

# การดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

## ชนิด DC 505: ผลของค่าพีเอชและความแรงประจุ

### Natural Organic Matter Adsorption using the DC 505

### Granular Activated Carbon: Effects of pH and Ionic Strength

Supatpong Mattaraj\* and Pakasit Hongthong\*\*

สุพัตน์พงษ์ มัตราจ\* และ ปกาศิต ฮงทอง\*\*

\*ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

\*\*สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

E-mail: mattas@ubu.ac.th

#### บทคัดย่อ

การดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติถูกทดสอบโดยถ่านกัมมันต์ชนิด DC 505 ภายใต้การทดสอบแบบเบทช์เป็นเวลา 48 ชั่วโมง การทดสอบพบว่า การดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติขึ้นอยู่กับผลของสารละลายทางเคมี ได้แก่ ค่าพีเอช ความแรงประจุและชนิดของประจุ สารละลายที่มีค่าพีเอชต่ำประมาณ 4 ให้ค่าความจุสูงสุดของการดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติมากที่สุด การเพิ่มความแรงประจุจาก 0 ถึง 0.1 โมลต่อลิตรโดยโซเดียมคลอไรด์ ทำให้เพิ่มค่าความจุสูงสุดของการดูดซับ ขณะที่ค่าความจุสูงสุดของการดูดซับลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มความแรงประจุจาก 0.1 ถึง 1.0 โมลต่อลิตรโดยโซเดียมคลอไรด์ ประจุคู่ของแคลเซียมที่ 0.01 โมลต่อลิตร แสดงค่าความจุสูงสุดของการดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติมากกว่าประจุเดี่ยวของโซเดียม ส่วนการเพิ่มความแรงประจุโดยแคลเซียมคลอไรด์จาก 0.05 ถึง 1.0 โมลต่อลิตร ส่งผลต่อการลดลงเล็กน้อยต่อความจุสูงสุดของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ชนิด DC 505

คำสำคัญ: การดูดซับ สารอินทรีย์ธรรมชาติ ถ่านกัมมันต์

## Abstract

Adsorption of natural organic matter (NOM) was investigated on the DC 505 granular activated carbon under a 48-hr batch test. Experimental results revealed that natural organic matter adsorption was dependent on solution chemistry (i.e. pH and ionic strength). Solutions having low pH of 4 showed the highest NOM maximum adsorption capacity. Increased ionic strength from 0 to 0.1 M NaCl increased maximum adsorption capacity, while maximum adsorption capacity slightly decreased with increasing ionic strength from 0.1 M to 1.0 M. Divalent cation (calcium ion) of 0.01 M exhibited greater NOM maximum adsorption capacity than monovalent cation (sodium ion). Increased ionic strength from 0.05 M to 1.0 M  $\text{CaCl}_2$  slightly reduced NOM maximum adsorption capacity on the DC 505 granular activated carbon.

**Keywords :** adsorption, natural organic matter, activated carbon

## คำนำ

สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter, NOM) เป็นสารละลายเจือปนอยู่ตามแหล่งน้ำธรรมชาติโดยเป็นที่เกิดจากการย่อยสลายของซากพืชที่ทับถมเป็นเวลานาน มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติและส่วนประกอบของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่แตกต่างกันไปตามลักษณะการเกิดของแหล่งกำเนิด สารอินทรีย์ธรรมชาติส่วนใหญ่ประกอบด้วย คาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน บางแหล่งกำเนิดมีไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และขึ้นอยู่กับลักษณะของแหล่งน้ำเป็นสำคัญ กระบวนการผลิตน้ำประปาในปัจจุบันใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค ซึ่งเป็นความต้องการขั้นต่ำสุดของการผลิตน้ำประปา การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนถือเป็นกระบวนการที่สำคัญในกระบวนการผลิตน้ำประปา การใช้คลอรีนฆ่าเพื่อเชื้อโรคในน้ำที่มีสารอินทรีย์ธรรมชาติทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี ทำให้เกิดสารประกอบ

ประเภทไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs) และ DBPs (Disinfection by-products) อื่นๆ ที่เป็นสารก่อมะเร็ง [1] ทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้น้ำ

กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) กระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ (Adsorption) กระบวนการนาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration, NF) กระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์เป็นวิธีการหนึ่งที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายจนถึงระดับอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นวิธีที่มีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและสะดวกในการดำเนินการ เนื่องจากถ่านกัมมันต์เป็นผลิตภัณฑ์ของคาร์บอนที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีคุณสมบัติเป็นสารดูดซับที่ดีได้ จากคุณสมบัติในการเป็นสารดูดซับนั้น จึงได้มีการนำถ่านกัมมันต์มาประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในกระบวนการผลิตน้ำประปา ทำให้การผลิตน้ำประปา

มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำและประหยัดเวลาในการดำเนินการระบบ และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพที่ดี และสามารถลดปัญหาการเกิดสารก่อมะเร็งที่อาจเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำประปาได้

การดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับนั้นขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของสารละลายและชนิดของถ่านกัมมันต์ ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติได้แก่คุณสมบัติทางเคมีของสารละลาย เช่น ค่าพีเอช ค่าความแรงประจุ และคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ เช่น ขนาดรูพรุน เป็นต้น ดังนั้นการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ โดยผลการทดสอบยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินการระบบเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปาทั้งในระดับชุมชน และกระบวนการผลิตน้ำประปาที่ใช้โดยทั่วไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ โดยการเน้นหาความเข้มข้นของสารคาร์บอนทั้งหมด (Total organic carbon, TOC) และการหาความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับโดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่นแสง 254 นาโนเมตร ( $UV_{254nm}$ ) และความเข้มข้นของสารคาร์บอนทั้งหมด ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลองได้จาก Granular Activated Coconut Shell Based Carbonเกรด DC 505 โดยผ่านการทดสอบจาก ASTM โดยถ่านกัมมันต์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดกลิ่น กำจัดสี หรือกำจัดสารอินทรีย์ในกระบวนการผลิตน้ำประปา และยังประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม เช่น การบำบัดน้ำเสีย การกำจัดโลหะหนัก เป็นต้น จากข้อมูลที่ได้จากผู้ผลิตบ่งบอกคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ ชนิด DC 505 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

คุณสมบัติ	สารตัวอย่าง DC 505
ความหนาแน่น (Apparent Density)	0.48 g/cm <sup>3</sup>
ความชื้น (Moisture)	4.9 (% W/W)
ค่าพีเอช (pH)	10.1
พื้นที่ผิว (Surface Area)	628 m <sup>2</sup> /g
ค่าไอโอดีน (Iodine value)	1202 (mg/g)
Carbon Tetrachloride Adsorption	60.1 (%W/W)

การทดลองเป็นการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง หรือการทดลองแบบแบทช์ (Batch Test) ได้ทำการทดสอบการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบท่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ โดยการทดลองถ่านกัมมันต์น้ำหนักประมาณ 1 กรัม ปริมาณน้ำตัวอย่างที่ใช้ทดลองประมาณ 70 มิลลิลิตร ในภาชนะที่มีปริมาตรประมาณ 100 มิลลิลิตร โดยปล่อยให้มีการเขย่าโดยเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (Shaking Incubator) ตลอดระยะเวลาทำการทดลองกำหนดไว้ที่ 48 ชั่วโมง ส่วนเวลาที่ใช้ทดลองแบ่งเป็นเวลาการทดลองที่หนึ่งชั่วโมง สองชั่วโมง สามชั่วโมง หกชั่วโมง สิบชั่วโมง สิบสี่ชั่วโมง สิบแปดชั่วโมง ยี่สิบสี่ชั่วโมง สามสิบชั่วโมง สามสิบหกชั่วโมง สี่สิบสองชั่วโมง และสี่สิบแปดชั่วโมง ตัวอย่างแต่ละช่วงเวลาถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดที่หลงเหลือ โดยอาศัยความสัมพันธ์ของการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร และค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในน้ำตัวอย่าง

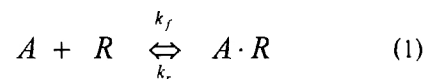
สารอินทรีย์ธรรมชาติที่ใช้ในการทดสอบได้จากการนำน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ผ่านการบำบัดเบื้องต้นด้วยการกรองแบบไมโครฟิลเตรชัน และการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกก่อนเข้ากระบวนการกรองแบบออสโมซิสย้อนกลับเพื่อแยกสารอินทรีย์ธรรมชาติให้มีความเข้มข้นสูง โดยเยื่อกรองนี้ได้จากบริษัทอีออสโมนิค ประเทศสหรัฐอเมริกาและทำจากโพลีเมอร์ชนิดโพลีเอมาสามารถให้ค่าการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติสูงมากกว่าร้อยละ 99 สารอินทรีย์ธรรมชาติเข้มข้นสูงจะถูกปรับด้วยน้ำปราศจากไอออนเพื่อให้

ได้ความเข้มข้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนการทดลองด้วยการดูดซับของถ่านกัมมันต์ชนิด DC 505

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของทฤษฎีการดูดซับ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของทฤษฎีการดูดซับ สามารถหาได้จากการที่สารละลายถูกถ่ายเทไปยังวัตถุแข็งรวมไปถึงการสะสมของสารละลายบนผิวของของแข็งปฏิกิริยาของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ สามารถเขียนได้ดังนี้



เมื่อ  $A$  เป็นตัวถูกดูดซับในน้ำตัวอย่าง  $R$  เป็นตัวดูดซับของขนาดการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการดูดซับ และ  $A \cdot R$  เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ ส่วนค่า  $k_f$  เป็นค่าอัตราปฏิกิริยาการดูดซับหรืออัตราปฏิกิริยาการดูดซับไปข้างหน้าของพารามิเตอร์มีหน่วยเป็น (ลิตรต่อมิลลิกรัมต่อชั่วโมง)  $k_r$  เป็นค่าอัตราปฏิกิริยาการคายการดูดซับหรืออัตราปฏิกิริยาการดูดซับย้อนกลับของพารามิเตอร์มีหน่วยเป็น (ต่อชั่วโมง) จากสมการ (1) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{dq}{dt} = k_f C_e (q_{\max} - q) - k_r q \quad (2)$$

เมื่อ  $q$  เป็นปริมาณการดูดซับของสารต่อปริมาณของแข็ง มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม หรือ มิลต่อกรัม ค่า  $q_{\max}$  เป็นปริมาณการดูดซับของสารต่อปริมาณของแข็งที่สภาวะสมดุลหรือค่าความจุ

สูงสุดการดูดซับมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม หรือ โมลต่อกรัม  $C_e$  เป็นความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ สูงที่สุดในสารละลายมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร หรือโมลต่อลิตร  $t$  เป็นเวลาในการทดลอง มีหน่วยเป็นชั่วโมง การแก้สมการเชิงตัวเลขโดยวิธี Runge-Kutta สามารถหาค่าความจุสูงสุดของการดูดซับ ( $q_{max}$ ) และค่าคงที่การดูดซับ หรืออัตราส่วนของ อัตราปฏิกิริยาการดูดซับต่ออัตราปฏิกิริยาการคาย การดูดซับสารดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติกับ ถ่านกัมมันต์ ( $b = k_f/k_r$ ) โดยการทำให้ค่า Sum squared error (SSE) มีค่าน้อยที่สุด

ค่า Sum squared error (SSE) สามารถเขียน ได้ดังนี้

$$SSE = \sum_{i=1}^N (q_{measured} - q_{model})^2 \quad (3)$$

จากการทดลองแบบแบทช์ (Batch process)

ที่สภาวะสมดุล ( $\frac{dq}{dt} = 0$ ) สมการลดรูป

เป็น 
$$\frac{dq}{dt} = 0 = k_f C_e (q_{max} - q) - k_r q$$

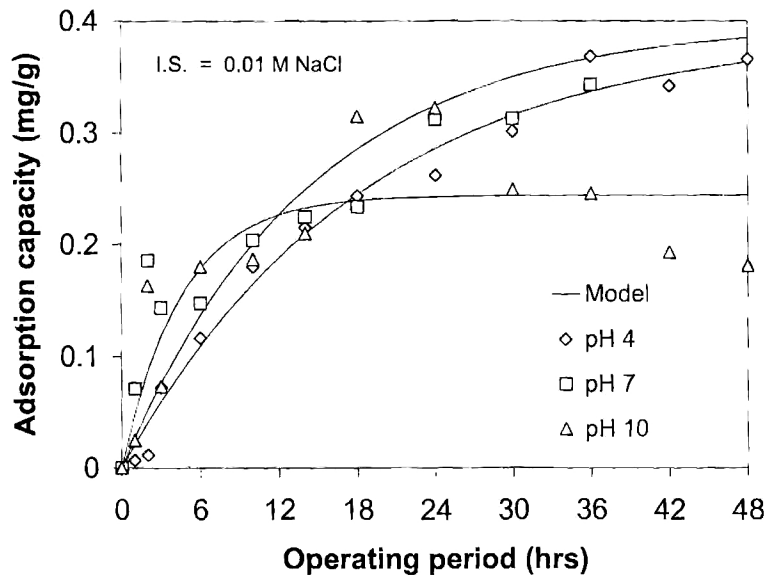
จัดรูปสมการใหม่จะได้

$$q = \frac{\frac{k_f}{k_r} q_{max} C_e}{1 + \frac{k_f}{k_r} C_e} = \frac{q_{max} b C_e}{1 + b C_e} \quad (4)$$

เป็นสมการในรูปไอโซเทอมแบบแลงเมียร์

ผลของค่าพีเอชต่อการดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

ค่าความเป็นกรด-ด่างหรือค่าพีเอชของ สารละลายสามารถส่งผลกระทบต่อ การดูดซับของ สารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ [2] การทดสอบ ผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์ ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ โดยใช้สารละลายที่มีความ เข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติประมาณ 10 มิลลิกรัม ต่อลิตร และปรับค่าความแรงประจุเป็น 0.01 โมลต่อ ลิตร ด้วยโซเดียมคลอไรด์ โดยการแปรค่าพีเอชที่ 4, 7 และ 10 รูปที่ 1 แสดงผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อการ ดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ ชนิด DC 505 ที่ความแรงประจุ 0.01 โมลต่อลิตร ผลการ ทดสอบพบว่า การดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ค่า พีเอชเท่ากับ 4 มีการดูดซับหรือมีค่าความจุสูงสุดของ การดูดซับที่ดีกว่าที่ค่าพีเอช 7 และค่าพีเอช 10 แสดงว่าการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าพีเอชมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Bjelopavlic *et al.* (1999) [2] จากการทดสอบที่ค่า พีเอชต่ำหรือที่ค่าพีเอช 4 ซึ่งมีปริมาณของไฮโดรเจน ไอออนในน้ำตัวอย่างมีปริมาณที่สูงกว่าที่ค่าพีเอชสูง หรือที่ค่าพีเอช 7 และค่าพีเอช 10 การลดลงของค่า พีเอชหรือการเพิ่มปริมาณของไฮโดรเจนไอออนใน น้ำทำให้ความสามารถในการละลายได้ของสารอินทรีย์ ลดลงและทำให้สารอินทรีย์ธรรมชาติถูกดูดซับบน ถ่านกัมมันต์ได้ดีขึ้น [3] การดูดซับสารอินทรีย์ ธรรมชาติในการศึกษาผลของการแปรค่าพีเอชที่มีผล ต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ ชนิด DC 505

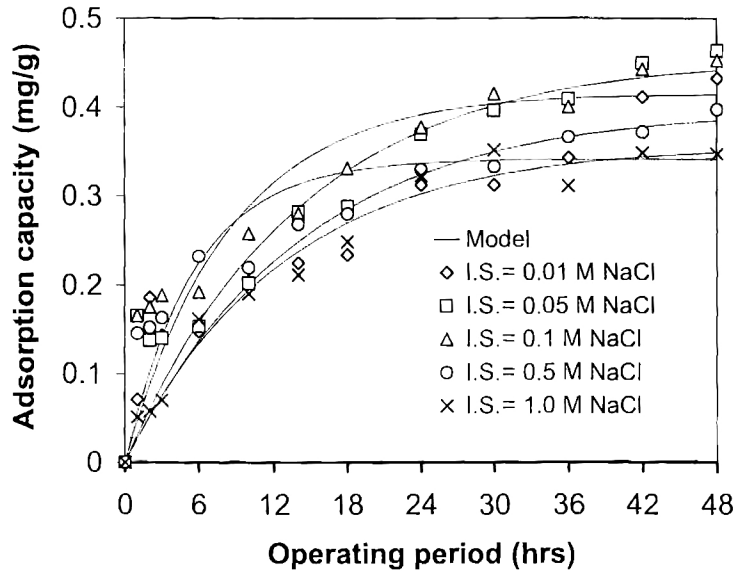
จากผลการทดสอบการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ จากผลของค่าพีเอชที่ค่าความแรงประจุ 0.01 โมลต่อลิตร พบว่า ค่าความจุสูงสุดของการดูดซับมีค่ามากที่สุดที่ค่าพีเอชต่ำ โดยที่ค่าพีเอช 4, 7 และ 10 มีค่าความจุสูงสุดของการดูดซับเท่ากับ 0.3585, 0.3381 และ 0.2170 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการดูดซับจะเพิ่มขึ้นที่ค่าพีเอชต่ำ ค่าคงที่การดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ค่าพีเอชสูงมีค่ามากกว่าที่ค่าพีเอชต่ำและมีทิศทางตรงข้ามกับค่าความจุสูงสุดของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ค่าพีเอชต่ำที่มีค่าความจุสูงสุดของการดูดซับที่สูง

**ผลของความแรงประจุต่อการดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติ**

ผลของประจุเดี่ยว (Monovalent cation)

ความแรงประจุของสารละลายจะขึ้นอยู่กับปริมาณหรือความเข้มข้นของประจุทั้งหมด

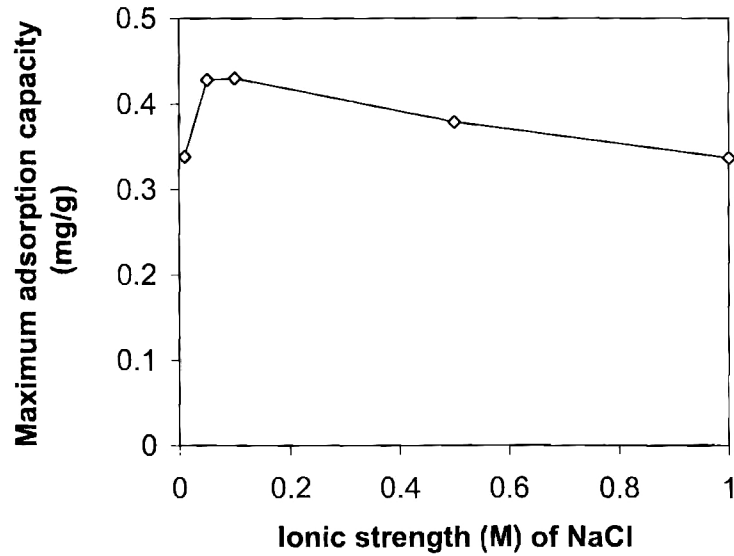
ที่ปรากฏอยู่ในสารละลายนั้นตามสมการนี้ ( $I.S. = \frac{1}{2} \sum Z_i [i]^2$ ) โดยที่ความเข้มข้นของประจุมิค่ามากจะทำให้มีความแรงของประจุสูง ถ้าความเข้มข้นของประจุมิค่าน้อยก็ทำให้ค่าความแรงของประจุมิค่าต่ำด้วย จากการทดสอบโดยใช้สารโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ปรับความแรงประจุจาก 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 โมลต่อลิตร สารละลายถูกเตรียมด้วยความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับค่าพีเอชเท่ากับ 7 รูปที่ 2 แสดงความแรงประจุเดี่ยวต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ชนิด DC 505 จากรูปกราฟเส้นแสดงผลจากการทดสอบกับแบบจำลองการดูดซับของไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ ส่วนจุดเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลอง จากผลการทดสอบพบว่า การดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติเกิดจากผลของความแรงประจุ โดยการเพิ่มความแรงประจุจาก 0.01 ถึง 0.1 โมลต่อลิตร



รูปที่ 2 ความแรงประจุเดี่ยวต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ชนิด DC 505

ส่งผลให้เพิ่มค่าความจุสูงสุดของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติสูงสุดบนถ่านกัมมันต์ชนิด DC 505 การทดสอบให้ผลที่สอดคล้องกับการศึกษาของ Newcombe and Drikas (1997) [4] และ Bjelopavlic *et al.* (1999) [2] ที่ศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์โดยศึกษาผลของแรงไฟฟ้าสถิตและผลที่ไม่ใช่แรงจากไฟฟ้าสถิตพบว่าความจุสูงสุดของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มค่าความแรงประจุโดยการทำปฏิกิริยาระหว่างประจุบวกโซเดียมที่เกิดจากการเติมเกลือลงในน้ำและประจุลบจากสารอินทรีย์ธรรมชาติทำให้สามารถดูดซับได้ดีบนผิวของถ่านกัมมันต์ รูปที่ 3 แสดงความแรงประจุเดี่ยวต่อความจุสูงสุดของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ จากกราฟผลจากการเพิ่มค่าความแรง

ประจุจาก 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 โมลต่อลิตร ส่งผลต่อค่าความจุสูงสุดของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติเท่ากับ 0.3381, 0.4278, 0.4297, 0.3786 และ 0.3363 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ผลการทดสอบยังพบว่าค่าความจุสูงสุดของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติมีค่าลดลงจากการเพิ่มค่าความแรงของประจุถึง 1 โมลต่อลิตร การเพิ่มค่าความแรงของประจุอาจส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์อาจเนื่องจากพื้นที่การดูดซับบนถ่านกัมมันต์มีประจุบวกของโซเดียมในปริมาณมากอาจส่งผลต่อการรวมตัวของประจุบวกโซเดียมและประจุลบจากสารอินทรีย์ธรรมชาติต่อการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ซึ่งมีพื้นที่จำกัดเป็นผลทำให้ถ่านกัมมันต์ ชนิด DC 505 สามารถดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติได้น้อยลงและส่งผล



รูปที่ 3 ความแรงประจุเดี่ยวต่อความจุสูงสุดของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์

ทำให้ความจุสูงสุดของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติมีค่าน้อยลง ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลกับการจำลองการดูดซับแบบแลงเมียร์ นอกจากนี้ผลการทดสอบยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Bjelopavlic *et al.* [2] ที่พบว่า การเพิ่มขึ้นของเกลือไอออนหรือค่าความแรงประจุมีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงที่ค่าความแรงประจุสูงจะเกิดการดูดซับที่น้อยกว่าค่าที่ความแรงประจุน้อย นอกจากนี้กลไกการดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติเป็นผลจากการแปรผันปัจจัยที่ประกอบด้วยแรงไฟฟ้าสถิตเนื่องจากประจุการกระจายตัวของความจุรูพรุน ปฏิกริยาทางเคมีระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติและพื้นผิวถ่านกัมมันต์ [2]

#### ผลของประจุคู่ (Divalent cation)

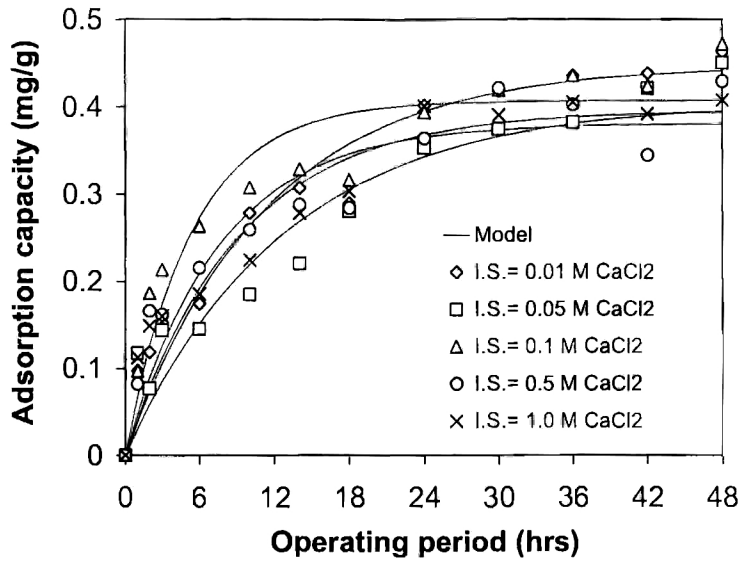
รูปที่ 4 แสดงความแรงประจุคู่ต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ ชนิด DC 505 โดยใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์

ธรรมชาติ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าพีเอชเท่ากับ 7 โดยแปรค่าความแรงประจุเป็น 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 โมลต่อลิตร ปรับด้วยเกลือแคลเซียมคลอไรด์ จากการทดสอบพบว่าที่ค่าความแรงประจุเพิ่มขึ้นจะมีผลกระทบน้อยมากต่อค่าความจุสูงสุดของการดูดซับหรือความจุสูงสุดของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อความแรงประจุเพิ่มมากขึ้น จากการศึกษาของนักวิจัยที่ผ่านมาพบว่าผลของเกลือแคลเซียมในการดูดซับของกรดฟุลวิกมาจากแหล่งต่างๆ พบว่าการดูดซับของกรดฟุลวิกขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น อัตราร้อยละการกำจัดของกรดฟุลวิกและผลของปฏิกริยาทางฟิสิกส์ทางเคมีของ Fulvic acid-Ca(II) รวมทั้งการเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟุลวิก เป็นต้น และหลังจากการเพิ่มขึ้นของ Ca(II) ที่ 1.0-1.5 มิลลิโมลต่อลิตร พบว่าจะไม่ส่งผลต่อการเพิ่มการดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

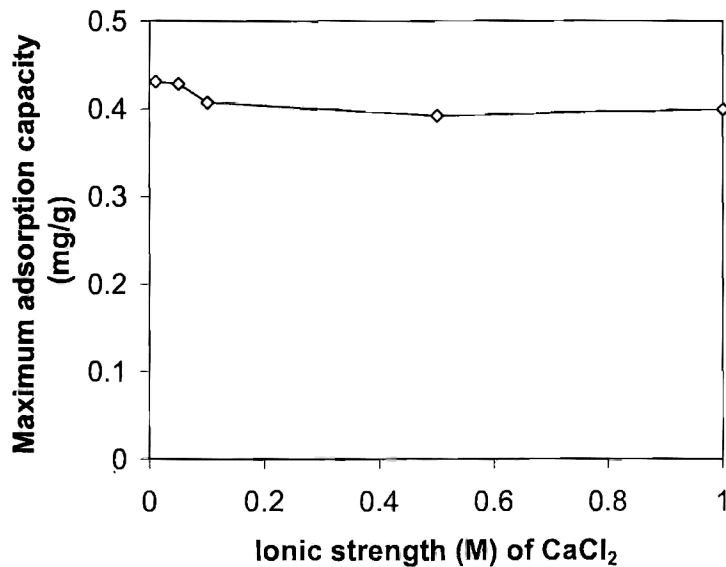


[5, 6] รูปที่ 5 แสดงความแรงประจุก่อต่อความจุสูงสุดของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ โดยกราฟแสดงถึงการทดสอบผลรวมของเกลือ

อนินทรีย์หรือค่าความแรงประจุของไอออนที่มีประจุมากกว่าบวกหนึ่ง จากผลการทดลองพบว่าที่ค่าความแรงประจุ 0.01 โมลต่อลิตร ของแคลเซียมคลอไรด์



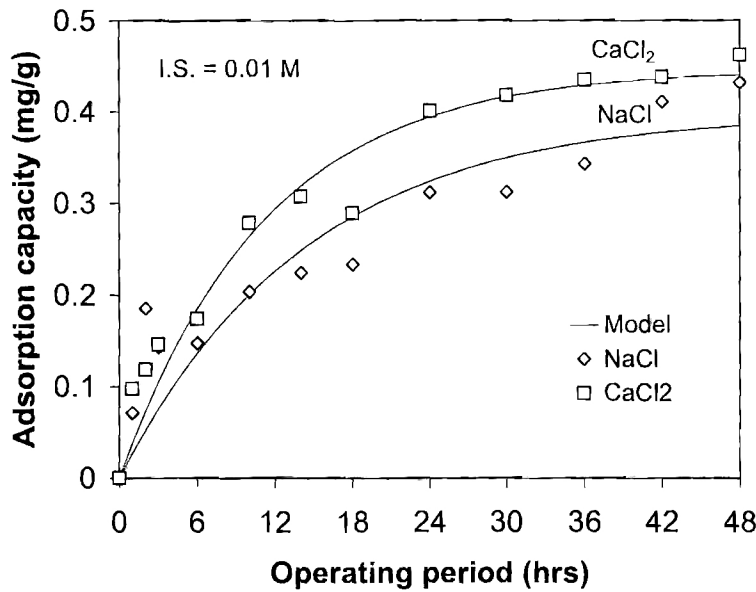
รูปที่ 4 ความแรงประจุก่อต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ ชนิด DC 505



รูปที่ 5 ความแรงประจุก่อต่อความจุสูงสุดของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์

มีค่าความจุสูงสุดของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ ดีที่สุดและมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.4311 มิลลิกรัมต่อกรัมมากกว่าผลการทดสอบโดยใช้ประจุเดี่ยว และที่ค่าความแรงประจุ 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 โมลต่อลิตร มีค่าลดลงเท่ากับ 0.4286, 0.4069, 0.3921 และ 0.3990 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ โดยสังเกตว่าที่ความแรงประจุสูง (1 M) ค่าความจุสูงสุดของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติของประจุคู่ให้ค่ามากกว่าความจุสูงสุดของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติของประจุเดี่ยว รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบประจุเดี่ยวและ

ประจุคู่ต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ จากกราฟพบว่าการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติของประจุคู่ให้ค่าสูงกว่าประจุเดี่ยวที่ความแรงประจุเท่ากับที่ 0.01 M อาจเนื่องจากความสามารถแรงผลักระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยการจับตัวของประจุคู่แคลเซียม (สองบวก) และประจุลบของสารอินทรีย์ธรรมชาติมีประสิทธิภาพสูงกว่าประจุเดี่ยว (หนึ่งบวก) ส่งผลต่อการเพิ่มความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ชนิด DC 505 สูงขึ้น



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบประจุเดี่ยวและประจุคู่ต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์

สรุป

การศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ โดยถ่านกัมมันต์ชนิด DC 505 การทดสอบแบบ

แบบทซ์ขึ้นอยู่กัผลของสารละลายทางเคมี ได้แก่ ฟิเอช ค่าความแรงประจุและชนิดของประจุ จากการศึกษาผลของค่าฟิเอชพบว่าเมื่อสารละลายมีค่าฟิเอชต่ำส่งผลให้การดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบน

ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับมากกว่า เมื่อสารละลายมีค่าพีเอชสูง ที่ค่าพีเอชต่ำทำให้ปริมาณของไฮโดรเจนไอออนในน้ำเพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการละลายได้ของสารอินทรีย์ธรรมชาติลดลง [3] และเกิดการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ได้ดียิ่งขึ้น การเพิ่มขึ้นของค่าความแรงประจุสูงหรือการเพิ่มขึ้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้นตามด้วย โดยพบว่าที่ค่าความแรงประจุ 0.1 โมลต่อลิตร ให้ค่าความจุสูงสุดของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่สูง อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความแรงประจุส่งผลทำให้ค่าความจุสูงสุดของการดูดซับลดต่ำลงที่ 1 โมลต่อลิตร ส่วนการเพิ่มความแรงประจুবวกโดยแคลเซียมคลอไรด์ส่งผลน้อยมากต่อค่าความจุสูงสุดของการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ชนิด DC 505 โดยที่ความแรงประจุเท่ากับ 0.01 โมลต่อลิตร (ค่าต่ำที่สุดในการทดสอบ) ให้ค่าความจุสูงสุดของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่สูง จากการทดลองพบว่าค่าความจุสูงสุดของประจุสองบวกแคลเซียมให้ค่ามากกว่าผลการทดสอบที่เกิดจากประจุเดี่ยวโซเดียม อาจเนื่องจากความสามารถในการจับตัวของประจุสองบวกแคลเซียมสามารถลดแรงผลักของสารอินทรีย์ธรรมชาติได้ดีกว่าประจุหนึ่งบวกที่เกิดจากโซเดียม

#### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] มั่นสิน ดัชนีกุลเวศม์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] Bjelopavlic, M., Newcombe, G. and Hayes, R. 1999. Adsorption of NOM onto Activated Carbon: Effect of Surface Charge, Ionic Strength, and Pore Volume Distribution, *J. Colloid Interface Sci.*, 210, 271-280.
- [3] McCreary, J.J. and Snoeyink, V.L. 1980. Characterization and Activated Carbon Adsorption of Several Humic Substances, *Water Res.*, 14, 151-160.
- [4] Newcombe, G. and Drikas, M. 1997. Adsorption of NOM onto Activated Carbon: Electrostatic and Non-Electrostatic Effects, *Carbon*, 35(9), 1239-1250.
- [5] Li, F., Yuasa, A., Ebio, K., Azuma, Y., Hagishita, T. and Mataui, Y. 2002. Factors Affecting the Adsorption Capacity of Dissolved Organic Matter onto Activated Carbon: Modified Isotherm Analysis, *Water Res.*, 36: 4529-4604.
- [6] Randtke, S.J. and Jepsen C.P. 1982. Effects of Salt on Activated Carbon Adsorption of Fulvic Acids, *J Am. Water Works Assoc.*, 74: 84-93.