

## จันพลค่าสตอร์ ของการกำจัดลีบย้อมในน้ำทึ้งจากการย้อมผ้าในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือนโดยใช้แร่ดิน มอนต์มอริลโลในระบบถังกวัน

## Kinetic of commercial dyes removal from dyeing process wastewater of household-scale industries by Montmorillonite clay in mixing tank system

จักรกฤษณ์ อัมพุช<sup>1</sup> และ รัตนารรณ (วิญญาลักษ์สวัสดิ์) เกียรติโภณ<sup>2</sup>  
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุวรรณารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

<sup>1</sup> โทรศัพท์ 044-223482 โทรสาร 044-224491

E-mail: jaggrit@hotmail.com

<sup>2</sup>ໂທຣສັບທີ່ 044-224496 ໂທຣສາງ 044-224491

E-mail: [ratanawa@sut.ac.th](mailto:ratanawa@sut.ac.th)

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาจลนพลดำรงรักษาระดับครัวเรือนด้วยวิธีการคุณชับโดยใช้เรตินมอนต์มอริโลในตัวรรมชาติและ TDMA-clay (เรตินมอนต์มอริโลในตัวรรมชาติพื้นผิวด้วยสาร TDMA-Br) เป็นตัวคุณชับในระบบถังกวน โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนแรกศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดสีข้อมูลของตัวคุณชับในระดับห้องปฏิบัติการพบว่า สีข้อมูลในน้ำทึ่งเหล่านี้เป็นสารอินทรีย์ จึงทำให้ TDMA-clay ซึ่งเป็นตัวคุณชับที่ขอบสารอินทรีย์สามารถดูดซับสีข้อมูลได้ดีกว่าเรตินมอนต์มอริโลในตัวรรมชาติซึ่งเป็นตัวคุณชับที่ขอบน้ำ พฤติกรรมการคุณชับเป็นไปตามไฮโลเทิร์มการคุณชับแบบ Langmuir และ Freundlich ขั้นตอนที่สองศึกษาจลนพลดำรงรักษาระดับชับในระบบถังกวน พบว่า อัตราการกำจัดสีข้อมูลเป็นไปตามกลไกอันดับสองเทียม และมีประสิทธิภาพของถังกวนอยู่ในช่วง 30 – 100 % ขึ้นอยู่กับชนิดของสีที่ใช้ข้อมูลจากนั้นระบบถังกวนยังสามารถลดค่า COD ของน้ำเสียได้ด้วย

## Abstract

This research aim was to study the kinetic of dye removal from dying process wastewater of household-scale industries by sorption method using natural and TDMA modified Montmorillonite. Batch sorption and 4-baffle-turbine mixing tank system were explored. The batch results indicated that the commercial dye was well removed from water by TDMA-clay and the sorption data were fitted with Langmuir and Freundlich isotherm. According to the mixing tank system, the sorption kinetic data correlated with a pseudo-second order mechanism. The efficiency of mixing tank in dye decolourization was varied from 30-100% depending on the type of dye colour. It is

noticeable that COD of the wastewater was reduced in the mixing tank system. The results offer the possibility of using mixing tank sorption system for decolourization of commercial dyes from this wastewater.

1. ឧបករណ៍

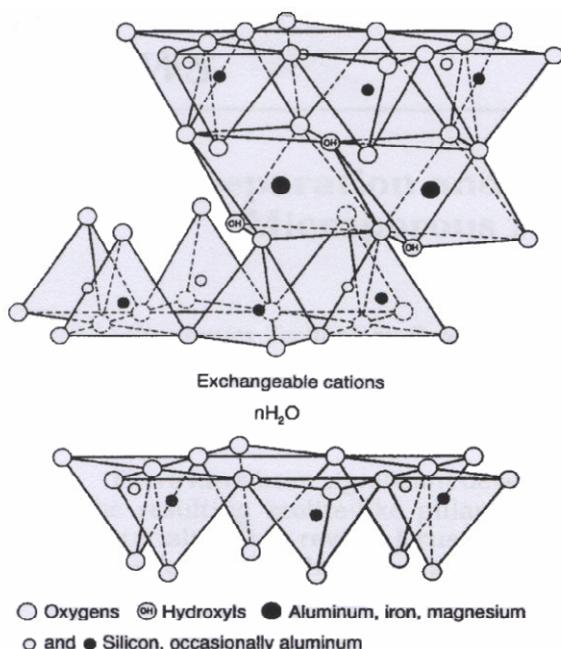
อุดสาหกรรมสิ่งทอในระดับครัวเรือนมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาลภายใต้โครงการหนึ่งผลิตภัณฑ์หนึ่งตำบล ประกอบกับลินค้าเหล่านี้ได้รับความนิยมมากขึ้นทั้งในและนอกประเทศเนื่องจากเป็นงานหัตถกรรมที่ต้องอาศัยฝีมือและความอดทนในการผลิต ในขั้นตอนการซ้อมฝ้าใช้น้ำและสารเคมีเป็นจำนวนมาก ดังนั้นน้ำเสียเหล่านี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการขยายของอุดสาหกรรม งานวิจัยนี้เริ่มต้นโดยการสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามมาจากการบวนการซ้อมฝ้า ชนิดสีซ้อม และตัวอย่างน้ำเสียที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่จังหวัดนราธิวาส มาทำการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลนั้นคือกระบวนการกรองผ้าสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามชนิดของเส้นใย นั่นคือ การผลิตผ้าฝ้าย และการผลิตผ้าไหม มีขั้นตอนการผลิตคือ การเตรียมเส้นใย การย้อมสีเส้นไหม การทอดผ้าและการตัดเย็บประรูปเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอ โดยน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการซ้อมเส้นไหมนั้น ชาวบ้านไม่ได้ทำการบำบัดก่อนเท็จลงสู่ดินบ้านหรือพื้นที่ว่างเปล่าภายในบริเวณบ้าน น้ำเสียเหล่านี้จึงสามารถปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำภายในชุมชนได้ สีซ้อมที่ชาวบ้านนิยมใช้ คือ สีซ้อมเคมีสังเคราะห์ เมื่อจากซ้อมแล้วจะทำให้ผ้ามีสีสันสดใส ติดทนนาน ประกอบผลิตภัณฑ์มีราคาถูกและหาซื้อจ่ายในท้องถิ่น สีซ้อมเคมีเหล่านี้มีโครงสร้างที่ซับซ้อนและย่อยสลายได้ในอัตราการละลายต่อสิ่งแวดล้อม [1]

ดังนั้นในงานวิจัยจึงศึกษาวิธีการกำจัดสีข้อมูลเมมเบร่นนี้ด้วยวิธีทางกายภาพนั้นคือ วิธีการคุตซัน โดยใช้แร่ดินมองต์อิริโลไดน์เป็นตัวคุตซัน เนื่องจากเป็นแร่ดินที่มีอิฐมูกภายในแบบภาชนะของประเทศไทย และมีการผลิตในเชิงพาณิชย์อยู่แล้ว จึงทำให้มีราคาถูกและไม่มีปัจจัยใน

RECEIVED 6 January, 2006

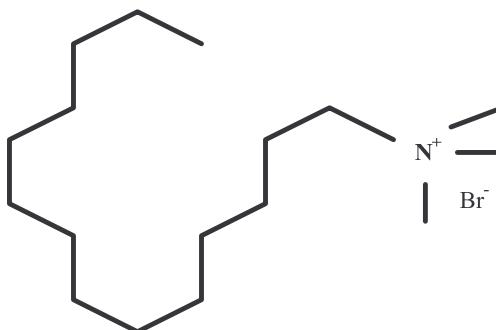
ACCEPTED 1 August, 2006

ด้านปริมาณของแร่ดิน ลักษณะโครงสร้างของแร่ดินดังแสดงไว้ในรูปที่ 1 [2] โดยในแต่ละชั้นดินจะประกอบไปด้วยสารมีส่วนช้อนกันได้แก่ แผ่นของซิลิกาที่มีรูปร่างของหน่วยเซลล์เป็นแบบทรงสี่เหลี่ยม 2 แผ่นประกอบกันแผ่นของอلومินาที่มีรูปร่างของหน่วยเซลล์เป็นแบบทรงแปดเหลี่ยมอยู่ตรงกลาง เนื่องจาก  $Al^{3+}$  สามารถเข้าไปแทนที่  $Si^{4+}$  ในชั้นของซิลิกาได้ และ  $Mg^{2+}$  และ  $Fe^{2+}$  สามารถเข้าไปแทนที่  $Al^{3+}$  ในแผ่นของอلومินาได้ จึงทำให้ประจุสุทธิของชั้นดินเป็นประจุลบสั่งผลให้เกิดการหลักกันของระหว่างชั้นดินขึ้นเกิดเป็นช่องว่างระหว่างชั้นดินเหล่านี้ เพราะทำให้ประจุสุทธิของแร่ดินสมดุลกัน [3] และทำให้แร่ดินมอนต์มอริลโลไลน์เป็นวัสดุที่ชอบน้ำ (hydrophilic)



รูปที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของแร่ดินมอนต์มอริลโลไลน์

แร่ดินมอนต์มอริลโลไลน์สามารถนำมารีบลี่ยนแปลงให้มีสมบัติพิเศษที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารอินทรีย์ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวประเภท Quaternary Ammonium Cations (QACs) และแร่ดินหลังการเปลี่ยนแปลงสภาพการดูดซับนิยมเรียกว่า “Organoclay” [4] ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สาร Tetradecyltrimethyl ammonium bromide (TDMA-Br) เป็นสารลดแรงตึงผิว โดยมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 286 มีสูตรอย่างง่ายคือ  $[(CH_3(CH_2)_{13})_2CH_3]_3N^+Br^-$  ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างทางเคมีดังแสดงในรูปที่ 2 และเรียกแร่ดินที่ถูกปรับปรุงด้วยสาร TDMA-Br นี้ว่า “TDMA-clay” ซึ่งเป็นวัสดุที่ชอบสารอินทรีย์ (Organophilic)



รูปที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของสาร TDMA-Br

## 2. วัสดุและวิธีการทดลอง

### 2.1 แร่ดินมอนต์มอริลโลไลน์

แร่ดินมอนต์มอริลโลไลน์ที่ใช้งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์มาจากบริษัทไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยมีค่า CEC (Cation exchangeable capacity) เท่ากับ 80 meq/ 100 g ของแร่ดินมอนต์มอริลโลไลน์

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินมอนต์มอริลโลไลน์

องค์ประกอบ	% weight	องค์ประกอบ	% weight
$SiO_2$	56-60	$MgO$	1.5-2.0
$Al_2O_3$	16-18	$CaO$	1.9-2.1
$Fe_2O_3$	5-7	$K_2O$	0.3-0.5
$Na_2O$	2.4-3	$TiO_2$	1.2-1.5

### 2.2 การเตรียม TDMA-clay

เริ่มจากการคำนวณปริมาณของสาร QACs ที่จะนำมาใช้เปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิวของแร่ดินมอนต์มอริลโลไลน์ต่อจากสมการที่ 1 ในการวิจัยนี้จะใช้ปริมาณของสาร TDMA-Br ในอัตราส่วน 2 เท่าของค่า CEC ของแร่ดินมอนต์มอริลโลไลน์ที่ธรรมชาติ โดยทำการเตรียมสารละลาย TDMA-Br ความเข้มข้น 26.92 g/L จำนวน 1 L ผสมกับแร่ดินมอนต์มอริลโลไลน์ที่ธรรมชาติจำนวน 50 g เขย่าผสมกันด้วยเครื่องเขย่าแนวราบที่ความเร็วรอบ 200 rpm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้น ทำการถังแร่ดินด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าจนกระทั่งมีค่าน้อยกว่า 1.5  $\mu$ s/cm แล้วนำไปกรองด้วยเครื่องกรองสูญญากาศ ปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปบดให้ละเอียด [5]

$$W = AxBxCxD \quad (1)$$

เมื่อ  $W$  คือ น้ำหนักของสาร TDMA-Br (g)

A คือ จำนวนเท่าของค่า CEC ของแร่ดินมอนต์มอริลโลไดโนต์ธรรมชาติ

B คือ ค่า CEC ของแร่ดินมอนต์มอริลโลไดโนต์ธรรมชาติ

C คือ น้ำหนักของแร่ดินมอนต์มอริลโลไดโนต์ธรรมชาติ (g)

D คือ มวลโลไมล์กลุ่มของสาร TDMA-Br (g/mole)

ดังนี้ถ้าต้องการเตรียม TDMA-clay จำนวน 50 กรัม ให้มีค่า CEC เป็น 2 เท่าของแร่ดินมอนต์มอริลโลไดโนต์ธรรมชาติสามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$W = 2 \times 0.8 \frac{meq}{g} \times 50 \text{ g} \times 336.4 \frac{g}{meq} \times \frac{mole}{eq} \times \frac{eq}{1000meq} = 26.91 \text{ g}$$

### 2.3 การศึกษาของค่าประกอบทางเคมีของสีข้อมคิมี

วิเคราะห์ห้องค่าประกอบทางเคมีของผงสีข้อมคิมีสังเคราะห์ด้วยเครื่อง CHNS-analyzer CNS-2000 LECO เพื่อหาปริมาณของธาตุองค์ประกอบได้แก่ C, H, N, S เป็นต้น

### 2.4 การคุณภาพแบบขั้นตอนเดียวในระดับห้องปฏิบัติการ

ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสีย 2 ชนิด ได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการจากสีข้อมคิมีที่ชาวบ้านนิยมใช้ให้มีความเข้มข้นเริ่มต้น 200 mg/L และน้ำเสียจริงจากการเก็บตัวอย่าง โดยใช้น้ำเสียปริมาตร 200 mL ผสมกับตัวคุณภาพขั้นตอน 0.1 g นั้นคือ แร่ดินมอนต์มอริลโลไดโนต์ธรรมชาติหรือ TDMA-clay ในขารูปปูนขนาด 500 mL เบย่าให้สมกันด้วยเครื่องเบย่าแวนรานที่ความเร็วรอบเท่ากับ 200 rpm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการแยกตัวคุณภาพขั้นตอนจากสารแ变幻ลolyโดยใช้วิธีหมุนเรื่องที่ความเร็วรอบ 3000 rpm เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำสารละลายส่วนที่ໄสไปทำการวัดค่าเอนซอร์บแบบด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer รุ่น Cary 5E ของ Varian ที่ความยาวคลื่นสูงสุด ( $\lambda_{max}$ ) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการคุณภาพจากกราฟมาตรฐานของสีข้อม ซึ่งสมการกราฟมาตรฐานและค่า  $\lambda_{max}$  แสดงไว้ในตารางที่ 2

### 2.5 การคุณภาพแบบขั้นตอนในระบบถังกวน

ทำการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์จากสีข้อมคิมีที่ชาวบ้านนิยมใช้ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นในช่วง 250-500 mg/L จำนวน 50 L ในถังกวนปริมาตร 100 L มีบัฟเฟอร์ 4 วัน มีใบพัดแบบกังหัน (Turbine) ผสมกับตัวคุณภาพที่สามารถดูดสีข้อมคิมีได้ที่สุดจากการคุณภาพขั้นตอนเดียวในระดับห้องปฏิบัติการและคำนวณปริมาณของตัวคุณภาพจากสมการ ไอโซเทร์มการคุณภาพของ Langmuir จากนั้นทำการกวนผสมสีข้อมและตัวคุณภาพในถังกวนที่ความเร็วรอบ 240 rpm แล้วทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 10 นาที นำตัวอย่างที่ได้ไปวัดค่า pH ค่าความกรุ่น ค่าเอน

ชอร์บแบบซึ่งโดยทำการแยกตัวคุณภาพออกก่อนด้วยเครื่องหมุนเรื่องที่ความเร็วรอบเท่ากับ 3000 rpm เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำการวิเคราะห์ห้ามีโซดี

### ตารางที่ 2 สมการกราฟมาตรฐานของสีข้อมคิมี

ชนิดสีข้อม	$\lambda_{max}$ (nm)	สมการกราฟ มาตรฐาน	$R^2$
สีเขียวรถตุ๊ก	401	$A = 0.0108C$	0.9969
สีน้ำเงิน	557	$A = 0.0059C$	0.9994
สีรำภากทอง	404	$A = 0.0075C$	0.9911
สีเลือดหมู	507	$A = 0.0102C$	0.9990
สีเหลืองอ่อน	388	$A = 0.0071C$	0.9998
สีแดงน้ำตาล	460	$A = 0.0040C$	0.9988
สีกะปิ	502	$A = 0.0008C$	0.9898

หมายเหตุ A คือ ค่าเอนชอร์บแบบซึ่ง และ C คือ ความเข้มข้นของสีข้อม

### 3.ผลการทดลอง

#### 3.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำของน้ำสียิงจรวดจากการเก็บตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์ค่าตัวแปรที่บ่งบอกถึงคุณภาพน้ำของน้ำสียิงจรวดจากการเก็บตัวอย่างภาคสนามในเขตพื้นที่ของจังหวัดนครราชสีมา ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งรัฐบาลได้กำหนดค่ามาตรฐานน้ำที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมให้มีค่าโซดีไม่เกิน 120 mg/L และค่าบีโซดีไม่เกิน 20 mg/L แต่พิจารณาจากตารางที่ 3 พบว่ามีค่าโซดีและค่าบีโซดีมีแนวโน้มสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งน้ำเสียเหล่าน้ำที่เป็นต้องทำการบำบัดก่อนปล่อยทิ้งสู่แหล่งรองรับทางธรรมชาติ มีค่าน้ำอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของชาวบ้านในอนาคต เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าโซดีและค่าบีโซดีในตารางที่ 3 พบว่า ค่าโซดีจะมีค่าสูงกว่าค่าบีโซดีมาก แสดงว่ามีเสียเหล่าน้ำสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติที่สภาวะปกติได้น้อย ดังนั้นควรทำการบำบัดน้ำเสียเหล่าน้ำที่ด้วยวิธีการทางเคมี เช่น การดูดซับ เป็นต้น

ตารางที่ 3 ตัวแปรที่บ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำเสียจริงจากการข้อมูล

ชนิดของน้ำเสีย	ตัวแปร				
	ปีโอดี (mg/L)	ซีโอดี (mg/L)	pH	ของแข็งทั้งหมด (mg/L)	ความชุ่น (NTU)
สีน้ำเงินชุ่น	15	1,577	8.29	11,036	23.8
สีน้ำเงินอมชมพู	70	303	7.69	10,205	33.7
สีขาวชม	130	431	8.29	15,795	21.8
สีเม็ดมะปราง	120	1,415	8.39	10,345	180.0
สีพลอยแดง	70	170	8.65	8,315	17.3
สีดำ	-	-	-	27,675	-
สีชมพู	-	-	-	9,327	-
สีดำเข้ม	21	790	8.32	7,572	22.3
สีแสด	462	1,509	7.33	15,344	45.0
สีน้ำตาล	66	1,502	7.73	9,968	158.0
สีน้ำเงิน	355	1,413	-	-	-
สีเขียว	1,060	2,362	-	-	-
สีดำ	211	850	-	-	-
สีเขียวชุ่น	17	1,331	8.53	16,720	46.3

### 3.2 การศึกษาลักษณะคุณภาพของตัวคุณภาพ

ลักษณะทางคุณภาพของตัวคุณภาพทั้งสองชนิดแสดงไว้ในตารางที่ 4 โดยใช้เครื่อง Automatic Surface Analyzer ASAP2010 Micromeritics ในการหาค่าพื้นที่ผิวและขนาดรูพูนเฉลี่ย ใช้เครื่อง Mastersizer ในการหาขนาดอนุภาค ใช้เครื่อง X-Ray Diffraction Bruker 50505 system ในการหาระยะห่างระหว่างชั้น โครงสร้างและใช้เครื่อง CHNS-analyzer CNS-2000 LECO ในการหาปริมาณคาร์บอน

เมื่อพิจารณาความกว้างของช่องว่างระหว่างชั้นดิน ( $d_{001}$ ) พบว่า 200%CEC TDMA-clay มีระยะ  $d_{001}$  กว้างกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโล ไนต์ธรรมชาติเนื่องมาจากโมเลกุลของ TDMA เข้าไปแทรกอยู่ภายในช่องว่างระหว่างชั้นของแร่ดินมอนต์มอริลโลในตัวคุณภาพที่ 2θ มีค่าลดลงและมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใหญ่ขึ้น นอกจากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่ของสาร TDMA จะเข้าไปปิดกั้นรูพูนขนาดเล็กของแร่ดินทำให้มีขนาดของรูพูนเฉลี่ยของ 200%CEC TDMA-clay ใหญ่กว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลในตัวคุณภาพที่ 200%CEC TDMA-clay จึงเป็นวัสดุที่มีรูพูนขนาดใหญ่กว่า TDMA-clay ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดของรูพูนของแร่ดินใหญ่ขึ้นจะส่งผลให้มีพื้นที่ผิวของแร่ดินมอนต์มอริลโลในตัวคุณภาพและสามารถยึด住ยาน้ำได้ด้วยพิจารณาจากปริมาณของสารบอนที่เพิ่มขึ้นของ 200%CEC TDMA-clay

ตารางที่ 4 ลักษณะทางคุณภาพของตัวคุณภาพทั้งสองชนิด

สมบัติทางคุณภาพ	ชนิดของตัวคุณภาพ	
	แร่ดินมอนต์มอริลโลในตัวคุณภาพ	200%CEC TDMA-clay
พื้นที่ผิว BET (m <sup>2</sup> /g)	55.80	9.30
$d_{001}$ , Å	13.143	21.639
2θ	6.72	4.08
ขนาดรูพูนเฉลี่ย (nm)	6.3	24.2
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (μm)	9.70	65.20
ปริมาณคาร์บอน (g/100g สารบอน)	0	14.71

### 3.2 องค์ประกอบทางเคมีของสีข้อมูล

องค์ประกอบทางเคมีของสีข้อมูลมีสังเคราะห์ที่ชาวบ้านนิยมใช้ในการข้อมูลสี แสดงไว้ในตารางที่ 5 พบว่าองค์ประกอบหลักของสีข้อมูลมีหลักน้ำมันที่ได้แก่ ชาตุคราบอน และมีชาตุไธโอดเจน ชาตุไนโตรเจน ชาตุกำมะถัน อยู่ในโมเลกุล จากข้อมูลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าสีข้อมูลมีเหล่านี้มีความเป็นสารอินทรีย์ และน่าจะถูกดูดซับด้วยตัวคุณภาพที่ชอบสารอินทรีย์ (Organophilic) ได้ดี

### ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของสีข้อมูล

สีข้อมูล	%C	%H	%N	%S
สีเขียวมรกต	20.103	0.590	1.509	3.297
สีน้ำเงิน	21.206	0.633	0.883	3.466
สีรำพึง	12.726	0.376	0.923	4.814
สีเหลืองเข้ม	22.936	0.628	1.980	4.017
สีเหลืองอ่อน	15.900	0.425	1.239	3.532
สีแดงน้ำตาล	14.663	0.409	1.191	3.336
สีกะปิ	1.830	0.303	0.870	6.864

### 3.3 การศึกษาการดูดซับในระดับห้องปฏิบัติการ

#### 3.3.1 ผลการดูดซับของสีข้อมูลในระดับห้องปฏิบัติการ

ตัวคุณภาพทั้งสองชนิดสามารถกำจัดสีข้อมูลในน้ำเสียสังเคราะห์ได้แตกต่างกัน โดย TDMA-clay สามารถกำจัดสีข้อมูลได้ในตัวคุณภาพที่ดีกว่า TDMA-clay จะดึงดูดสีข้อมูลในน้ำเสียสังเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 6 และ% การกำจัดสีข้อมูลในน้ำเสียสังเคราะห์ในตัวคุณภาพที่ 7 ซึ่ง TDMA-clay จะมีค่า% ความสามารถในการกำจัดสีข้อมูลสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากสีข้อมูลมีองค์ประกอบหลักเป็นชาตุคราบอนและมีความเป็นสารอินทรีย์ซึ่งชอบตัวคุณภาพที่ชอบสารอินทรีย์นั้นคือ TDMA-clay สำหรับแร่ดินมอนต์มอริลโลในตัวคุณภาพเป็นตัวคุณภาพที่ชอบน้ำเสีย มีความสามารถในการกำจัดสีข้อมูลเหล่านี้ได้ดีอย่างกว่า TDMA-clay [6]

ตารางที่ 6 ความสามารถในการกำจัดสีข้อมในน้ำเสียสังเคราะห์

ชนิดสีข้อม	% การกำจัดสีข้อมเคมี	
	แรดินมอนต์มอริลโลไลน์ต์	TDMA-clay
สีเขียวมรกต	17.27	95.60
สีน้ำเงิน	26.92	99.57
สีรำกำทอง	20.47	97.83
สีเลือดหมู	21.69	87.14
สีเหลืองอ่อน	0.33	98.00
สีแดงน้ำตาล	28.03	99.79
สีกะปิ	1.63	99.97

หมายเหตุ ความเข้มข้นของสีข้อมเริ่มต้นเท่ากับ 200 mg/L ใช้ปริมาณตัว

คุณชั้บ 0.1 g

ตารางที่ 7 ความสามารถในการกำจัดสีข้อมในน้ำเสียจริง

ชนิดสีข้อม	$\lambda_{max}$ (nm)	% การกำจัดสีข้อมเคมี	
		แรดินมอนต์ มอริลโลไลน์ต์	TDMA-clay
สีเม็ดมะปรง	538	76.80	25.42
สีชานชมา	390	41.64	8.42
สีม่วงอมชมพู	556	61.41	59.59
สีม่วงชุ่น	550	38.22	0.69

### 3.3.2 ไอโซเทร์มการคุณชั้บ

การศึกษาสมดุลการคุณชั้บโดยไอโซเทร์มการคุณชั้บของสีข้อมเคมีในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วย TDMA-clay ในการห้ามไอโซเทร์มทำโดยเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นในช่วง 100 – 500 mg/L ผสมกับ TDMA-clay จำนวน 0.1 g ในภาชนะปูมพู่แล้วทำการเรียบด้วยเครื่องเขย่าเเนวนรบวนที่ความเร็วรอบ 200 rpm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วแยกตัวคุณชั้บออกมาโดยวิธีการหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000 rpm เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำสารละลายส่วนที่ใสไปปั่นค่าแอบขอร์นแบบนี้แล้วหาความเข้มข้นของสีข้อมในน้ำเสียสังเคราะห์จากกราฟมาดูรูป

ไอโซเทร์มการคุณชั้บสามารถสร้างได้โดยสมการสมดุลมวลสารดังแสดงในสมการที่ 2 ไอโซเทร์มที่นิยมใช้ในกระบวนการคุณชั้บในระบบของเหลวได้แก่ ไอโซเทร์มแบบเส้นตรงดังแสดงในสมการที่ 3 ไอโซเทร์มแบบ Langmuir ดังแสดงไว้ในสมการที่ 4 และไอโซเทร์มแบบ Freundlich ดังแสดงไว้ในสมการที่ 5

สมการสมดุลมวลสาร;

$$(C_o - C_e) V = (q_e - q_o) m \quad (2)$$

ไอโซเทร์มเส้นตรง;

$$q_e = K_f C_e \quad (3)$$

ไอโซเทร์มแบบ Langmuir;

$$q_e = \frac{ac_e}{(1 + bc_e)} \quad (4)$$

ไอโซเทร์มแบบ Freundlich;

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (5)$$

เมื่อ  $C_o$  คือ ความเข้มข้นของสีข้อมเคมีเริ่มต้น (mg/L)

$C_e$  คือ ความเข้มข้นของสีข้อมที่สมดุล (mg/L)

$V$  คือ ปริมาตรของสีข้อม (mL)

$q_o$  คือ ปริมาณของสีข้อมบนตัวคุณชั้บเริ่มต้น (mg/g)

$q_e$  คือ ปริมาณของสีข้อมบนตัวคุณชั้บที่สมดุล (mg/g)

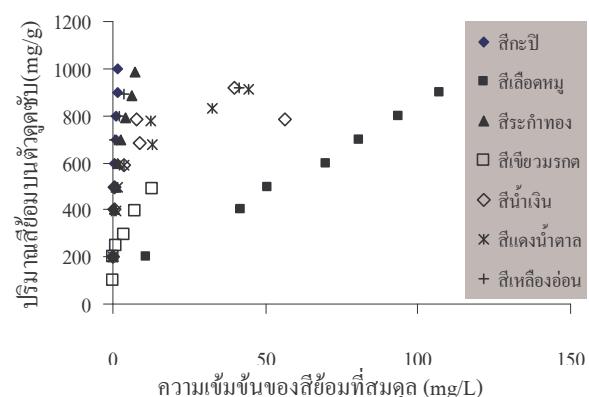
$m$  คือ ปริมาตรของตัวคุณชั้บ (g)

$K_f$  คือ ค่าคงที่ไอโซเทร์มเส้นตรง

$a, b$  คือ ค่าคงที่ของไอโซเทร์มแบบ Langmuir

$K_f, n$  คือ ค่าคงที่ของไอโซเทร์มแบบ Freundlich

ลักษณะของไอโซเทร์มการคุณชั้บดังแสดงไว้ในรูปที่ 3 ซึ่งมีแนวโน้มไอโซเทร์มเป็นไปตามไอโซเทร์มการคุณชั้บของ Langmuir และไอโซเทร์มแบบ Freundlich ได้แก่ สีกะปิ สีรำกำทอง สีเขียวมรกต สีน้ำเงิน สีแดงน้ำตาล และสีเหลืองอ่อน สำหรับสีเลือดหมูจะมีไอโซเทร์มการคุณชั้บเป็นแบบเส้นตรง ค่าตัวแปรของไอโซเทร์มแบบ Langmuir และ Freundlich แสดงไว้ในตารางที่ 8



รูปที่ 3 ไอโซเทร์มการคุณชั้บของสีข้อมในน้ำเสียสังเคราะห์

ตารางที่ 8 ความสามารถในการกำจัดสีข้อมในน้ำเสียสังเคราะห์

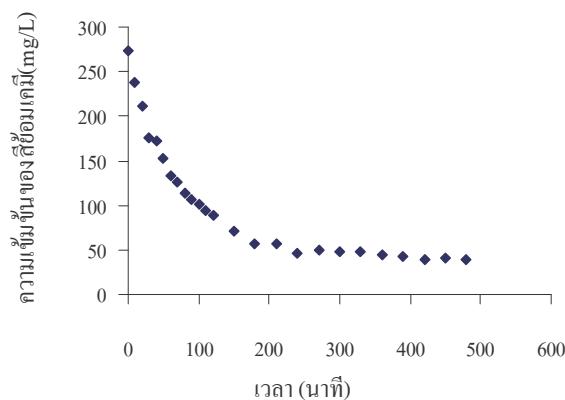
ชนิดสีข้อม	Langmuir isotherm		Freundlich isotherm		
	q <sub>m</sub> (mg/g)	R <sup>2</sup>	K <sub>f</sub>	n	R <sup>2</sup>
สีเขียวมรกต	476.19	0.9992	-	-	-
สีน้ำเงิน	833.33	0.9909	-	-	-
สีระกำท่อง	1000	0.9739	517.13	3.2	0.9869
สีเลือดหมู	833.33	0.8000	790.69	1.5	0.9849
สีเหลืองอ่อน	909.09	0.9999	-	-	-
สีแดงน้ำตาล	909.09	0.9920	441.51	5.2	0.9655
สีกะปี	1428.57	0.8463	707.47	2	0.9658

หมายเหตุ q<sub>m</sub> คือ ปริมาณ monolayer sorption capacity (mg/g)

### 3.4 การศึกษาการดูดซับในระบบถังกวน

#### 3.4.1 込んでพอกศาสตร์การดูดซับสีข้อมเคมีในถังกวน

การดูดซับของสีข้อมในระบบถังกวนจะศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นและเวลาจะมีลักษณะของการ吸附ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งแสดงพฤติกรรมการกำจัดสีข้อมเคมีในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วย TDMA-clay ในถังกวนขนาด 100 L ของสีน้ำเงิน ซึ่งความเข้มข้นของสีข้อมเคมีจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ๆ แต่มีเวลาเพิ่มมากขึ้นความเข้มข้นจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงจนกระทั่งมีค่าคงที่นั่นคือระบบได้เข้าสู่สภาวะสมดุล



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีน้ำเงินที่ความเข้มข้น

เริ่มต้น 272.51 mg/L ปริมาณของ TDMA-clay เท่ากับ 20.63 g

การศึกษา込んでพอกศาสตร์การดูดซับ จะพิจารณาอัตราของการดูดซับที่เกิดขึ้นภายในระบบ การดูดซับในชั้นใจของ TDMA-clay ให้เห็นถึงปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ด้วย ขั้นตอนในการหาค่าคงที่ของ TDMA-clay ได้จากการดูดซับของ Lagergren ซึ่งเป็นค่าคงที่ของ TDMA-clay ที่ได้จากการ吸附ด้วย

[7-8] ซึ่งเป็นกลไกอันดับสองเที่ยม (Pseudo-second order) ซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

ก) สมการอันดับหนึ่งเที่ยม (Pseudo-first order) 込んでพอกศาสตร์ของการดูดซับจะถูกอธิบายโดยปฏิกริยา Pseudo-first order สมการเชิงอนุพันธ์แสดงไว้ดังนี้

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \quad (6)$$

เมื่อ  $q_e$  คือ ปริมาณของสีข้อมที่ถูกดูดซับที่สมมูล (mg/g)

$q_t$  คือ ปริมาณของสีข้อมที่ถูกดูดซับที่เวลา  $t$  (mg/g)

$k_1$  คือ ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของสมการ Pseudo-first order (1/min)

เมื่อทำการอินทิเกรตสมการที่ 6 โดยใช้ Boundary conditions ที่  $t = 0; q_t = 0$  และ  $t = t; q_t = q_t$  จะได้

$$\ln (q_e - q_t) = \ln (q_e) - k_1 t \quad (7)$$

ค่าคงที่  $k_1$  และสัมประสิทธิ์สัมพันธ์  $R^2$  สามารถหาได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln (q_e - q_t)$  และ  $t$

ข) สมการอันดับสองเที่ยม (Pseudo-second order) 込んでพอกศาสตร์ของการดูดซับจะถูกอธิบายโดยสมการเชิงอนุพันธ์ดังแสดงต่อไปนี้

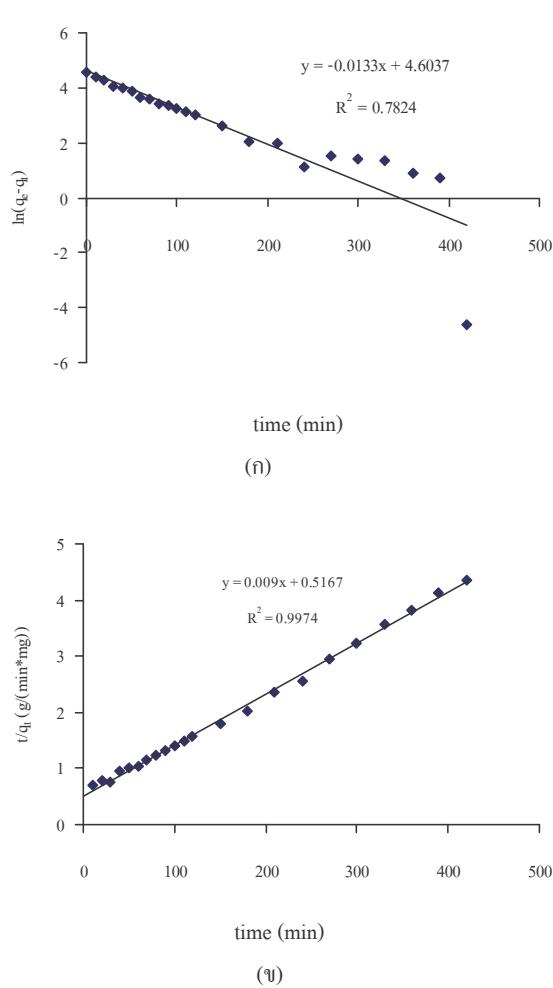
$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (8)$$

เมื่อ  $k_2$  คือ ค่าคงที่ที่สมดุลของสมการ Pseudo-Second Order (g/mg\*min)

เมื่อทำการอินทิเกรตสมการที่ 8 โดยใช้เงื่อนไขขอบเขต (Boundary conditions) ที่  $t = 0; q_t = 0$  และ  $t = t; q_t = q_t$  จะได้

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (9)$$

ค่าคงที่  $k_2$ ,  $q_e$  และสัมประสิทธิ์สัมพันธ์  $R^2$  สามารถหาได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่าง  $t/q_t$  และ  $t$



รูปที่ 5 جونพลศาสตร์การดูดซับน้ำเสียสีน้ำเงิน โดยใช้ TDMA-clay ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 272.51 mg/L

ก) กลไกการดูดซับอันดับหนึ่งเทียม (Pseudo-first order)  
ข) กลไกการดูดซับอันดับสองเทียม (Pseudo-second order)

จากผลการทดลองพบว่า جونพลศาสตร์การดูดซับสีข้อมูลในน้ำเสียเหล่านี้เป็นไปตามสมการอันดับสองเทียม (Pseudo-second order) โดยพิจารณากรุ๊ปที่ 5 สามารถหาค่า  $k_2$  และค่า  $R^2$  ดังแสดงไว้ในตารางที่ 9 พบว่า แม้ความเข้มข้นของสีข้อมูลจะเริ่มต้นจะต่างกัน แต่ปริมาณของสีข้อมูลตัวดูดซับที่สมดุล ( $q_e$ ) มีค่าคงที่ [9-10]

ตารางที่ 9 ค่าคงที่ของสมการ Pseudo-second order

ชนิดสี ข้อมูล	$C_0$ (mg/L)	TDMA- clay (g)	$q_e$ (mg/g)	$R^2$	$k_2$ g/(mg*min)
สีเขียว	250.71	39.38	476.19	1.0000	$1.07 \times 10^{-2}$
	508.88	78.75	476.19	0.9980	$3.55 \times 10^{-4}$
สีน้ำเงิน	272.51	20.63	833.33	0.9979	$2.98 \times 10^{-5}$
	512.60	41.25	833.33	0.9481	$1.92 \times 10^{-4}$
สีรำภึง	248.13	18.75	1000	0.9998	$7.24 \times 10^{-5}$
	517.47	37.50	1000	0.9941	$4.15 \times 10^{-5}$
สีเดือด	251.06	9.38	2000	0.9834	$8.95 \times 10^{-6}$
	512.25	18.75	2000	0.9989	$6.40 \times 10^{-5}$
สีเหลือง	279.28	20.65	909.09	0.9957	$2.32 \times 10^{-4}$
	504.07	41.25	909.09	0.8922	$7.11 \times 10^{-5}$
สีกะปิ	249.75	13.125	1000	0.9998	$7.56 \times 10^{-4}$
	506.60	26.25	1000	0.9999	$4.76 \times 10^{-4}$

#### 3.4.2 ผลการลดค่า COD ในระบบถังกวน

ระบบถังกวนสามารถลดค่าซีไอดีของน้ำเสียสีสังเคราะห์ได้โดยพิจารณาจากข้อมูลในตารางที่ 10 ซึ่งการลดลงของค่าซีไอดีมีแนวโน้มลดลงในลักษณะเดียวกับการลดลงของความเข้มข้นสี

ตารางที่ 10 ความสามารถในการลดค่าซีไอดีของน้ำเสียสีสังเคราะห์ในระบบถังกวน

เวลา (นาที)	ความ เข้มข้นสี (mg/L)	ซีไอดี (mg/L)	เวลา (นาที)	ความ เข้มข้นสี (mg/L)	ซีไอดี (mg/L)
10	237.31	159.96	100	101.47	156.91
20	210.61	113.98	110	94.72	105.96
30	176.15	110.98	150	71.29	71.98
40	171.31	107.98	180	57.00	88.96
50	152.53	123.96	210	56.08	88.90
60	133.08	130.95	240	45.72	61.98
70	126.61	99.98	270	49.71	43.96
80	114.11	103.98	300	48.12	31.97
90	106.76	94.98	330	47.93	31.97

#### 3.4.3 ประสิทธิภาพของระบบถังกวนในการดูดซับสีข้อมูล

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีข้อมูลในน้ำเสียของ TDMA-clay ของระบบถังกวนเทียบกับระบบการดูดซับในระดับ

ห้องปฏิบัติการ โดยแสดงในรูปของค่า % Utilities of clay ซึ่งคือการเบรี่ยนเทียบค่า  $q_e$  จากระบบการดูดซับในถังกวนกับค่า  $q_m$  จากระบบการดูดซับในระดับห้องปฏิบัติการ ดังแสดงในตารางที่ 11 นอกจากนี้ยังพิจารณาประสิทธิภาพของถังกวนโดยเบรี่ยนความเข้มข้นเริ่มต้นและความเข้มข้นสุดท้ายพบว่าอยู่ในช่วง 30 – 99 % ขึ้นอยู่กับชนิดของสีข้อมูล

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพในการดูดซับของระบบถังกวน

ชนิดสีข้อมูล	$C_0$ (mg/L)	% Utilities of clay	ประสิทธิภาพ ของถังกวน (%)
สีเขียวมะรออก	250.71	65.63	80
	508.88	38.18	95.30
สีน้ำเงิน	272.51	75.00	33.43
	512.60	25.06	31.53
สีระกำทอง	248.13	58.82	99.79
	517.47	66.67	100
สีเลือดหมู	251.06	62.50	100
	512.25	38.46	100
สีเหลืองอ่อน	279.28	24.45	86.24
	504.07	18.33	39.04
สีแดงน้ำตาล	251.43	99.91	87.15
	501.60	66.67	91.98
สีกะปิ	249.75	70.00	97.17
	506.60	70.00	56.83

#### 4.สรุป

น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการกระบวนการรีดสีผ้าในอุตสาหกรรมระดับครัวเรือนมีค่าซีไอดีเกินมาตรฐานที่รัฐบาลกำหนด จึงต้องนำบัดก่อนปล่อยทิ้งด้วยวิธีการดูดซับ เนื่องจากสีข้อมูลเคมีเหล่านี้เป็นสารอินทรีย์ซึ่งสามารถดูดซับด้วย TDMA-clay ได้ดี เมื่อจากเป็นตัวดูดซับที่ชอบสารอินทรีย์ (Organophilic) และไอโซเทร์มการดูดซับมีแนวโน้มเป็นไปตามไอโซเทร์มของ Langmuir และ Freundlich ในระบบการดูดซับแบบถังกวนพบว่า ความเข้มข้นของสีข้อมูลในน้ำเสียจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ๆ แล้วค่อยคงที่ พฤติกรรมการกำจัดสีข้อมูลเคมีในน้ำเสียของ TDMA-clay เป็นไปตามสมการอัตราการดูดซับอันดับสอง เทียบประสิทธิภาพของถังกวนอยู่ในช่วง 30-99 % ขึ้นอยู่กับชนิดของสีข้อมูลและระบบถังกวนสามารถลดค่าซีไอดีได้ด้วย

#### 5.กิตติกรรมประการ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์และคิดมอนเต็มอิ่มโดยในต์จากบริษัทไทยนิปปอนเดเคมีภัณฑ์ จำกัด และได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และโครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สำนักงานกองทุนวิจัย (สกว.)

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Robison, B. Chandran and P. Nigam, "The effect of pretreatments of three waste residues, wheat straw, corncobs and barley husks on dye adsorption", Biores. Technol., Vol. 85, 2002, pp. 119-124.
- [2] K. Ohtsuka, "Preparation and Properties of Two-Dimensional Microporous Pillared Interlayered Solids", Chem. Mater., Vol. 9, 1997, pp. 2039-2050.
- [3] C. Wang, L. Juang, C. Lee, T. Hsu, J. Lee, and H. Chao, "Effect of exchanged surfactant cations on the pore structure and adsorption characteristics of montmorillonite", J. Colloid Interface Sci., Vol.280, 2004, pp. 27 - 35.
- [4] Y.Z. El-Nahhal, and J.M. Saffi, " Adsorption of phenanthrene on organoclays from distilled and saline water", J. Colloid Interface Sci., Vol. 269, 2004, pp. 265-273.
- [5] ปียะมาการน์ จารุวงศ์ และรัตนวรรณ เกียรติโภณ, "การดูดซับสารอินทรีย์จากน้ำโดยใช้เรดิมอนเต็มอิ่มโดยในต์ธรรมชาติ และ Organo-clay", วารสารเทคโนโลยีสุรนารี เล่มที่ 11, 2547, หน้า 39 – 51.
- [6] R. Wibulswas, "Batch and fixed bed sorption of methylene blue on precursor and QACs modified montmorillnate", Sep. Purif. Technol., Vol.39, 2004, pp. 3-12.
- [7] Y.S. Ho, and C.C. Chiang, "The kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat", Water Research, Vol. 34, 2001, pp. 735-742.
- [8] Y.S. Ho, and G. McKay, "Pseudo-second order model for sorption processes", Process Biochem., Vol. 34, 1999, pp. 451-465.
- [9] Y.S. Ho, and G. McKay, "Sorption of dyes and copper ions onto biosorbents", Process Biochem., Vol. 38, 2003, pp. 1047-1061.
- [10] Y.S. Ho, and C.C. Chiang, "Sorption studies of acid dye by mixed sorbents", Adsorption, Vol.7, 2001, pp. 139-147.