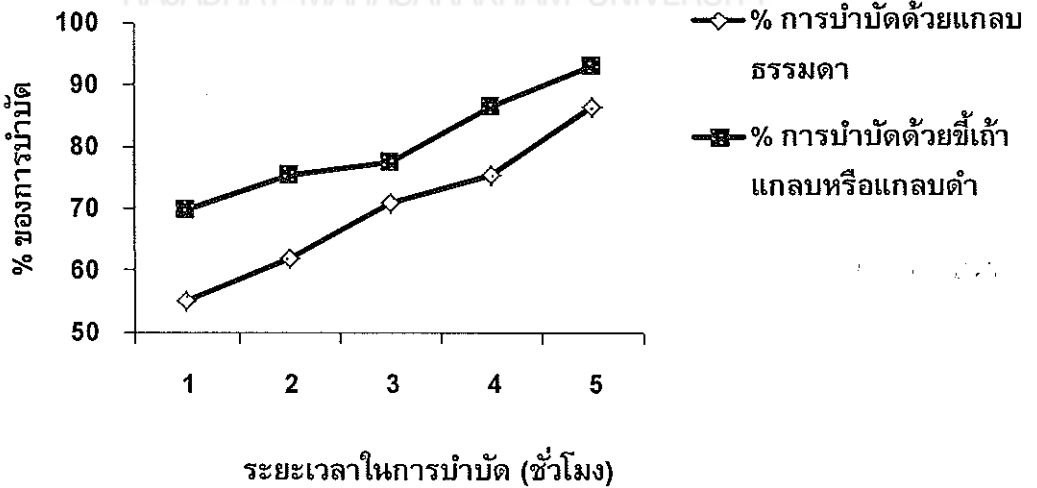


จากรูปภาพที่รูปที่ 2.30 แสดงการเปรียบเทียบของสีเทาก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยซีเถ้า แกลบหรือแกลบดำมีแนวโน้มความสามารถในการบำบัดลดลงตามลำดับจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง



รูปที่ 2.31 เปรอ์เซ็นการบำบัดของสีเทาด้วยซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำ

จากรูปที่ 2.31 แสดงเปอร์เซ็นการบำบัดของสีเทาด้วยซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำพบว่า เปรอ์เซ็นการบำบัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นการบำบัดมีค่ามากเท่าไรยิ่งมีความสามารถในการบำบัดได้ดี



รูปที่ 2.32 เปรอ์เซ็นการดูดซับของสีเทาด้วยแกลบธรรมดาและซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำ

จากรูปที่ 2.32 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับของสีเทาด้วยแกลบธรรมชาติและซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำ พบว่าแกลบดำหรือซีเถ้าแกลบดำมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดมากกว่าแกลบธรรมชาติ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการบำบัดของแกลบดำได้ดีกว่าแกลบธรรมชาติและระยะเวลาในการบำบัดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ คือ 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง

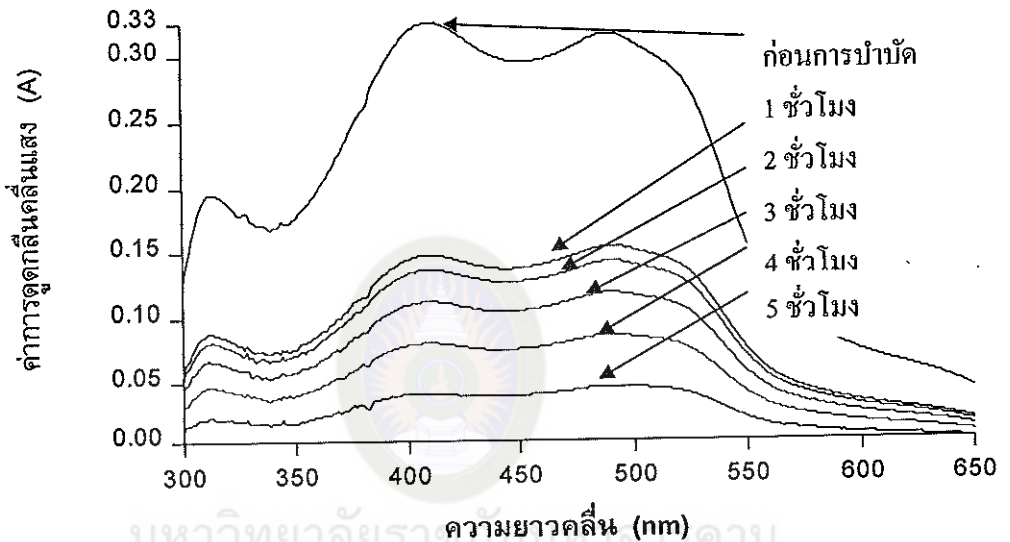
จากตารางที่ 2.18 พบว่าค่าการดูดกลืนของน้ำสีสังเคราะห์ของน้ำสีสังเคราะห์ก่อนการบำบัดด้วยแกลบ ทั้ง 2 ชนิด คือ ตัวอย่างแกลบธรรมชาติ ซีเถ้าแกลบดำ พบว่าค่าการดูดกลืนแสงตัวอย่างแกลบก่อนการบำบัดมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.89 และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยแกลบ ในช่วงเวลา 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ พบค่าการดูดกลืนของน้ำสีสังเคราะห์ลดลงในตัวอย่างแกลบธรรมชาติโดยอยู่ในช่วง 0.12 - 0.41 แล้วยังพบว่าช่วงเวลาค่าการดูดกลืนได้ดีที่สุดคือ 5 4 3 2 และ 1 ตามลำดับและซีเถ้าแกลบดำหรือแกลบดำอยู่ในช่วง 0.06-0.28 แล้วยังพบว่าช่วงเวลาที่บำบัดน้ำสีสังเคราะห์ได้ดีที่สุดคือ 5 4 3 2 และ 1 ตามลำดับตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแกลบดำมีความสามารถในการดูดซับน้ำสีสังเคราะห์ได้ดีกว่าแกลบธรรมชาติ เพราะแกลบดำมีขนาดรูพรุนมากกว่าแกลบธรรมชาติจึงสามารถดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดีกว่าแกลบธรรมชาติ

ตารางที่ 2.19 ค่าการดูดกลืนแสงของสีน้ำตาลที่ผ่านการบำบัดด้วยแกลบ

ชนิดของสี	ชนิดตัวอย่างแกลบ	ช่วงเวลาในการบำบัดน้ำเสียด้วยแกลบ (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)				ค่า S.D	ร้อยละของการดูดซับ
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย		
สีน้ำตาล	แกลบธรรมชาติ	น้ำสีสังเคราะห์	0.32	0.32	0.32	0.32	±0.00	100.00
		1	0.15	0.16	0.14	0.15	±0.01	56.25
		2	0.14	0.12	0.14	0.13	±0.01	62.50
		3	0.11	0.11	0.10	0.10	±0.00	68.75
		4	0.08	0.07	0.06	0.07	±0.01	82.25
		5	0.04	0.06	0.04	0.04	±0.01	87.51

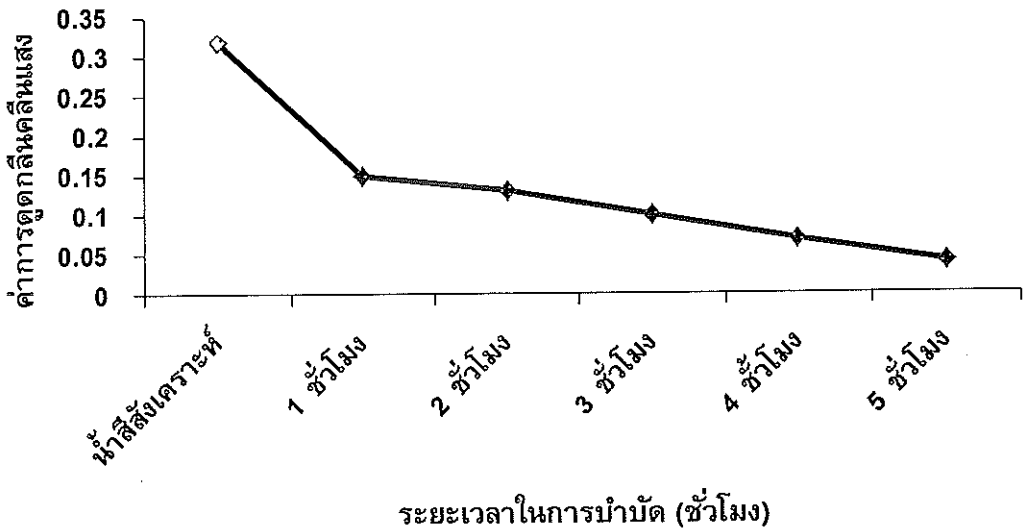
สีน้ำตาล	ซี้เท้าแกลบ หรือแกลบ ดำ	น้ำสี สังเคราะห์	0.32	0.32	0.32	0.32	±0.00	100.00
		1	0.10	0.10	0.12	0.11	±0.01	68.75
		2	0.09	0.08	0.09	0.08	±0.00	75.00
		3	0.07	0.08	0.07	0.07	±0.00	75.00
		4	0.06	0.06	0.05	0.05	±0.00	67.37
		5	0.03	0.02	0.04	0.03	±0.01	93.75

หมายเหตุ ND หมายถึง ตรวจไม่พบ, S.D หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



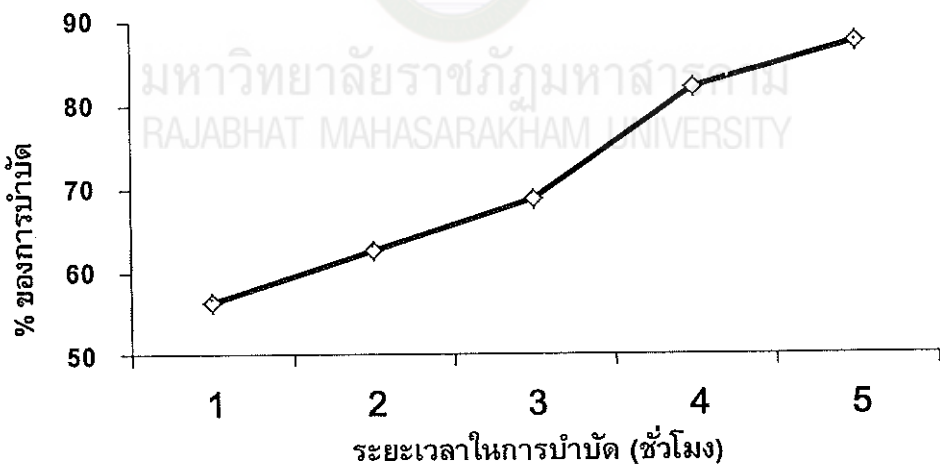
รูปที่ 2.33 กราฟการดูดกลืนแสงของสีน้ำตาลที่ผ่านการบำบัดด้วยแกลบธรรมดา

จาก รูปที่ 2.33 กราฟการดูดกลืนแสงของสีเทาที่ผ่านการบำบัดด้วยซี้เท้าแกลบหรือแกลบดำที่แสดงให้เห็นการลดลงของตัวอย่างเมื่อเทียบกับตัวอย่างก่อนการบำบัดด้วยแกลบธรรมดาโดยได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่อง UV-Vis spectrometer .



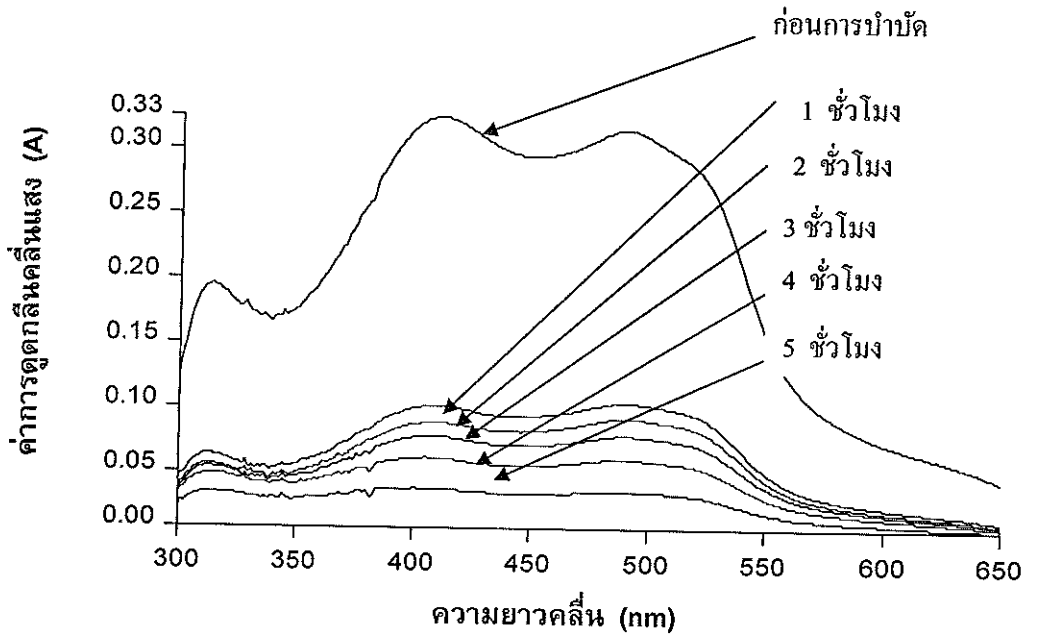
รูปที่ 2.34 การเปรียบเทียบของสีน้ำตาลก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยกลีบธรรมดา

จากรูปที่ 2.34 แสดงการเปรียบเทียบของสีน้ำตาลก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยกลีบธรรมดามีแนวโน้มความสามารถในการบำบัดลดลงตามลำดับจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง



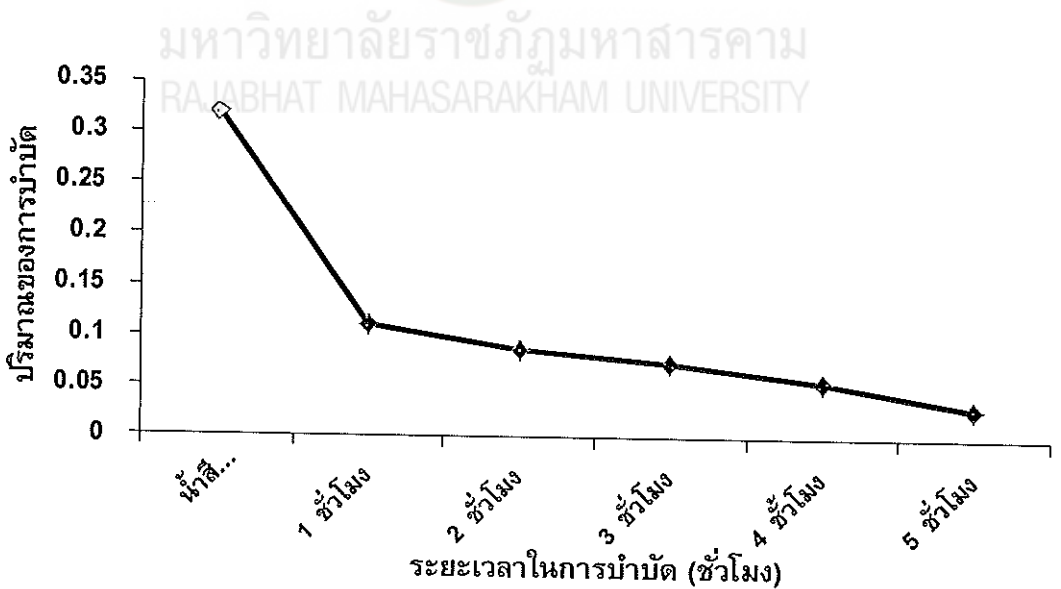
รูปที่ 2.35 เปรอ์เซ็นการดูดซับของสีน้ำตาลด้วยกลีบธรรมดา

จากรูปที่ 2.35 แสดงเปอร์เซ็นต์การบำบัดของสีเทาด้วยซีถ้ากลีบหรือกลีบดำพบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดมีค่ามากเท่าไรยิ่งมีความสามารถในการบำบัดได้ดี



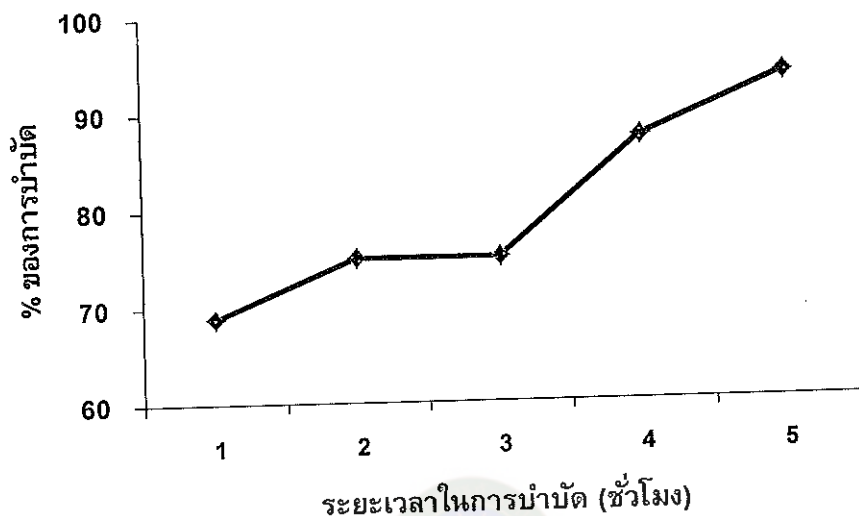
รูปที่ 2.36 กราฟการดูดกลืนแสงของสีน้ำตาลที่ผ่านการบำบัดด้วยซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำ

จาก 2.36 กราฟการดูดกลืนแสงของสีน้ำตาลที่ผ่านการบำบัดด้วยซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำที่แสดงให้เห็นการลดลงของตัวอย่างเมื่อเทียบกับตัวอย่างก่อนการบำบัดด้วยแกลบธรรมดา โดยได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่อง UV-Vis spectrometer



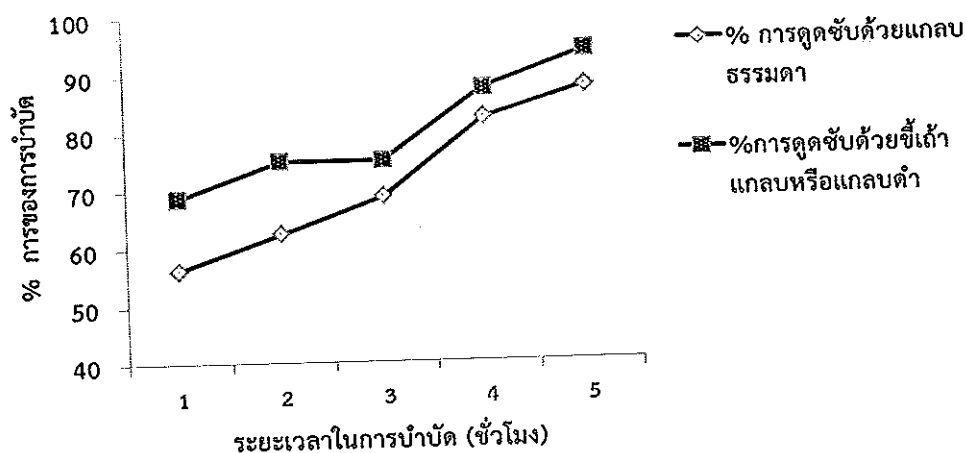
รูปที่ 2.37 การเปรียบเทียบของสีน้ำตาลก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำ

จากรูปที่ 2.37 แสดงการเปรียบเทียบของสีน้ำตาลก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำมีแนวโน้มความสามารถในการบำบัดลดลงตามลำดับจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง



รูปที่ 2.38 เปรอ์เห็นการบำบัดของสีน้ำตาลด้วยซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำ

จากรูปที่ 2.38 แสดงเปอร์เซ็นต์การบำบัดของสีน้ำตาลด้วยซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำพบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดมีค่ามากเท่าไรยิ่งมีความสามารถในการบำบัดได้ดี



รูปที่ 2.39 เปรอ์เห็นการดูดซับของสีน้ำตาลด้วยแกลบธรรมดาและซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำ

จากรูปที่ 2.39 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับของสีเทาด้วยแกลบซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำ พบว่าแกลบดำหรือซีเถ้าแกลบดำมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดมากกว่าแกลบธรรมดา ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการบำบัดของแกลบดำได้ดีกว่าแกลบธรรมดาและระยะเวลาในการบำบัดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ คือ 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง

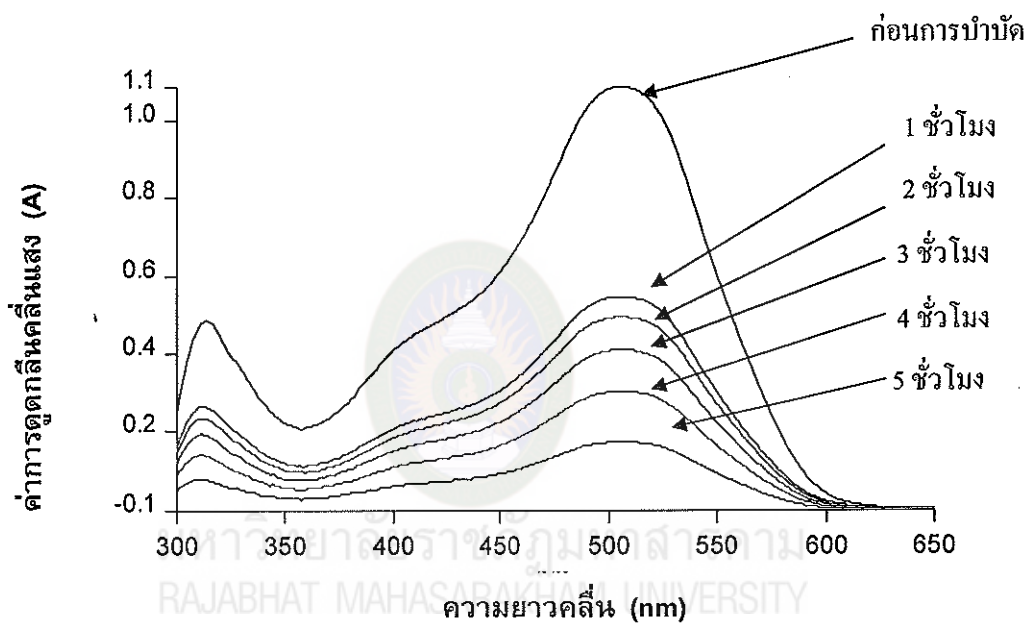
จากตารางที่ 2.19 พบว่า ค่าการดูดกลืนของน้ำสีสังเคราะห์ของน้ำสีสังเคราะห์ก่อนการบำบัดด้วยแกลบ ทั้ง 2 ชนิด คือ ตัวอย่างแกลบธรรมดาซีเถ้าแกลบดำพบว่าค่าการดูดกลืนแสงตัวอย่างแกลบก่อนการบำบัดมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.32 และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยแกลบในระยะเวลา 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ พบค่าการดูดกลืนของน้ำสีสังเคราะห์ลดลงในตัวอย่างแกลบธรรมดาโดยอยู่ในช่วง 0.04 - 0.16 แล้วยังพบว่าช่วงเวลาค่าการดูดกลืนได้ดีที่สุดคือ 5 4 3 2 และ 1 ตามลำดับและซีเถ้าแกลบดำหรือแกลบดำอยู่ในช่วง 0.02 - 0.11 แล้วยังพบว่าช่วงเวลาที่บำบัดน้ำสีสังเคราะห์ได้ดีที่สุดคือ 5 4 3 2 และ 1 ตามลำดับตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแกลบดำมีความสามารถในการดูดซับน้ำสีสังเคราะห์ได้ดีกว่าแกลบธรรมดาเพราะแกลบดำมีขนาดรูพรุนมากกว่าแกลบธรรมดาจึงสามารถดูดซับน้ำสีสังเคราะห์ได้ดีกว่าแกลบธรรมดา

ตารางที่ 2.20 ค่าการดูดกลืนแสงของสีแดงที่ผ่านการบำบัดด้วยแกลบ

ชนิดของสี	ชนิดตัวอย่างแกลบ	ช่วงเวลาในการบำบัดน้ำเสียด้วยแกลบ (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)				ค่า S.D	ร้อยละของการดูดซับ
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย		
สีแดง	แกลบธรรมดา	น้ำสีสังเคราะห์	1.08	1.08	1.08	1.08	±0.00	100.00
							±0.06	50.92
		1	0.54	0.53	0.65	0.57	±0.00	55.55
		2	0.49	0.48	0.49	0.48	±0.01	62.96
		3	0.41	0.43	0.40	0.41	±0.01	72.22
		4	0.30	0.33	0.30	0.31	±0.01	86.11
		5	0.17	0.15	0.17	0.16		

สีแดง	ซีดำแกลบ หรือแกลบ ดำ	น้ำสี สังเคราะห์	1.08	1.08	1.08	1.08	±0.00	100.00
								69.44
		1	0.35	0.33	0.36	0.34	±0.01	72.22
		2	0.32	0.3	0.31	0.31	±0.01	75.92
		3	0.27	0.27	0.26	0.26	±0.00	83.33
		4	0.19	0.18	0.19	0.18	±0.00	90.74
		5	0.10	0.11	0.11	0.10	±0.00	

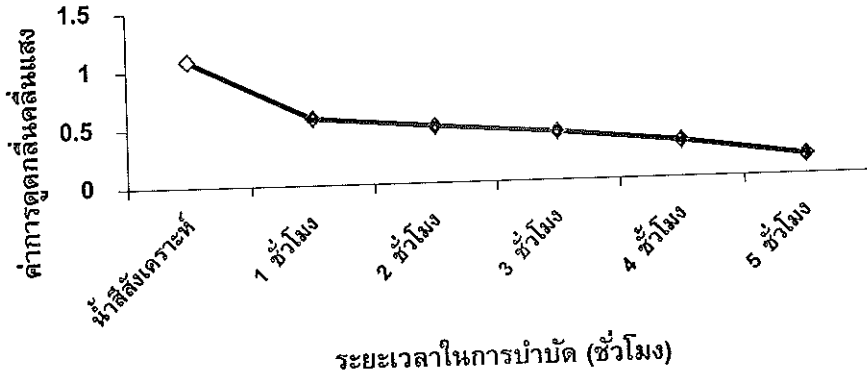
หมายเหตุ ND หมายถึง ตรวจไม่พบ, S.D หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 2.40 กราฟการดูดกลืนแสงของสีแดงที่ผ่านการบำบัดด้วยแกลบธรรมดา

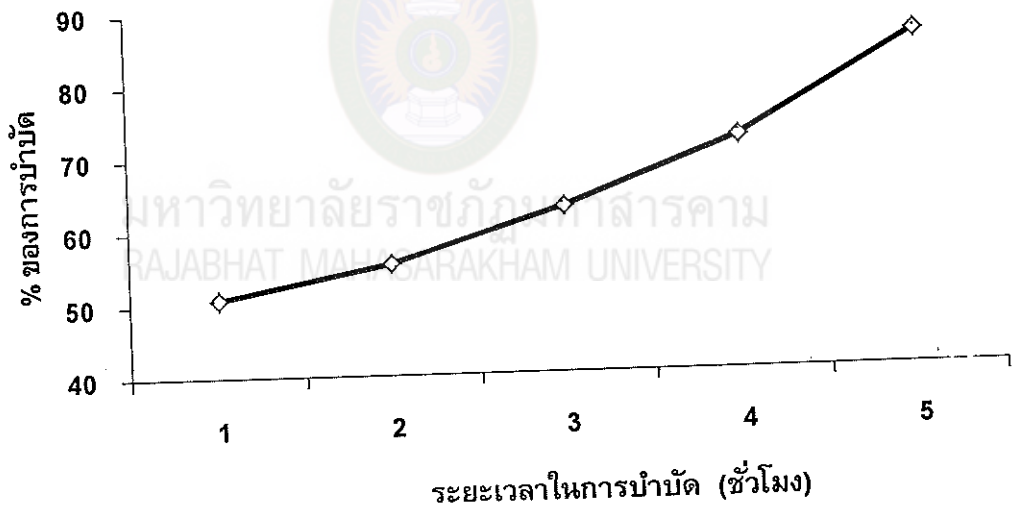
จากรูปที่ 2.40 กราฟการดูดกลืนแสงของสีแดงที่ผ่านการบำบัดด้วยแกลบธรรมดาที่แสดงให้เห็นการลดลงของตัวอย่างเมื่อเทียบกับตัวอย่างก่อนการบำบัดด้วยแกลบธรรมดาโดยได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่อง UV-Vis spectrometer





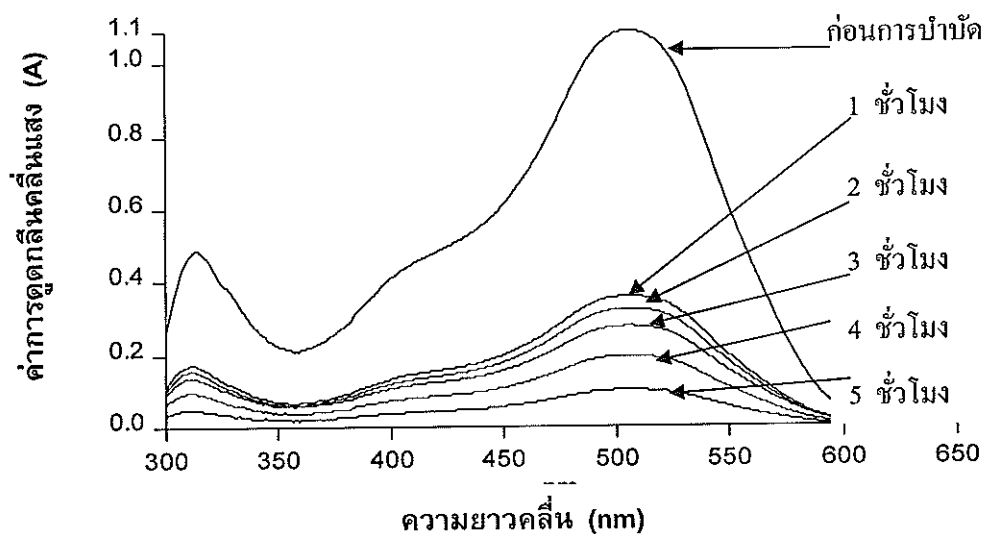
รูปที่ 2.41 แสดงการเปรียบเทียบของสีแดงก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยแสงบรมตรา

จากรูปที่ 2.41 แสดงการเปรียบเทียบของสีแดงก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยแสงบรมตรา มีแนวโน้มความสามารถในการบำบัดลดลงตามลำดับจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง



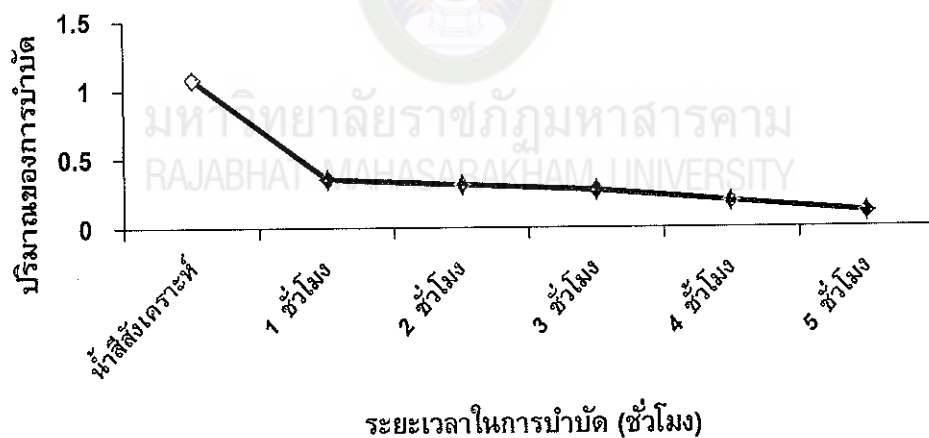
รูปที่ 2.42 เปอร์เซนต์การดูดซับของสีแดงด้วยแสงบรมตรา

จากรูปที่ 2.42 แสดงเปอร์เซนต์การดูดซับของสีแดงด้วยแสงบรมตรา พบว่าเปอร์เซนต์การบำบัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเปอร์เซนต์การบำบัดมีค่ามากเท่าไรยิ่งมีความสามารถในการบำบัดได้ดี



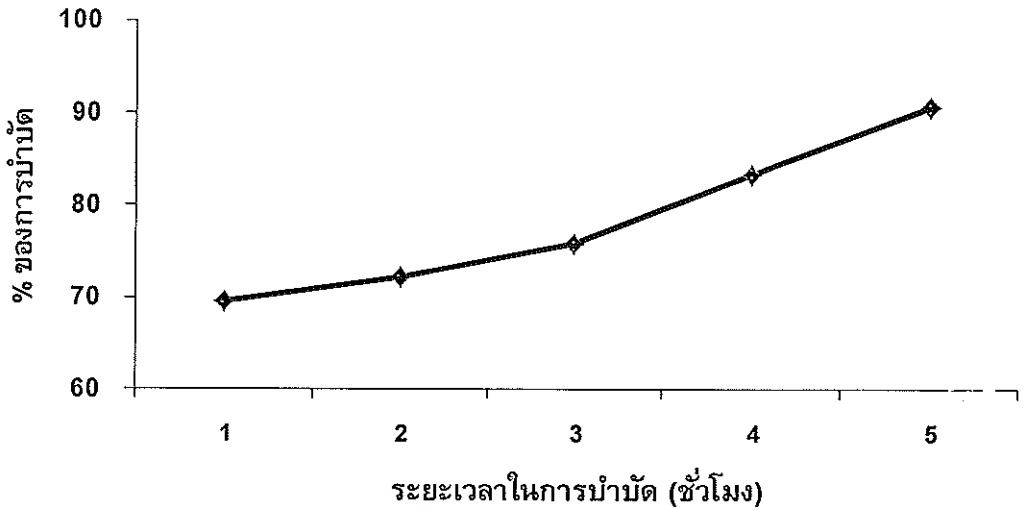
รูปที่ 2.43 กราฟการดูดกลืนแสงของสีแดงที่ผ่านการบำบัดด้วยซีเอ็มแอลบีหรือแอลบี

จากรูปที่ 2.43 กราฟการดูดกลืนแสงของสีแดงที่ผ่านการบำบัดด้วยซีเอ็มแอลบีหรือแอลบีที่แสดงให้เห็นการลดลงของตัวอย่างเมื่อเทียบกับตัวอย่างก่อนการบำบัดด้วยแอลบีธรรมดาโดยได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่อง UV-Vis spectrometer



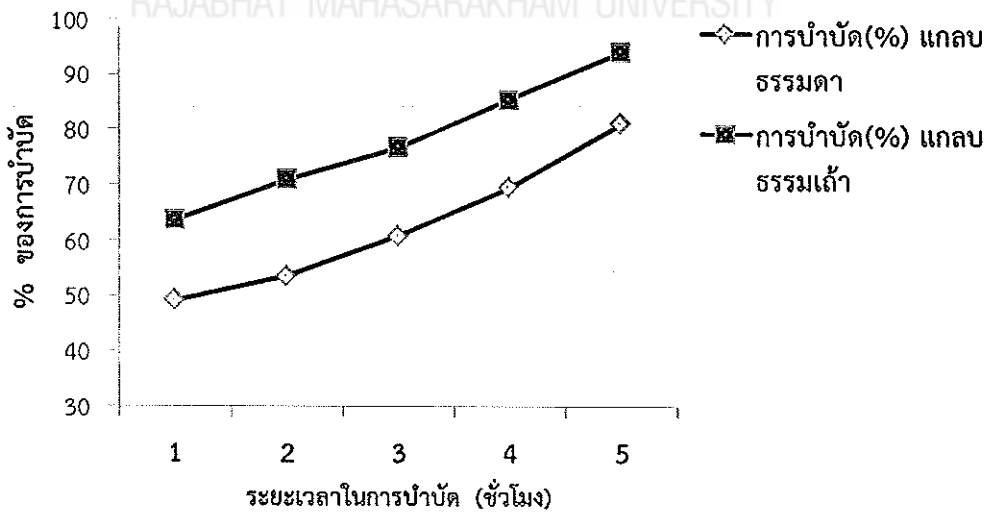
รูปที่ 2.44 แสดงการเปรียบเทียบของสีแดงก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยซีเอ็มแอลบีหรือแอลบี

จากรูปที่ 2.44 แสดงการเปรียบเทียบของสีแดงก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำมีแนวโน้มความสามารถในการบำบัดลดลงตามลำดับจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง



รูปที่ 2.45 แสดงเปอร์เซ็นต์การบำบัดของสีแดงด้วยซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำ

จากรูปที่ 2.45 แสดงเปอร์เซ็นต์การบำบัดของสีแดงด้วยซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำพบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดมีค่ามากเท่าไรยิ่งมีความสามารถในการบำบัดได้ดี



รูปที่ 2.46 เปอร์เซ็นต์การบำบัดของสีแดงแกลบธรรมดาและซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำ

จากรูปที่ 2.46 แสดงเปอร์เซ็นต์การบำบัดของสีแดงแกลบธรรมชาติและซีเถ้าแกลบหรือแกลบดำ พบว่าแกลบดำหรือซีเถ้าแกลบดำมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดมากกว่าแกลบธรรมชาติ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการบำบัดของแกลบดำได้ดีกว่าแกลบธรรมชาติและระยะเวลาในการบำบัดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ คือ 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง

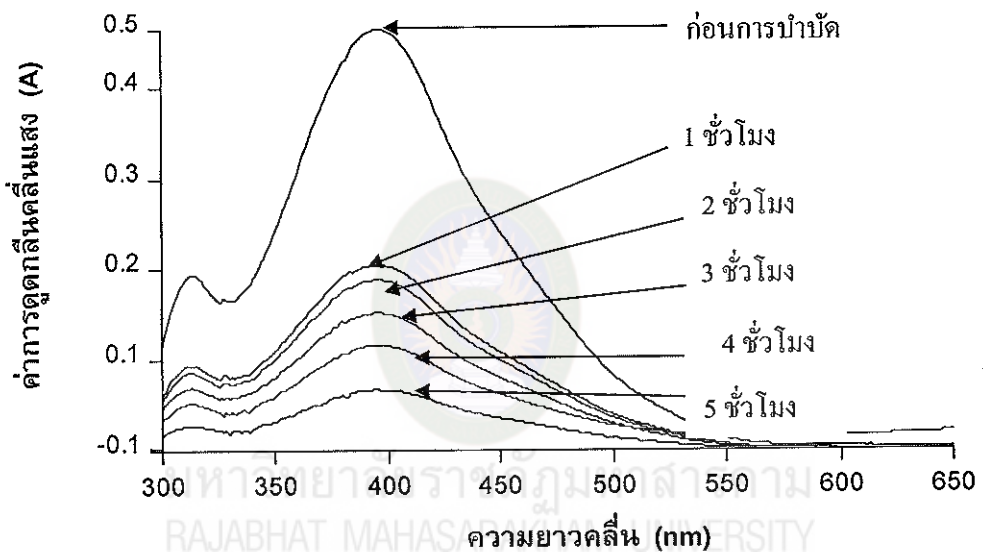
จากตารางที่ 2.20 พบว่าค่าการดูดกลืนของน้ำสีสังเคราะห์ของน้ำสีสังเคราะห์ก่อนการบำบัดด้วยแกลบ ทั้ง 2 ชนิด คือตัวอย่างแกลบธรรมชาติ ซีเถ้าแกลบดำพบว่าค่าการดูดกลืนแสงตัวอย่างแกลบก่อนการบำบัดมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 1.08 และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยแกลบในช่วงเวลา 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ พบค่าการดูดกลืนของน้ำสีสังเคราะห์ลดลงในตัวอย่างแกลบธรรมชาติโดยอยู่ในช่วง 0.15 - 0.65 แล้วยังพบว่าช่วงเวลาค่าการดูดกลืนได้ดีที่สุดคือ 5 4 3 2 และ 1 ตามลำดับและซีเถ้าแกลบดำหรือแกลบดำอยู่ในช่วง 0.10 - 0.31 แล้วยังพบว่าช่วงเวลาที่บำบัดน้ำสีสังเคราะห์ได้ดีที่สุดคือ 5 4 3 2 และ 1 ตามลำดับตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแกลบดำมีความสามารถในการดูดซับน้ำสีสังเคราะห์ได้ดีกว่าแกลบธรรมชาติเพราะแกลบดำมีขนาดรูพรุนมากกว่าแกลบธรรมชาติจึงสามารถดูดซับน้ำสีสังเคราะห์ได้ดีกว่าแกลบธรรมชาติ

ตารางที่ 2.21 ค่าการดูดกลืนแสงของสีเหลืองที่ผ่านการบำบัดด้วยแกลบ

ชนิดของสี	ชนิดตัวอย่างแกลบ	ช่วงเวลาในการบำบัดน้ำเสียด้วยแกลบ (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)				ค่า S.D	ร้อยละของการดูดซับ
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย		
สีเหลือง	แกลบธรรมชาติ	น้ำสีสังเคราะห์	0.46	0.46	0.46	0.46	±0.00	100.00
		1	0.20	0.21	0.19	0.20	±0.01	58.69
		2	0.18	0.17	0.18	0.16	±0.00	63.04
		3	0.15	0.17	0.15	0.15	±0.01	67.39
		4	0.11	0.10	0.10	0.10	±0.00	78.26
		5	0.06	0.05	0.06	0.05	±0.00	89.13

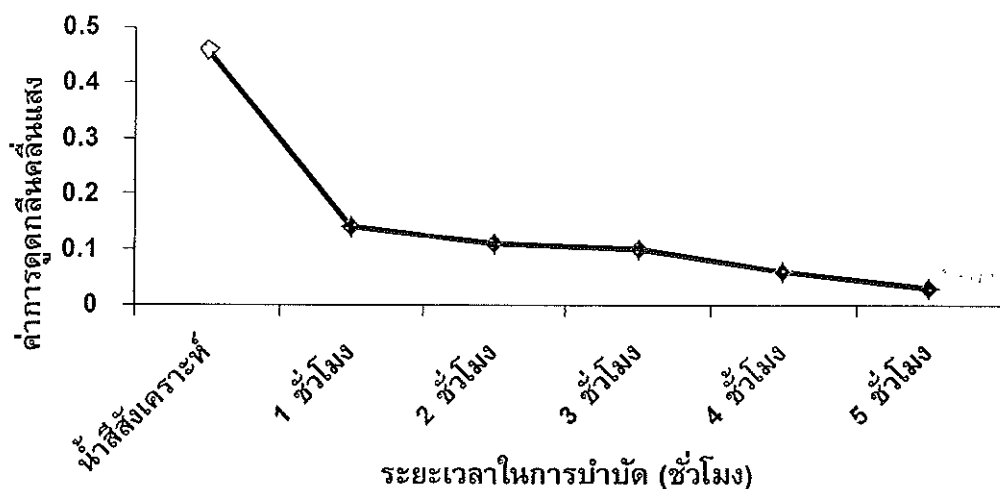
สีเหลือง	ซีดำ	น้ำสี	0.46	0.46	0.46	0.46	±0.00	100.00
	เกลบ	สังเคราะห์						
	หรือ	1	0.14	0.14	0.16	0.14	±0.01	69.56
	เกลบ	2	0.12	0.11	0.12	0.11	±0.00	76.08
	ดำ	3	0.10	0.11	0.1	0.10	±0.00	78.26
		4	0.07	0.06	0.07	0.06	±0.00	86.95
		5	0.03	0.05	0.03	0.03	±0.01	93.47

หมายเหตุ ND หมายถึง ตรวจไม่พบ, S.D หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



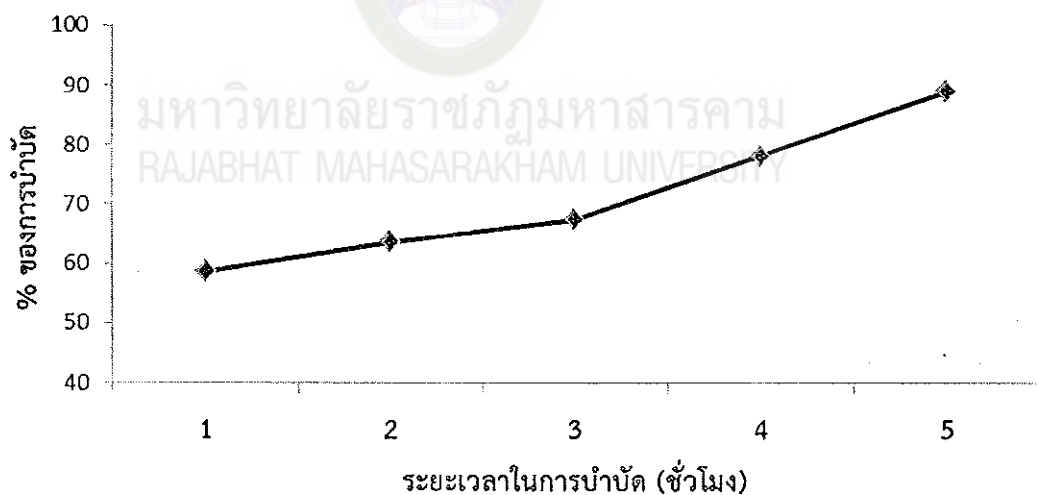
รูปที่ 2.47 กราฟการดูดกลืนแสงของสีเหลืองที่ผ่านการบำบัดด้วยแกมมาธรรมชาติ

จากรูปที่ 2.47 กราฟการดูดกลืนแสงของสีเหลืองที่ผ่านการบำบัดด้วยแกมมาธรรมชาติที่แสดงให้เห็นการลดลงของตัวอย่างเมื่อเทียบกับตัวอย่างก่อนการบำบัดด้วยแกมมาธรรมชาติได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่อง UV-Vis spectrometer



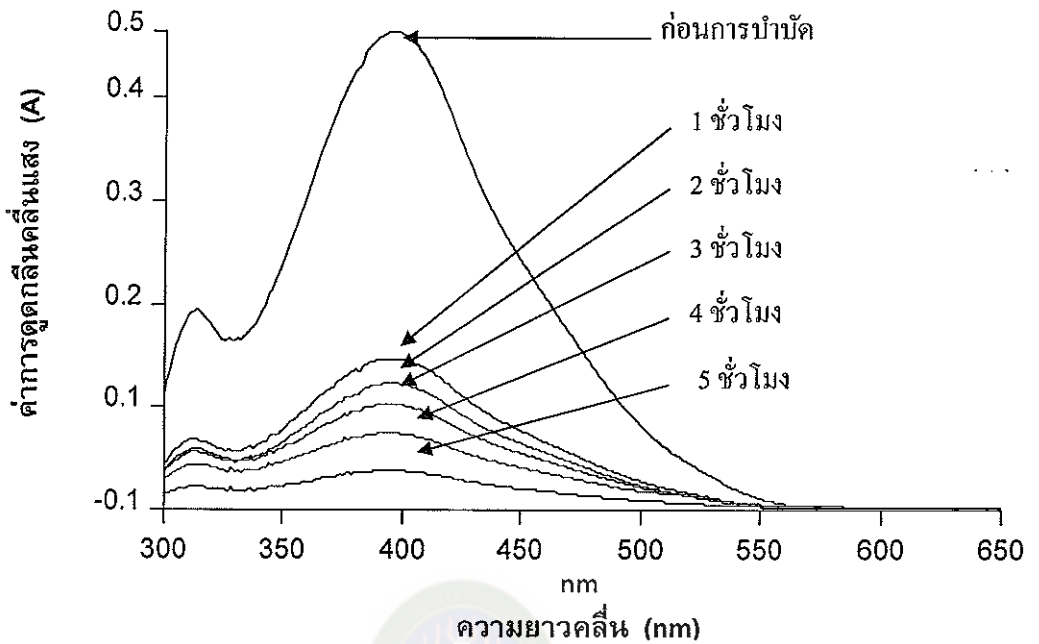
รูปที่ 2.48 แสดงการเปรียบเทียบของสีเหลืองก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยกลบธรรมดา

จากรูปที่ 2.48 แสดงการเปรียบเทียบของสีเหลืองก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยกลบธรรมดา มีแนวโน้มความสามารถในการบำบัดลดลงตามลำดับจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง



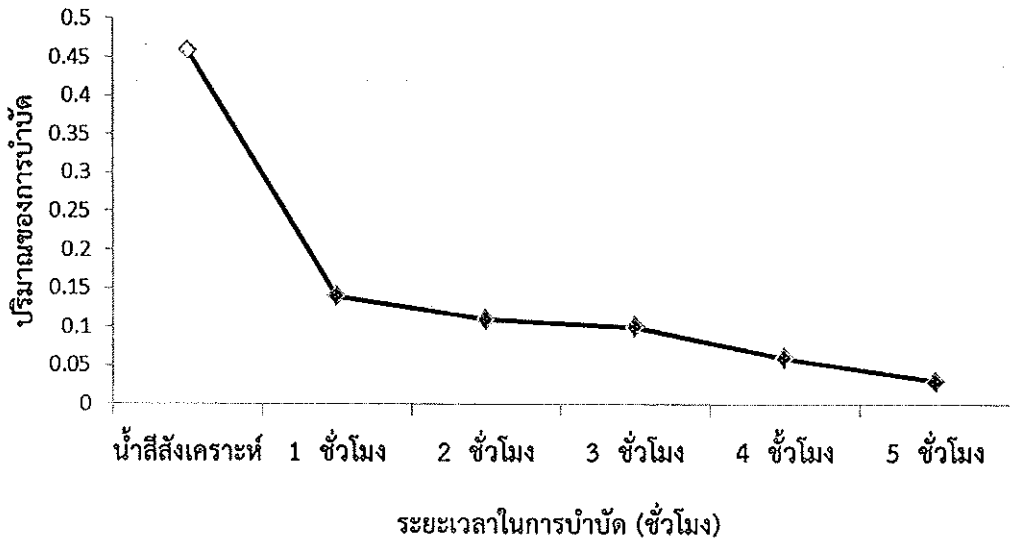
รูปที่ 2.49 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับของสีเหลืองด้วยกลบธรรมดา

จากรูปที่ 2.49 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับของสีเหลืองด้วยกลบธรรมดา การบำบัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดมีค่ามากเท่าไรยิ่งมีความสามารถในการบำบัดได้ดี



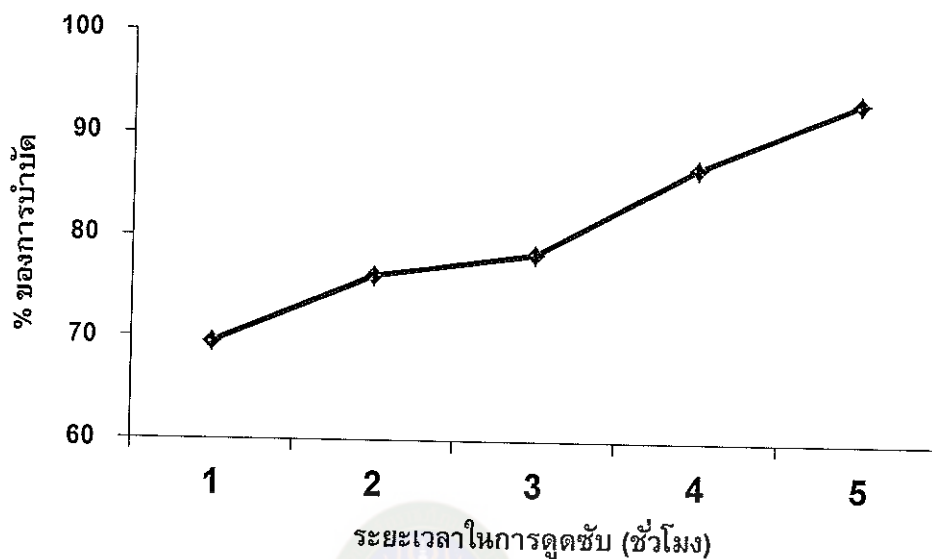
รูปที่ 2.50 กราฟการดูดกลืนแสงของสีเหลืองที่ผ่านการบำบัดด้วยซีढ़้าแกลบหรือแกลบดำ

จากรูปที่ 2.50 กราฟการดูดกลืนแสงของสีเหลืองที่ผ่านการบำบัดด้วยซีढ़้าแกลบหรือแกลบดำที่แสดงให้เห็นการลดลงของตัวอย่างเมื่อเทียบกับตัวอย่างก่อนการบำบัดด้วยแกลบธรรมดาโดยได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่อง UV-Vis spectrometer



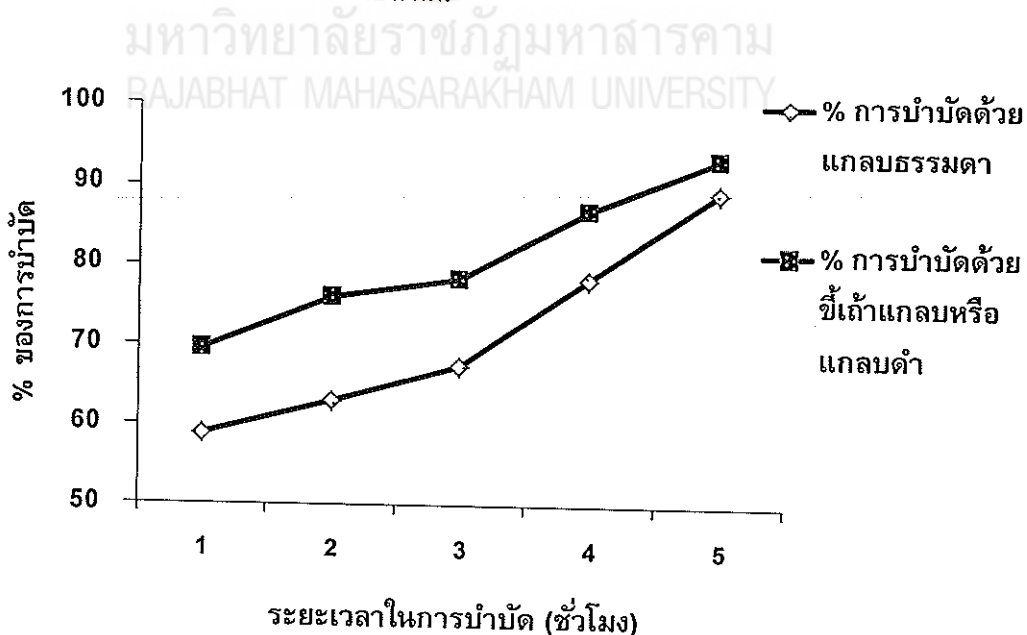
รูปที่ 2.51 การเปรียบเทียบของสีเหลืองก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วยซีढ़้าแกลบหรือแกลบดำ

จากรูปที่ 2.51 แสดงการเปรียบเทียบของสีเหลืองก่อนบำบัด-หลังบำบัดด้วย  
 แกลบธรรมดามีแนวโน้มความสามารถในการบำบัดลดลงตามลำดับจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง



รูปที่ 2.52 เปรอ์ใช้ในการดูดซับของสีเหลืองด้วยซี้เ้าแกลบหรือแกลบดำ

จากรูปที่ 2.52 แสดงเปอร์เซินการดูดซับของสีเหลืองด้วยซี้เ้าแกลบหรือแกลบดำการ  
 บำบัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเปอร์เซินการบำบัดมีค่า  
 มากเท่าไรยิ่งมีความสามารถในการบำบัดได้ดี



รูปที่ 2.53 เปรอ์ใช้ในการบำบัดของสีเหลืองด้วยแกลบธรรมดาศะซี้เ้าแกลบหรือแกลบดำ



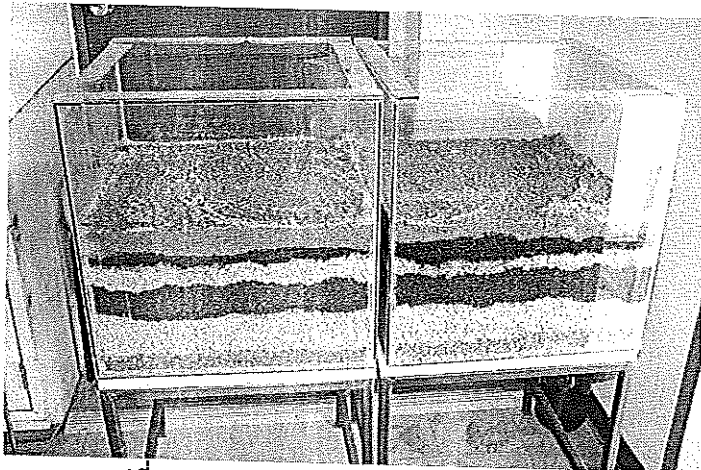
จากรูปที่ 2.53 แสดงเปอร์เซ็นต์การบำบัดของสีเหลืองด้วยกลบธรรมดาและซีเถ้ากลบหรือกลบดำพบว่ากลบดำหรือซีเถ้ากลบดำมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดมากกว่ากลบธรรมดา ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการบำบัดของกลบดำได้ดีกว่ากลบธรรมดาและระยะเวลาในการบำบัดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ คือ 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง

จากตารางที่ 2.21 พบว่าค่าการดูดกลืนของน้ำสีสังเคราะห์ของน้ำสีสังเคราะห์ก่อนการบำบัดด้วยกลบ ทั้ง 2 ชนิด คือ ตัวอย่างกลบธรรมดา ซีเถ้ากลบดำ พบว่าค่าการดูดกลืนแสงตัวอย่างกลบก่อนการบำบัดมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.46 และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยกลบใน ช่วงเวลา 1 2 3 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ พบค่าการดูดกลืนของน้ำสีสังเคราะห์ลดลงใน ตัวอย่างกลบธรรมดาโดยอยู่ในช่วง 0.05 - 0.20 แล้วยังพบว่าช่วงเวลาค่าการดูดกลืนได้ดีที่สุดคือ 5 4 3 2 และ 1 ตามลำดับและซีเถ้ากลบดำหรือกลบดำอยู่ในช่วง 0.03 - 0.16 แล้วยังพบว่าช่วงเวลาที่บำบัดน้ำสีสังเคราะห์ได้ดีที่สุดคือ 5 4 3 2 และ 1 ตามลำดับตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่ากลบดำมีความสามารถในการดูดซับน้ำสีสังเคราะห์ได้ดีกว่ากลบธรรมดาเพราะกลบดำมีขนาดรูพรุนมากกว่ากลบธรรมดาจึงสามารถดูดซับน้ำสีสังเคราะห์ได้ดีกว่ากลบธรรมดา

#### 2.4.2 วิธีการบำบัดแบบระบบไหล (flow method)

ออกแบบโดยใช้ภาชนะ 2 ขนาด

แบบที่ 1 ระบบไหล อุปกรณ์ กลองสี่เหลี่ยม กว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตรด้านล่างเจาะรู 2-3 รู (เล็ก ๆ) วางแผ่นตะแกรงด้านล่างไว้ก่อน ชั้นล่างสุดของภาชนะบรรจุด้วยทรายเม็ดหยาบ ชั้นที่สองเถ้ากลบหนัก 3 กิโลกรัม (สูง 12 ซม.) ดังรูปที่ 2.2 ผ่านน้ำตัวอย่างลงไปบนวัสดุที่บรรจุในกลองอย่างช้า ๆ และควบคุมอัตราการไหลของน้ำออก 9.5 มิลลิลิตร/นาที เก็บน้ำหลังบำบัดครั้งละ 500 มิลลิลิตร (เก็บครั้งที่ 1, 2 และ 3) ใช้เวลา 2.6 วัน แล้วนำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ เหมือนน้ำก่อนบำบัด



รูปที่ 2.54 แสดงการบำบัดแบบระบบไหล

ตารางที่ 2.22 ข้อมูลการทดลองแบบไหล (ภาชนะใหญ่) หลังบำบัด

ตัวแปรที่วิเคราะห์	ปริมาณ ก่อนบำบัด	ปริมาณหลังบำบัด		
		เก็บครั้งที่ 1	เก็บครั้งที่ 2	เก็บครั้งที่ 3
COD (mg/l)	2285	176	201	864
pH	9.340	9.04	9.07	9.040
Conductivity ( s)	2590	774	806	990
TS (mg/l)	7520	1140	1200	1400
ตะกั่ว (mg/l)	1.375	0.130	0.136	0.164
โครเมียม (mg/l)	1.718	0.213	0.242	0.293
แมงกานีส (mg/l)	1.799	0.065	0.070	0.050
สี (mg/l)				
สีเหลืองแกมเขียว	1680	14	22	56
สีคราม	1360	10	16	40
สีม่วง	1440	8	14	36
สีเขียวแกมน้ำเงิน	1280	5	12	32

ตารางที่ 2.23 ข้อมูลร้อยละการลดลงหลังบำบัด การทดลองแบบไหล (ภาชนะใหญ่)

ตัวแปร	% ลดลง			เฉลี่ย % ลดลง
	เก็บครั้งที่ 1	เก็บครั้งที่ 2	เก็บครั้งที่ 3	
Conductivity	70.12	68.89	61.78	66.93
COD	92.30	91.20	62.19	81.90
TS	84.84	84.04	81.38	83.42
ตะกั่ว	90.55	90.11	88.07	89.58
โครเมียม	87.60	85.91	82.95	85.49
แมงกานีส	96.39	96.11	97.22	96.57
สีเหลืองแกมเขียว	99.17	98.87	96.67	98.24
สีคราม	99.26	98.82	97.06	98.38
สีม่วง	99.44	99.08	97.50	98.67
สีเขียวแกมน้ำเงิน	99.96	99.06	97.50	98.84

ผลการทดลองดังตารางที่ 2.22 และตารางที่ 2.23 ทำให้สรุปว่าการบำบัดน้ำเสียอ้อมแบบระบบน้ำไหล ค่าของแข็งทั้งหมด ปริมาณสี และปริมาณโลหะลดลงเกือบ 100% และพบว่าการเก็บตัวอย่างน้ำหลังบำบัดส่วนหลัง ๆ (มากขึ้น) ร้อยละการลดลงของสารต่าง ๆ จะเริ่มน้อยลง เมื่อปริมาตรน้ำตัวอย่างไหลผ่านมากขึ้น อาจเป็นผลมาจากประสิทธิภาพของวัสดุต่อการดูดซับสารลดลงเช่นกัน และสรุปได้ว่าปริมาณสีลดลง 98-99% และปริมาณโลหะลดลง 86-97% เมื่อใช้วัสดุเก่าแก่ลบ 3 กิโลกรัม (3,000 กรัม) น้ำตัวอย่าง 1,500 มิลลิลิตร (น้ำหนักวัสดุ 1 กรัม ต่อตัวอย่าง 0.5 มิลลิลิตร)

## 2.5 การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียอ้อมเคมีภาคสนาม

จากข้อมูลการออกแบบการกำจัดน้ำเสียอ้อมเคมีในห้องปฏิบัติการได้ข้อสรุปว่าระบบบำบัดแบบถังแช่สามารถกำจัดสีและโลหะหนัก ได้ผลได้ดีกว่าระบบบำบัดแบบไหล (ต่อเนื่อง) ตามเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงเลือกระบบบำบัดแบบถังแช่ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้สะดวกและง่ายตายเหมาะสำหรับชาวบ้าน เพราะใช้วัสดุเหลือใช้และไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงแต่อย่างใด เพียงแต่ลงทุนทำระบบเพียงครั้งเดียว

### 2.5.1 อุปกรณ์ และวัสดุ

#### ก. อุปกรณ์

(1) ถังเกราะ (ปูน) เส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ซม. 3 ถัง (สูงประมาณถังละ 50 ซม.) หรือ ถังน้ำมันขนาดใหญ่ 1 ใบ หรือภาชนะอื่น ๆ ที่คล้ายคลึงกัน เจาะรูด้านตรงข้ามในแนวตั้งลากกนและกันรวม 4 รู (เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว)

(2) ท่อพลาสติก (พีวีซี) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-4 นิ้ว ยาว 160 เซนติเมตร

(3) ท่อพลาสติก (พีวีซี) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 1-2 เมตร 4 อัน

ท่อพลาสติกเล็กต้องเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ระยะห่างรูประมาณ 3 เซนติเมตร

(4) ตะแกรงพลาสติกตาข่าย

(5) ถังพลาสติกขนาดประมาณ 20 ลิตร แบบมีก๊อกพร้อมต่อท่อพลาสติก (พีวีซี) หรือ สายยางใช้เป็นถังพักน้ำ

(6) ถังพลาสติกสำหรับใส่น้ำเสียอ้อมเคมี (สำหรับแช่) หรือภาชนะอื่น ๆ ตามที่มีใช้อยู่

#### ข. วัสดุ

(1) ซีเมนต์ หรือเก่าแก่ลบ

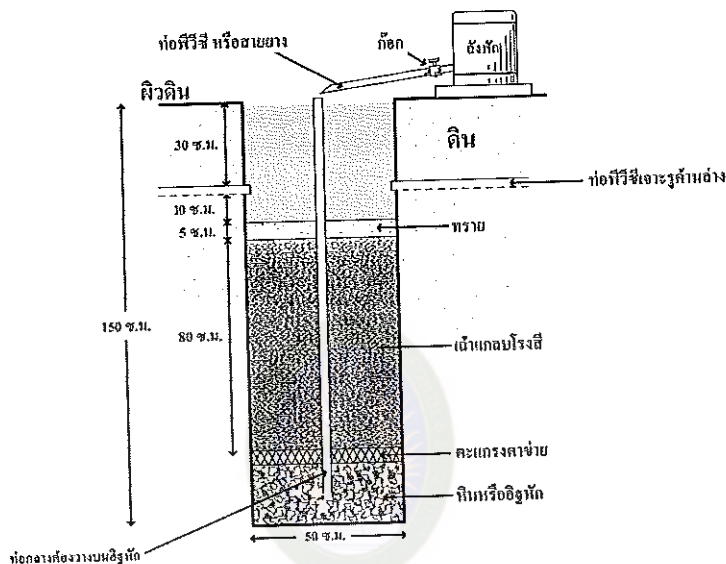
(2) ทราวยหายาบ

(3) อิฐหัก หรือหินก้อนเล็ก ๆ

## 2.5.2 การเตรียมอุปกรณ์และวิธีการบำบัด

- (1) ถังเกราะ สูงประมาณ 150 ซม. ด้านล่างปิดมิดชิด จากด้านบนลงมาประมาณ 30 ซม. เจาะรู 4 ด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับท่อพลาสติก (เล็ก) ดังรูป 2.14
- (2) ขุดดินกว้างเท่ากับขนาดของถังเกราะ และลึกประมาณ 145 ซม. เป็นหลุมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง

### ลักษณะระบบบำบัดน้ำเสียอเนกเคมีในภาคสนาม



รูปที่ 2.55 ภาพการออกแบบถังบำบัดน้ำเสียอเนกเคมี (ภาพสเกต)

## 2.5.3 วิธีการติดตั้งอุปกรณ์และวัสดุ

- (1) นำถังเกราะวางลงในหลุมที่ขุดไว้ดังรูปที่ 2.55 เทพื้นคอนกรีตหนา 3 นิ้ว
- (2) ขุดดินเป็นร่องตามแนวของรูที่เจาะไว้ของถังเกราะไปบนสุดทั้ง 4 ด้าน กว้าง 20 ซม. ลึก 40 ซม. และยาวตามความยาวของท่อพีวีซีเล็ก ปูรองด้วยหินขนาดเล็กประมาณ 10 ซม.
- (3) ต่อท่อพีวีซี (เล็ก) กับถัง (ในตำแหน่งที่เจาะรูไว้ 4 ด้าน) ให้ด้านเจาะรูของท่ออยู่ด้านล่าง เพื่อให้ น้ำที่ล้นขึ้นมาไหลซึมออกไปได้
- (4) วางท่อพีวีซีใหญ่ตรงกลาง (ดังรูป) ใส่อิฐหักหรือก้อนหินสูงประมาณ 20 เซนติเมตร
- (5) วางตะแกรงตาข่ายหรือตาข่ายพลาสติกทับลงบนก้อนอิฐ
- (6) ปูถั่วแกลบจากโรงสีลงไปอัดให้แน่น (พอสมควร) สูงประมาณ 1 เมตร
- (7) ปูทับด้วยทราย หรืออิฐหัก สูงประมาณ 3 เซนติเมตร

หมายเหตุ จะเหลือช่องว่างส่วนบนประมาณ 7 เซนติเมตร (ระดับทรายจะเสมอกับท่อน้ำสั้น)

(8) ถังพลาสติก (ใส่น้ำสีย้อมหลังบำบัดตามขั้นตอนที่ 1 แล้ว) มีก๊อกด้านล่าง และต่อท่อพลาสติก หรือสายยางลงสู่ท่อกลาง หากต้องการประหยัดก็ไม่ต้องมีส่วนนี้ให้เทน้ำหลังบำบัดตามขั้นที่ 1 ลงในท่อกลาง (ใหญ่) ชั่ว ๆ (เพื่อความสะดวกให้นากรวยสวมไว้ที่ปลายท่อจะทำให้เทง่ายขึ้นไม่หก)

#### 2.5.4 วิธีการบำบัด มี 2 ขั้นตอนดังนี้

(1) ใช้แก้วกลมหรือซีเมนต์หนัก 60 กรัมต่อน้ำสีย้อม 1 ลิตร คนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 5-7 วัน ระหว่างแช่คนบ้างเป็นครั้งคราว วันละครั้ง

(2) ปลอຍให้แก้วกลมหรือซีเมนต์นอนกัน เทส่วนใสลงในถังพลาสติกของระบบบำบัด พร้อมเปิดก๊อกไขน้ำออกให้ไหลช้า ๆ ลงท่อกลางของระบบถึงบำบัด น้ำทิ้งจะไหลออกทางปลายท่อด้านล่าง แล้วซึมผ่านชั้นแก้วกลมขึ้นมา สีที่เหลืออยู่จะถูกแก้วกลมดูดซับไว้ ดังนั้นน้ำที่เอ่อขึ้นมาด้านบน (ช่องว่าง) จะใสแล้วไหลออกทางท่อน้ำสั้นทั้ง 4 ด้านและซึมลงดินที่ระดับ 30 ซม.

หมายเหตุ (1) ถ้าน้ำที่เอ่อขึ้นมา มีสีคล้ำเท่ากับน้ำสีย้อมก่อนเท ให้ทำการเปลี่ยนแก้วกลมในระบบใหม่อีกครั้ง

(2) ซีเมนต์ หรือแก้วกลมหลังแช่น้ำสีย้อมแล้ว อาจนำไปกลบฝังดิน หรือขึ้นรูปโดยการผสมกับซีเมนต์ทำอิฐบล็อกได้ กรณีของแก้วกลมสามารถนำมาผสมกับเศษถ่านละเอียดผสมกับดินเหนียวเล็กน้อย เติมน้ำคนให้เข้ากัน ขึ้นรูปเป็นแท่งหรือแผ่นนำไปเป็นเชื้อเพลิงต่อไป จะได้ซีเมนต์ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

### บทที่ 3

## บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

### 3.1 สรุปการศึกษาการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแอมโมเนียในห้องปฏิบัติการ

การทดลองการดูดซับโลหะหนัก คือ ตะกั่ว โครเมียม และแมงกานีสในน้ำเสียสังเคราะห์จากร้อยละการดูดซับ ถ่านแกลบมีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดีที่สุด รองลงมาคือแกลบธรรมชาติ และสุดท้ายคือแกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก การดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแมงกานีส ในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าแกลบธรรมชาติ แกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก และถ่านแกลบสามารถดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแมงกานีส ได้แตกต่างกัน ดังจะเห็นได้จากร้อยละการดูดซับของแกลบแต่ละชนิดที่เวลาในการ ดูดซับ 5 ชั่วโมง คือถ่านแกลบสามารถดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแมงกานีสได้ดีที่สุดเท่ากับ 99.40%, 61.54% และ 31.07% ตามลำดับ รองลงมาคือแกลบธรรมชาติและแกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก ตามลำดับ การดูดซับตะกั่ว โครเมียม และแมงกานีส ในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าการดูดซับโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ของแกลบธรรมชาติ แกลบที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก และถ่านแกลบ สามารถดูดซับได้ดีเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น

ตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียด้วยแกลบทั้ง 2 ชนิดคือ ตัวอย่างแกลบธรรมชาติ ซีเภาแกลบดำ โดยการหาค่าปริมาตร บีโอดี ซีโอดี และการดูดซับซีเคมีย้อมผ้าฝ้ายด้วยแกลบ การวิเคราะห์ได้ทำการเก็บตัวอย่าง ก่อนและหลังการบำบัด ในการเก็บตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 ได้ทำการทดลอง 3 ซ้ำ สามารถสรุปได้ดังนี้พบว่าค่าบีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการบำบัดด้วยแกลบ ทั้ง 2 ชนิด คือ ตัวอย่างแกลบธรรมชาติ ซีเภาแกลบดำ พบว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 955 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยแกลบในระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ พบว่าค่าบีโอดีมีค่าลดลงในตัวอย่างแกลบธรรมชาติโดยอยู่ในช่วง 45 - 550 มิลลิกรัม/ลิตร ซีเภาแกลบดำหรือแกลบดำอยู่ในช่วง ตรวจไม่พบ - 725 มิลลิกรัม/ลิตรและพบว่าค่าซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการบำบัดด้วยแกลบ ทั้ง 2 ชนิด คือ ตัวอย่างแกลบธรรมชาติ ซีเภาแกลบดำ พบว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5,333 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยแกลบในระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ พบว่าค่าซีโอดีมีค่าลดลงในตัวอย่างแกลบธรรมชาติโดยอยู่ในช่วง 3,424 - 51,733 มิลลิกรัม/ลิตรและซีเภาแกลบดำหรือแกลบดำอยู่ในช่วง 1,297 - 4,035 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าความสามารถในการดูดซับซีเคมีย้อมผ้าฝ้ายของตัวอย่างแกลบ ทั้ง 2 ชนิด คือ ตัวอย่างแกลบธรรมชาติ ซีเภาแกลบดำ สำหรับสีที่นำมาทดลองคือ สีเหลือง สีแดง สีฟ้า สีเขียวมรกต สีเทา สีชมพู พบว่าซีเภาแกลบดำหรือแกลบดำมีความสามารถในการดูดซับซีเคมีย้อมผ้าฝ้ายได้ดีที่สุดตามด้วยแกลบธรรมชาติ

จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเคมีจากกลุ่มสตรีทอผ้าบ้านสวาย อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ จากหลายบ้านรวมเป็นตัวอย่างสีรวมและนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ ผลการทำคุณภาพวิเคราะห์พบว่าสีผสมให้สเปกตรัมมีลักษณะกว้าง (brood spectrum) ที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่ 406, 533, 575 และ 635 นาโนเมตร ซึ่งตรงกับการดูดกลืนของสีเหลืองแกมเขียว คราม ม่วง และเขียวแกมน้ำเงิน ตามลำดับ พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ได้แก่ พีเอช 9.34 การนำไฟฟ้า 2590  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ของแข็งทั้งหมด (TS) 7,520 mg/l ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) 2,285 mg/l ปริมาณสีเหลืองแกมเขียว คราม ม่วง และเขียวแกมน้ำเงิน มีค่า 1680, 1360, 1440 และ 1280 mg/l ตามลำดับ ปริมาณโลหะตะกั่ว โครเมียม และแมงกานีส มีค่า 1.375, 1.718 และ 1.799 mg/l ตามลำดับ

การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียเคมีมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการกำจัดสีและโลหะหนักที่มีพิษในน้ำเสีย ดังนั้นวัสดุที่เลือกใช้ได้แก่ ถ้ำแคลสเฟอจากโรงสี และขี้เถ้า วัสดุทั้งสองมีองค์ประกอบได้แก่ คาร์บอน ซิลิกา และโลหะออกไซด์ และมีรูพรุนจำนวนมาก มีพื้นที่ผิวจำเพาะรูพรุนทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง  $10\text{-}300\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$  (ตามข้อมูลเอกสารอ้างอิง 2) นำวัสดุมาแช่ในสารละลายสีย้อมเคมี สีเมื่ออยู่ในสารละลายโมเลกุลของสีอาจอยู่เป็นโมเลกุลเดี่ยว หรือรวมเป็นกลุ่มโมเลกุล และจะเกิดแรงดึงดูด วันเดอวาลส์อย่างอ่อน ๆ แบบมีขั้วและไม่มีขั้วกับผิวหน้าของวัสดุทำให้เกิดการดูดซับที่ผิวหน้าอาจเป็นแบบชั้นเดียว (monolayer) หรือหลายชั้น (multilayer) ทำให้ปริมาณสีมีการดูดซับได้มากขึ้น

การดูดซับระหว่างผิววัสดุถ้ำแคลสเฟอกับโมเลกุลสีเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ เนื่องจากโมเลกุลของสีมีขนาดใหญ่ แรงดึงดูดมีค่าน้อย ๆ ทำให้การดูดซับเกิดอย่างช้า ๆ จึงทำให้ต้องใช้เวลานานกว่าจะถึงภาวะอิ่มตัวหรือสมดุล กระบวนการดูดซับแบบนี้เรียกว่าแบบกายภาพ การดูดซับแบบนี้จะมีค่ามากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของคู่ดูดซับนั้น ๆ และตัววัสดุดูดซับแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวจำเพาะ ของรูพรุนทั้งหมดของวัสดุโดยถ้ามีค่ามาก จะทำให้ปริมาณสีถูกดูดซับได้มากขึ้นด้วย

เมื่อโลหะอยู่ในสารละลายมันจะอยู่ในรูปโลหะไอออน (ประจุบวก) เช่น  $\text{Pb}^{2+}$   $\text{Mn}^{2+}$  และ  $\text{Cr}^{3+}$  มันจะถูกดูดซับที่ผิวหน้าวัสดุด้วยแรงดึงดูดวันเดอวาลส์แบบมีขั้วแต่อาจมีความแรงกว่าพวกโมเลกุลสีที่ไม่มีขั้ว ส่วนใหญ่การดูดซับของโลหะเป็นแบบชั้นเดียวและการดูดซับจนถึงจุดอิ่มตัวได้ในเวลาอันรวดเร็ว เนื่องจากอนุภาคเล็กที่มีประจุ และมีปริมาณน้อยในสารละลาย การดูดซับเป็นแบบกายภาพ และแบบแลกเปลี่ยนไอออน (ion-exchange adsorption) ระหว่างโลหะไอออนกับ  $\text{H}^+$  จากหมู่ไฮดรอกซิล  $-\text{Si}-\text{OH}$  ที่ผิวหน้าวัสดุถ้ำแคลสเฟอได้อีกด้วย

ได้ทำการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียเคมีในห้องปฏิบัติการ 2 แบบ ได้แก่ (ก) วิธีไหล (flow method) (ข) วิธีถังแช่ (batch method)

### (ก) วิธีไหล

ทำการทดลองด้วยภาชนะขนาดเล็ก (เส้นผ่าศูนย์กลาง 8 ซม. บรรจุวัสดุเก่าแกลบหนัก 142 กรัม) และภาชนะขนาดใหญ่ (ขนาด 50 x 50 ซม. บรรจุวัสดุเก่าแกลบหนัก 3000 กรัม) ผลการทดลอง สรุปได้ว่าค่าของแข็งทั้งหมด (TS) และปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) ลดลง 80 และ 82% ตามลำดับ ปริมาณสีลดลงประมาณ 98-99% (ภาชนะใหญ่) น้ำตัวอย่าง 500 มิลลิลิตร และ 28-42% (ภาชนะเล็ก) น้ำตัวอย่าง 150 มิลลิลิตร ปริมาณโลหะลดลงประมาณ 99% (ภาชนะใหญ่) และ 80% (ภาชนะเล็ก) แต่เมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกันดังนี้

ภาชนะ	น้ำหนักวัสดุ (กรัม) :	ปริมาตรน้ำ (มิลลิลิตร)	% สีลดลง	% โลหะลดลง
(ก) ขนาดใหญ่	1	: 0.5	98-99	99
(ข) ขนาดเล็ก	1	: 1	28-42	80

สรุปได้ว่า ภาชนะขนาดใหญ่และเล็ก เมื่อทำการบำบัดแบบไหล สามารถกำจัดสีและโลหะได้ดี แต่คติน้ำหนักวัสดุต่อปริมาตรน้ำตัวอย่างมีค่าน้อยมาก เนื่องจากเวลาที่สีย้อมสัมผัสกับวัสดุน้อยเกินไป และยังไม่ถึงจุดอิ่มตัวหรือสมดุลของมันถือว่าประสิทธิภาพต่ำไม่เป็นที่พอใจ

### (ข) วิธีถังแช่

ทำการออกแบบโดยการเปลี่ยนแปลงเวลาของการดูดซับ น้ำหนักวัสดุ ปริมาตรน้ำ ตัวอย่าง สีย้อมเคมี และชนิดของวัสดุ ในการทดลองน้ำตัวอย่างมีปริมาณสีประมาณ 2000 mg/l และโลหะต่าง ๆ ประมาณ 2 mg/l เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงเวลา 1, 5 และ 7 วัน พบว่าเมื่อเวลาในการแช่มากขึ้น ร้อยละการลดลงของสีได้มากขึ้นตามเวลาด้วย และพบว่าเวลา 5 หรือ 7 วัน ให้ผลการทดลองใกล้เคียงกัน เนื่องจากโมเลกุลของสีมีขนาดใหญ่ การดูดซับเกิดได้อย่างช้า ๆ กว่าที่จะถึงสมดุล สำหรับโลหะแช่ 1 วัน ก็เพียงพอที่จะกำจัดโลหะได้เกือบหมด เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก 20, 40, 60 และ 80 กรัม (น้ำตัวอย่าง 500 มิลลิลิตร) หรือ 5 10 15 และ 20 กรัม (น้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร) ให้ผลการทดลองสอดคล้องกันที่ว่าเมื่อน้ำหนักวัสดุมากขึ้นร้อยละการลดลงของสีเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และในทางตรงข้ามเมื่อน้ำหนักวัสดุมากขึ้นร้อยละการลดลงของโลหะลดลง อาจมีสาเหตุมาจากตัววัสดุเก่าแกลบมีโลหะปนอยู่ละลายออกมา ดังนั้นจึงได้ข้อสรุปว่าน้ำหนักวัสดุเก่าแกลบหนัก 20 กรัม เหมาะสำหรับน้ำตัวอย่าง 500 มิลลิลิตร คิดเป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักวัสดุเก่าแกลบต่อปริมาตรน้ำตัวอย่าง เท่ากับ 1 : 25

เมื่อเปลี่ยนวัสดุจากเก่าแกลบมาใช้ขี้เถ้าแทนแล้วทำการทดลองแบบถังแช่ พบว่าวัสดุขี้เถ้าสามารถกำจัดสีได้ลดลง ระหว่าง 91-98 % และมากกว่าเมื่อใช้วัสดุเก่าแกลบ (68-75%) เล็กน้อย โดยอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักวัสดุขี้เถ้าต่อปริมาตรน้ำตัวอย่างเท่ากับ 1 : 25 อาจเนื่องจากวัสดุขี้เถ้าละเอียดกว่าพื้นที่ผิวจำเพาะรูพรุนอาจมากกว่าจึงดูดซับได้มากกว่า แต่วัสดุขี้เถ้าอาจมีปัญหาคือ



วัสดุจะมีโลหะออกไซด์อยู่หลายชนิดปนเปื้อนอยู่มากกว่า ซึ่งโลหะออกไซด์เหล่านี้อาจจะละลายออกมาได้ด้วย

### 3.1.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดแบบไหลต่อเนื่องและแบบถังแช่

จากการศึกษาการบำบัดแบบไหลต่อเนื่องและแบบถังแช่ให้ค่าร้อยละการกำจัดสีและโลหะไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อคำนวณอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักรวม (กรัม) ต่อปริมาตรน้ำที่บำบัด (มิลลิลิตร) แล้วพบว่า แบบไหล และแบบถังแช่เท่ากับ 1 : 1 และ 1 : 25 ตามลำดับ สรุปได้ว่าการบำบัดแบบถังแช่มีประสิทธิภาพดีกว่า ให้ค่าปริมาณการดูดซับสีมีค่า 100.8 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัมวัสดุ ถ้ำแกลบและปริมาณการดูดซับโลหะมีค่า 62.5 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัมวัสดุ เมื่อปริมาตรน้ำตัวอย่าง 1000 มิลลิลิตร เหตุผลอาจเนื่องมาจากการทำแบบถังแช่ใช้เวลานานทำให้สีและโลหะในสารละลายได้สัมผัสกับวัสดุเป็นเวลานานและค่อย ๆ เกิดการดูดซับอย่างช้า ๆ สอดคล้องกับการศึกษาเวลาที่ทำให้สีเกิดการดูดซับอิ่มตัวหรือถึงจุดสมดุล นอกจากนี้การทำแบบถังแช่ ทำได้ง่ายและสะดวกกว่า

### 3.2 สรุประบบบำบัดน้ำเสียเคมีภาคสนามที่ใช้สาธิต

ได้ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียเคมีแบบถังแช่และถังบำบัดตั้งและติดตั้งถังบำบัดน้ำเสียเคมีการบำบัดทำ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกใช้วัสดุถ้ำแกลบ หรือซีเถ้า หนัก 40 กรัมต่อ 1000 มิลลิลิตร (1 ลิตร) แช่เป็นเวลา 7 วัน ควรคนทุกวันวันละอย่างน้อย 1 ครั้ง แล้วตั้งทิ้งไว้ให้วัสดุนอนกัน นำส่วนในแหล่งในถังพักของระบบบำบัด เปิดวาล์วปล่อยน้ำสู่ระบบอย่างช้า ๆ จะเห็นว่าเป็นวิธีการที่ง่าย และการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียเคมีที่ก่อสร้างขึ้น ค่าวัสดุเท่ากับ 1000.- บาท (แบบ ก เมื่อใช้ถังปูน) และค่าวัสดุเท่ากับ 400.- บาท (แบบ ข เมื่อใช้ถังน้ำมัน) จะเห็นว่ามีราคาถูกกว่ามาก แต่แบบถังปูนจะมีอายุการใช้งานได้ตลอดไป ส่วนแบบ ข. ใช้ถังน้ำมันจะผูกพันเมื่อใช้ไปนาน ๆ และอาจต้องมีการรื้อออกและเปลี่ยนถังใหม่ ส่วนวัสดุที่บรรจุได้แก่ ถ้ำแกลบ เมื่อใช้ไปนาน ๆ เราสามารถตรวจสอบได้ ง่าย ๆ ว่าวัสดุหมดประสิทธิภาพในการกำจัดสีหรือยัง โดยดูจากสีของน้ำล้นที่ออกมาถ้ามีสีเข้มเท่าหรือใกล้เคียงกับน้ำเสียที่เข้าวัสดุ 7 วันแล้วควรจะทำกาเปลี่ยนวัสดุใหม่ ส่วนซีเถ้าหรือถ้ำแกลบที่ใช้แช่น้ำเสีย เมื่อใช้แล้วอาจทำการฝังดินหรือผสมปูนทำเป็นซีเมนต์ หรือซีเมนต์บล็อกได้อีกด้วย ถ้าเป็นถ้ำแกลบอาจนำผสมกับถ่านละเอียดผสมกับดินเหนียวเล็กน้อย ผสมให้เข้ากัน ขึ้นรูปเป็นแท่งหรือแผ่นตากแห้งให้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป

### 3.3 สรุปประเมินประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียเคมีภาคสนามที่ใช้สาธิต

ได้ทดลองใช้งานระบบบำบัดน้ำเสียเคมีพบว่า น้ำหลังบำบัดตามขั้นตอนที่ 1 (แช่ 7 ชั่วโมงด้วยวัสดุถ้ำแกลบละเอียด) พบว่าค่าของแข็งทั้งหมดปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี สี และโลหะแมงกานีส มีปริมาณ 648, 3192, 106 และ 0.053 mg/l ตามลำดับ (ลดลงร้อยละ 90.06, 97.49, 91.52 และ 23.19 ตามลำดับ) จากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ น้อยกว่าเกณฑ์ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดและอนุญาตให้ทิ้งได้ (ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอ้างอิง ค่าของแข็งทั้งหมด ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี โลหะแมงกานีส มีค่าน้อยกว่า 5000, 400 และ

5 mg/l ตามลำดับ) และผลการวิเคราะห์น้ำที่ซึมผ่านซีเมนต์กลับขึ้นมาก่อนจะล้นออก ที่ระบายทั้ง 4 พบว่าค่าของแข็งทั้งหมด ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี สี แมงกานีส ตะกั่ว และโครเมียม มีปริมาณ 650, 1040, 20, 1.0235, ND และ 0.0665 mg/l ตามลำดับ พารามิเตอร์ทุกตัวที่ทำการวิเคราะห์มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง เช่นกัน แสดงว่าระบบบำบัดน้ำเสียเคมีที่ออกแบบใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพดีมาก

### 3.4 บทสรุป

สรุปได้ว่างานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียเคมีที่ผสมผสานภูมิปัญญาชาวบ้านและนวัตกรรมเทคโนโลยีสะอาดร่วมกัน และใช้วัสดุเหลือใช้ซึ่งได้แก่แก้วกลมและซีเมนต์ พร้อมอุปกรณ์อย่างง่าย และราคาถูกต้นทุนชุดละประมาณ 1000 บาท ใช้งานง่ายไม่ต้องใช้เชื้อเพลิง จึงไม่มีค่าใช้จ่ายในการใช้งาน และให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเคมีได้ดีเยี่ยม จึงมีความมั่นใจว่าจะเป็นทางเลือกใหม่ของกลุ่มเกษตรกรที่มีความสนใจและรักสิ่งแวดล้อม



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม  
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

## บรรณานุกรม

- กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2525. เคมีของน้ำ น้ำโสโครก และการวิเคราะห์. กรุงเทพมหานคร:  
มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธศักดิ์. 2540. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 3.  
กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสมน. 2535. เครื่องมือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2.  
สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย และWorld Enviromanent : กรุงเทพมหานคร.
- นริศรา โพธิ์มูล. 2545. การลดปริมาณตะกั่วจากน้ำเสียโรงงานผลิตแบตเตอรี่โดยใช้ถ้ำแกลบดำ.  
ภาควิชาเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิศการ โฆษิตรัตน์. 2538. การลดมลพิษทางน้ำในกิจกรรมทางการเกษตร. วารสารเทคโนโลยีที่  
เหมาะสม ฉบับที่ 5 ปีที่ 12.
- แปลงศักดิ์ ภูจร. 2546. การใช้เรซินผักตบชวาบำบัดสีจากน้ำเสียย้อมผ้า. ภาควิชาสาธารณสุข.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- พัฒนา มูลพฤกษ์. 2539. อดามัยสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ เอ็น. เอส. แอส. พริน  
ติ้ง จำกัด.
- มันสิน ดัฒนกุลเวศม์. 2536. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย.
- วิไลพร สิวรส. 2546. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสีย้อมในโรงงานอุตสาหกรรม. ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วัฒนา สระศิริ และจรัสฟ้า โหมดสุวรรณ. 2546. ศึกษาการใช้แกลบเผาในการดูดซับของน้ำเสีย  
ประเภทสารละลายอินทรีย์. ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหากาม.
- อริชัย นพแก้ว. 2539. การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดติดผิวโลหะหนักจากน้ำขยะมูลฝอยที่ผ่านบ่อ  
เก็บกัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สรินทร ลิ้มปนาท. 2541. แกลบและซีเฑาแกลบ. วารสารพลังงาน ปีที่ 9 ฉบับที่ 43 ตุลาคม-ธันวาคม
- Mark D. Richards and Chris G. Pope (1996) Adsorption of methylene blue from aqueous  
solution by amorphous alumin silicate gels and Zedite X. American Chemical 92,  
317- 232.
- Brunauer, S. (1945) The Adsorption of gas and vapours. Princeton University Press.  
Princeton.
- Giles, C.H and D'silva, A.R, (1969) Moleculer sieve effect of power towards dyes  
measurement of porosity by dye adsorption, Transactions faraday society 65, 1943-  
1951.

Slexander G. (1973) Silica and Me, Washington, American Chemical Society.

Wesley W. (1981) Application of adsorption to waste water Treatment, Boston, Envi press Inc.



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม  
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก  
ผ.ก วิธีการวิเคราะห์

(1) พีเอช

วิธีวัดพีเอช

1. หลังจากเปิดเครื่องวัดพีเอช ควรปล่อยให้เครื่องร้อนอย่างน้อย 15 นาที ก่อนใช้งาน
2. ปรับเทียบมาตรฐาน (Standardization) เครื่องให้พร้อมก่อนที่จะวัดพีเอชตัวอย่างโดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่ทราบค่าพีเอชแน่นอน
3. ตัวอย่างน้ำที่จะนำมาวัดพีเอช ต้องปล่อยให้มียุณหภูมิคงที่เสียก่อน เช่น ในกรณีที่มีตัวอย่างน้ำแช่เย็น ไว้ ต้องนำออกจากตู้เย็น ตั้งทิ้งไว้จนหายเย็นจึงจะนำไปวัดพีเอชเพราะค่าพีเอชจะเปลี่ยนไปตาม อุณหภูมิ
4. ก่อนวัด เขย่าตัวอย่างน้ำให้เข้ากันดี เทใส่บีกเกอร์และวางบนเครื่องกวนแม่เหล็ก จุ่มอิเล็กโทรด แล้วเปิดเครื่องกวนให้หมุนเบา ๆ (ถ้าไม่มีเครื่องกวนแม่เหล็ก ให้ขยับอิเล็กโทรดเบา ๆ) จนตัวเลข แสดงค่าพีเอชหยุดนิ่ง อ่านค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำขณะอ่านควรหยุดเครื่องกวนก่อน
5. เมื่อจะวัดตัวอย่างต่อไปให้ฉีดล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่นแล้วซับด้วยกระดาษหรือผ้านุ่ม ๆ แล้วจึงวัด ตัวอย่างถัดไป แต่ถ้าจะเลิกวัดหลังจากที่ล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่นจนสะอาดและซับให้แห้งแล้วให้ แच्छีอิเล็กโทรดไว้ในสารละลายที่มีไอออนมากพอควรและมีฤทธิ์เป็นกรด เช่น สารละลายบัฟเฟอร์ 4 หรือที่ดีที่สุดก็น้ำยาเก็บรักษายอิเล็กโทรด

(2) สภาพนำไฟฟ้า

วิธีวัดค่าสภาพนำไฟฟ้า ณ อุณหภูมิห้อง

1. วัดอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำก่อน
2. ปรับ Temp. Knob ให้ได้อุณหภูมิในข้อ (1)
3. วัดสภาพนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิในข้อ (1)

ข้อเสนอแนะ ถ้าต้องวัดสภาพนำไฟฟ้าทั้งของน้ำดีและน้ำเสีย ควรจะวัดค่าสภาพนำไฟฟ้าของน้ำดีก่อน เพื่อป้องกันกาปนเปื้อนในระหว่างการวัดแต่ละตัวอย่าง เมื่อฉีดล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วควรจะใช้ตัวอย่างที่จะวัดล้างเซลล์เสียก่อนอีกครั้ง

ล

วิธีวิเคราะห์

วัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำตัวอย่างแล้วเทียบกับกราฟมาตรฐานของสีย้อมผ้าสีผสมโดยเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมซึ่งดูจากสเปกตรัมของน้ำตัวอย่าง

**(3) โลหะ****วิธีวิเคราะห์**

1. บีบน้ำตัวอย่าง 250 ml เติมกรด  $\text{HNO}_3$  เข้มข้น 3 ml
2. ต้มจนปริมาตรเหลือ 1 ml
3. เติมกรด  $\text{HCl}$  เข้มข้น 1 ml
4. กรองและปรับปริมาตรเป็น 250 ml
5. นำสารละลายไปวัดด้วยเครื่องมือ AAS โดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน ดังตารางที่ภาวะการทดลอง

**สภาวะการทดลองโลหะของเครื่องมือ**

โลหะ	ความยาวคลื่นที่วัดนาโนเมตร	ช่วงความเข้มข้นสารมาตรฐาน (mg/l)	กระแสของหลอด (mA)	ช่องแสง (nm)
แมงกานีส	279.5	0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0	20	0.20
ตะกั่ว	283.3	0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0	20	0.70
โครเมียม	357.9	0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0	25	0.70

**(4) ของแข็งทั้งหมด****วิธีวิเคราะห์**

1. นำถ้วยระเหยไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ  $103-105^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง
2. เมื่อจะใช้ถ้วยระเหยมาชั่งน้ำหนัก สมมติมีน้ำหนัก A กรัม
3. เขย่าน้ำตัวอย่างให้เข้ากันให้ดี เทตัวอย่างน้ำที่ทราบปริมาตร 5 ml แฉ่นลงในถ้วยระเหยนี้

(การเลือกปริมาตรน้ำตัวอย่าง ควรเลือกให้เหมาะสมโดยพิจารณาจากลักษณะน้ำและแหล่งที่มา) นำไประเหยบนเครื่องอังไอน้ำที่ปรับอุณหภูมิไว้ที่  $100^\circ\text{C}$  จนแห้ง ปริมาตรตัวอย่างที่พอเหมาะ ควรเหลือจากแห้งที่ภายหลังการอบอยู่ในช่วง 10-200 mg

4. นำเข้าอบในตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่  $103-105^\circ\text{C}$  เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง
5. นำออกจากตู้อบ ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง ซึ่งน้ำหนักสมมติมีน้ำหนัก B กรัม
6. ควรทำข้อ 4-5 ซ้ำ จนได้น้ำหนักคงที่ หรือจนกระทั่งมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยกว่า 4% ของน้ำหนักครั้งก่อน หรือประมาณ 0.5 mg

## การคำนวณ

$$\text{ของแข็งทั้งหมด (mg/L)} = \frac{(B - A)}{C} \times 10^6$$

- เมื่อ A คือ น้ำหนักถ้วยระเหยอย่างเดียว, กรัม  
 B คือ น้ำหนักถ้วยระเหยและของแข็ง, กรัม  
 C คือ ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (mL)

## (5) ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี (ซีโอดี)

การวิเคราะห์หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS)

## วิธีวิเคราะห์หาความเข้มข้นเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

1. บีบสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต 5.0 mL ใส่ในขวด
2. เติมน้ำกลั่น 50 mL แล้วค่อย ๆ เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 mL ทิ้งให้เย็น
3. ไทเทรตด้วยเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต โดยใช้เฟอร์โรอินเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติเป็นสีน้ำตาลแดง จนปริมาตร FAS ที่ใช้

## การคำนวณ

$$\text{ความเข้มข้นของ FAS, นอร์มัล (N)} = \frac{5.0 \times 0.1000}{\text{mL FAS ที่ใช้}}$$

## วิธีวิเคราะห์หาซีโอดี

1. เติมน้ำตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ 5 mL (หรือใช้น้ำตัวอย่างน้อยกว่า) แล้วเติมน้ำกลั่นให้เป็น 25 mL

ลงในขวดรีฟลักซ์ เติมเมอคิวริกซัลเฟต 0.2 กรัม ใส่ลูกแก้วขนาดจิว 5-6 เม็ด แล้วจึงเติมสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต 10 mL (หรือมากกว่าตามความเหมาะสม) เขย่าให้

เข้ากัน

2. นำขวดรีฟลักซ์ในข้อ 1 ไปต่อกับเครื่องรีฟลักซ์ เปิดน้ำหล่อเย็น เติมกรดซัลฟูริก-ซิลเวอร์ซัลเฟต

30 mL ลงที่ปากคอนเดนเซอร์ ซึ่งกรดซัลฟูริก-ซิลเวอร์ซัลเฟตจะไหลไปยังขวดรีฟลักซ์เองเปิดไฟ

แล้วรีฟลักซ์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

5. นำขวดรีฟลักซ์มาไทเทรตหาปริมาณโปแตสเซียมไอโครเมตที่เหลือด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) โดยใช้เฟอร์โรอิน 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ ควรใช้ปริมาณอินดิเคเตอร์ เท่า ๆ กันทุกตัวอย่าง จุดยุติจะมีการเปลี่ยนแปลงจากเหลืองเป็นฟ้าอมเขียวและเป็นสีน้ำตาล จด ปริมาตร FAS ที่ใช้ไทเทรต

การคำนวณหาค่าซีโอดีของน้ำตัวอย่าง

$$\text{ซีโอดี, mg O}_2/\text{L} = \frac{(A - B) \times N \times 8000}{\text{mL ตัวอย่างที่วิเคราะห์}}$$

- เมื่อ A คือ mL ของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตแบลนด์  
 B คือ mL ของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตน้ำตัวอย่าง  
 C คือ ความเข้มข้นของ FAS เป็นนอร์มัลลิตี



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม  
 RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



## ผ. ข มาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย

แหล่งกำเนิดมลพิษที่ต้องควบคุมการปล่อยน้ำเสียให้มีคุณภาพตามมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือออกสู่สิ่งแวดล้อม

1. โรงงานอุตสาหกรรมจำพวกที่ 2 และจำพวกที่ 3 ตามบัญชีท้ายประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2539)

2. นิคมอุตสาหกรรม

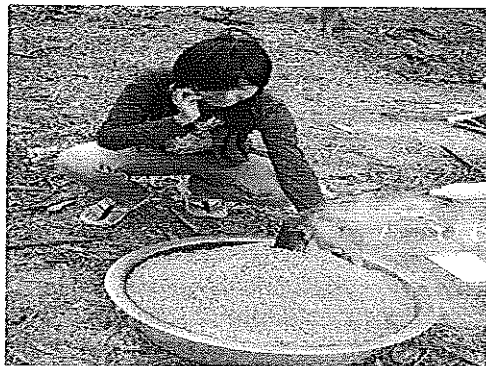
ตารางที่ ผ 1 ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	- 5.5-9.0
2. ค่าที่ดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	- ไม่มากกว่า 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภท ของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของ โรงงาน อุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการมลพิษ เห็นสมควรแต่ ไม่มากกว่า 5,000 มก./ล. - น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Saltinity) มากกว่า 2,000 มก./ล. หรือลงสู่ทะเล ค่าที่ ดีเอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าที่ดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำ กร่อย หรือน้ำทะเลได้ไม่มากกว่า 5,000 มก./ล.
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	- ไม่มากกว่า 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่ง รองรับ น้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมหรือ ประเภท ของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่ คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มก./ล.
4. อุณหภูมิ (Temperature)	- ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส
5. สีหรือกลิ่น (Color and Odour)	- ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
6. ซัลไฟด์ (Sulfide as H <sub>2</sub> S)	- ไม่เกิน 1.0 มก./ล.
7. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	- ไม่เกิน 0.2 มก./ล.
8. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	- ไม่เกิน 0.5 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของ แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 มก./ล.
9. ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	- ไม่เกิน 1.0 มก./ล.
10. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	- ไม่เกิน 1.0 มก./ล.

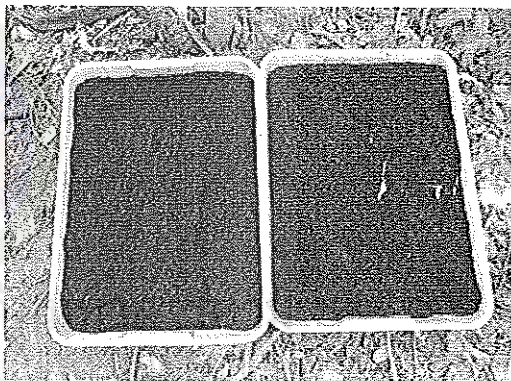
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	- ไม่เกิน 1.0 มก./ล.
12. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืช หรือสัตว์ (Pesticide)	- ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด
13. ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	- ไม่เกิน 20 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม
14. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	- ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 200 มก./ล.
15. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	- ไม่เกิน 120 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของ แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 400 มก./ล.
16. โลหะหนัก (Heavy Metal)	
1. สังกะสี (Zn)	- ไม่เกิน 5.0 มก./ล.
2. โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์	- ไม่เกิน 0.25 มก./ล.
3. โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	- ไม่เกิน 0.75 มก./ล.
4. ทองแดง (Cu)	- ไม่เกิน 2.0 มก./ล.
5. แคดเมียม (Cd)	- ไม่เกิน 0.03 มก./ล.
6. แบเรียม (Ba)	- ไม่เกิน 1.0 มก./ล.
7. ตะกั่ว (Pb)	- ไม่เกิน 0.2 มก./ล.
8. นิกเกิล (Ni)	- ไม่เกิน 1.0 มก./ล.
9. แมงกานีส (Mn)	- ไม่เกิน 5.0 มก./ล.
10. อาร์เซนิก (As)	- ไม่เกิน 0.25 มก./ล.
11. เซเลเนียม (Se)	- ไม่เกิน 0.02 มก./ล.
12.ปรอท (Hg)	- ไม่เกิน 0.05 มก./ล.

ที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539)  
วันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิด  
ประเภทโรงงาน อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113  
ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539.

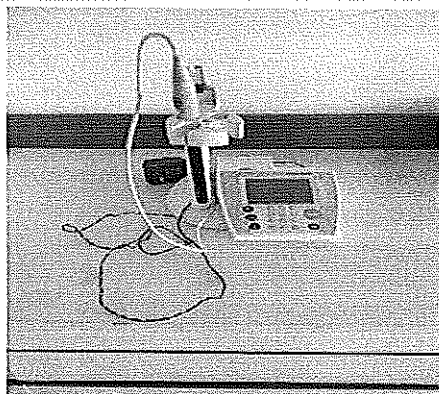
ภาคผนวก ผ.ค รูปภาพอุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์



นำแกลบที่เก็บรวบรวมจากโรงสีข้าวมาล้างทำความสะอาด แล้วนำไปผึ่งแดดให้แห้ง



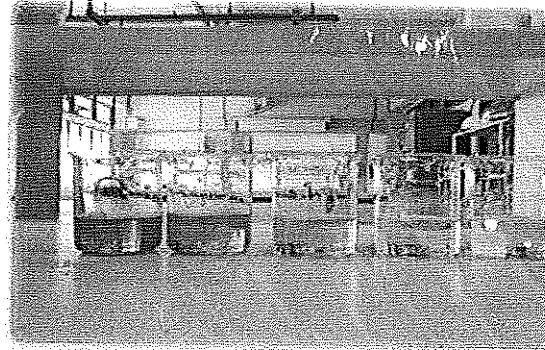
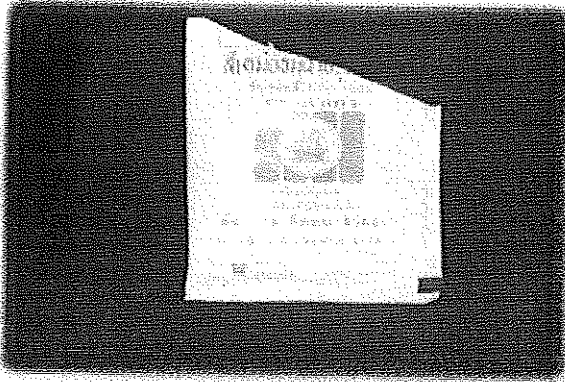
เต้าแกลบดำ



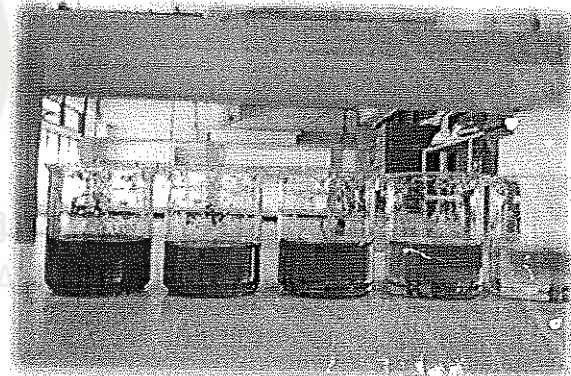
เครื่อง วัดค่าสภาพการหาไฟฟ้าและกรดเบส

### ภาพการบำบัดสีโดยผ่านกลบตัวอย่าง

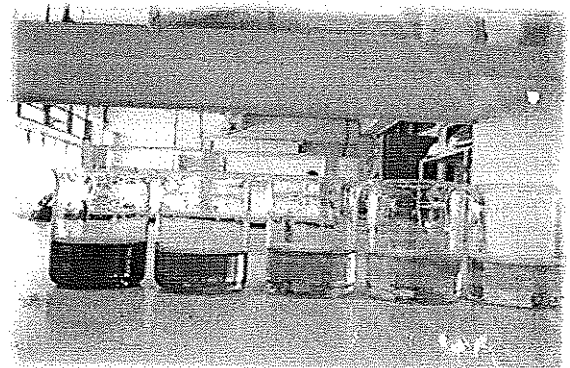
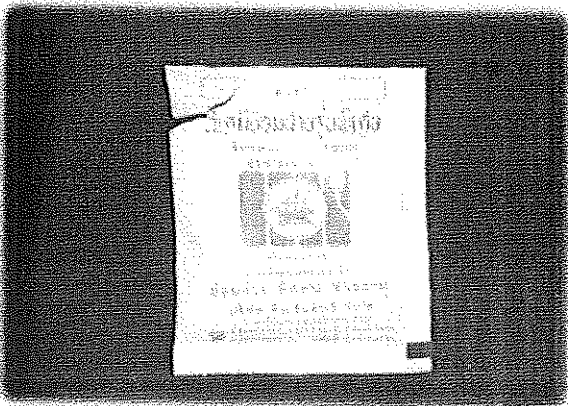
#### สีเหลือง



#### สีแดง



#### สีเทา



## ประวัติย่อผู้วิจัย

1. ชื่อ สกุล นายภิรมย์ สุวรรณสม
2. ตำแหน่ง อาจารย์  
หน่วยงานที่สังกัด คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
3. ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ  
154 หมู่ 12 หมู่บ้านอยู่เจริญสุข ตำบลเกิ้ง อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000  
เบอร์โทร 089-2757096
4. ประวัติการศึกษา
  - ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น (พ.ศ. 2546)
  - ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาเคมีวิเคราะห์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (พ.ศ. 2551)
5. ประสบการณ์ด้านการวิจัย
  - ทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก และแอนไอออนในลุ่มแม่น้ำสงคราม จ.อุดรธานี
  - ทำการวิเคราะห์และศึกษาปริมาณโลหะหนักและแอนไอออนในลุ่มแม่น้ำมูล 2 ปี
  - ออกแบบและพัฒนาเทคนิคอย่างง่ายในการวิเคราะห์ฮอร์โมนพืช(ออกซิน)ในน้ำหมักชีวภาพ
  - วิเคราะห์ฮอร์โมนพืชในน้ำหมักชีวภาพโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงและแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี
6. ประสบการณ์ด้านการเผยแพร่งานวิจัย
  1. Suwannasom, P., Tansupo, P., Chanthai, S. and Ruangviriyachai, C. GC-MS scening gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) in water fermented juices. Poster presentation at the 5<sup>th</sup> PERCH Annual Scientific Congress (PERCH Congress V); May 6-9, 2007; Jomtien Palm Beach Resort, Pattaya, Chonburi, Thailand. P. 125
  2. Suwannasom, P., Tansupo, P., Chanthai, S. and Ruangviriyachai, C. Determination of some plant nutrients in liquid biofertilizers. Poster presentation at the 8<sup>th</sup> National Grad Research Conference; September 7-8, 2007; Salaya, Mahidol University, Thailand. P. 247.

3. Suwannasom, P., Tansupo, P., Chanthai, S. and Ruangviriyachai, C. **Determination of gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) in liquid biofertilizers.** Oral presentation at the 10<sup>th</sup> Symposium on Graduate Research, KKU; January 18<sup>th</sup> 2008; Graduate School Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand. P. 28.
4. ปนัดดา แทนสุโพธิ์, ออนวดี สันประภา, สุขสันต์ ไดยันโท, ภิรมย์ สุวรรณสม, ศักดิ์สิทธิ์ จันทน์ไทย และ เฉลิม เรืองวิริยะชัย การหาปริมาณของออกซินในน้ำหมักชีวภาพอย่างง่าย โดยใช้เทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี.การประชุมวิชาการเครือข่ายการวิจัยของสถาบันอุดมศึกษา 17-19 มกราคม 2551 โรงแรมโฆษะ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย หน้า 45-48



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม  
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY