



การดูดซับสีย้อมพ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจาก ถ่านหินและกระ吝ะพร้าว

Adsorption of Direct-dye by Activated Carbon Prepared from
Coal and Coconut Shell

กิติโรจน์ หวานทาหลา¹ ชยาภาส ทับทอง² สินศุภा จุ้ยจุลเจน²
Kitirote Hwantahla¹ Chayaphas Tapthong² Sinsupha Chuichulcherm²

บทคัดย่อ

การศึกษาการดูดซับสีย้อม โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินที่นำเข้ามาจากประเทศอเมริกา และจากกระ吝ะพร้าวที่ผลิตได้ในประเทศไทย โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับได้แก่เวลาเข้าสู่สมดุล ปริมาณถ่านกัมมันต์ ปริมาณสีย้อมเริ่มต้น ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายสีย้อมเริ่มต้น การปรับสภาพด้วยเกลือแแกง ขนาดของถ่านกัมมันต์ เพื่อเบรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด พบร่ว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินมีอัตราเร็วของการดูดซับสูงกว่า และเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ความสามารถในการดูดซับยังมีค่าสูงขึ้น ส่วนการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสีย้อมพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นจนมีค่าคงที่ค่าหนึ่ง แม้เพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมความสามารถในการดูดซับไม่เพิ่มขึ้นตาม นอกจากนี้ยังพบว่าความสามารถในการดูดซับดีที่สารละลายสีมีค่าเป็นกรดอ่อนขนาดของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดที่อยู่ในช่วง 125 – 150 ไมโครเมตร เหมาะสมกับการดูดซับสีย้อมแบบจำลองของการดูดซับโดยทฤษฎีของแรงเมียร์สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดี ซึ่งคำนวนค่าการดูดซับสูงสุดของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินและกระ吝ะพร้าวได้เท่ากับ 222.22 และ 158.73 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ เมื่อใช้เกลือแแกงในการปรับสภาพถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกระ吝ะพร้าวจะทำให้ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินในสภาวะที่ดูดซับที่เหมาะสม ดังนั้นสามารถที่จะใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกระ吝ะพร้าวในการดูดซับสีย้อมทดสอบถ่านกัมมันต์จากถ่านหินได้ ถึงแม้ว่าอัตราการดูดซับจะช้ากว่าเล็กน้อย

คำสำคัญ : การดูดซับสี ลีไดเร็ก ถ่านกัมมันต์

Keywords : Direct-dye adsorption, Direct-dye, Activated carbon

¹ นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

¹ Scientist, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakarinwirot University

² Assist.Prof., Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakarinwirot University



ABSTRACT

This work studied the adsorption capability of direct-dye on activated carbons which were prepared from coal produced in USA and from coconut shell produced in Thailand. The extent of adsorption was studies as a function of equilibrium time, amount of activated carbon, initial concentration of direct-dye, pH value of solution, activating agent and adsorbent size. These factors were varied to understand the adsorption capability between activated carbons from the two sources. It was found that activated carbon from coal had higher adsorption rate than activated carbon from coconut shell. The ability of adsorption was varied by an increasing amount of activated carbon. Likewise, it was also varied by the concentration of direct-dye. However, the ability of adsorption was constant at the certain concentration of direct-dye. The study showed that high ability of adsorption could be reached at mild acid conditions. Both activated carbons had shown similar results in optimum adsorbent size which was recommended between 125–150 micrometers to deliver the optimized adsorption capability. The adsorption process conformed to the Langmuir Isotherm. The maximum adsorption,, by the calculation, was 222.22 and 158.73 mg g⁻¹ of activated carbon from coal and coconut shell respectively. However, from the experiment, when activated agent, NaCl, was used to simulate activated carbon from coconut shell, the maximum adsorption from both sources was comparable under appropriate conditions. Therefore, activated carbon from coal could be substituted by activated carbon from coconut shell. Even though adsorption rate of activated carbon from coconut shell was slightly lower than activated carbon from coal.

บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมประมงสิ่งทอใน
โครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP)
เป็นแหล่งที่มีน้ำเสียที่มีสีข้อมเป็นส่วนประกอบ
ส่วนใหญ่ ซึ่งไม่สามารถทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ
ได้โดยตรงจะต้องมีการบำบัดน้ำเสียก่อน และ
การใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับสีข้อม [1,2]
เป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดสีข้อม การวิจัย
ครั้งนี้จะเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับ
สีข้อมของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหิน นำเข้า^{มา}
จากต่างประเทศ (เพนซิวานี亚, สหรัฐอเมริกา)
กับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ภายในประเทศไทย

ทำมาจากการละเพร้าว โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมด้วยถ่านกัมมันต์ ดังต่อไปนี้ ผลของเวลาที่เข้าสู่สมดุล ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อการดูดซับสีย้อม [3] ผลของปริมาณสีย้อม ผลของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสีย้อม [4] ผลของการกระตุ้นด้วยเกลือแร่ [1] ผลของขนาดของถ่านกัมมันต์ สุดท้ายศึกษาแบบจำลองของการดูดซับที่อุณหภูมิกึ่งที่ ผลจากการวิจัยอาจจะเป็นทางเลือกหนึ่งต่อการลดค่าใช้จ่ายของวัสดุดิบใน การลดต้นทุนในการบำบัดสีย้อมจากน้ำทึ้ง



วิธีการวิจัย

สารคณิต

สี่ยบ้มผ้าชนิดไดเรกท์ สีเหลือง บริษัท
พรเทพพนเมพัฒนา, ประเทศไทย ถ่านกัมมันต์
ชนิดผงที่ทำมาจากการผลิตพลังงาน บริษัท
แบซิฟิกคอนเทนเนอร์แบล็ค, ประเทศไทย
ถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ทำจาก ถ่านหิน Calgan
Carbon Corporation Pittsburgh,
Pennsylvania 15230, USA. เกลือสมุทร
บริษัท ร่วงอรุณเกลือป่น, ประเทศไทย

การวิเคราะห์

วัดปริมาณสีย้อม สีเหลือง โดยใช้เครื่องมือ UV - Visible Spectrophotometer รุ่น UV-1601 Shimazu ประเทศญี่ปุ่น การทดลองทั้งหมดทำในแบบง่าย

ผลการวิจัย

เวลาเข้าสู่สมุด

การศึกษาเวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับสีเหลือง ของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดโดยใช้ผงถ่านหนัก 0.5 กรัม ขนาด 150 - 180 ไมโครเมตร ความเข้มข้นเริ่มต้น 250 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 200 รอบ/นาที เก็บตัวอย่างตามเวลาที่ได้กำหนด และนำไปวัดหาค่าการดูดกลืน นุสก์ที่ความยาวคลื่น 463 นาโนเมตร ผลที่ได้

แสดงดังรูปที่ ๑ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหิน
จะเข้าสู่สภาวะสมดุลที่เวลา ๑๒๐ นาที
ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกลามะพร้าว
จะเข้าสู่สภาวะสมดุลที่เวลา ๒๔๐ นาที ผลที่ได้
พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินสามารถ
ดูดซับสีย้อม ได้เร็วกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจาก
กลามะพร้าว แต่ในสภาวะสมดุล ความสามารถ
ในการดูดซับสีของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด
ใกล้เคียงกัน

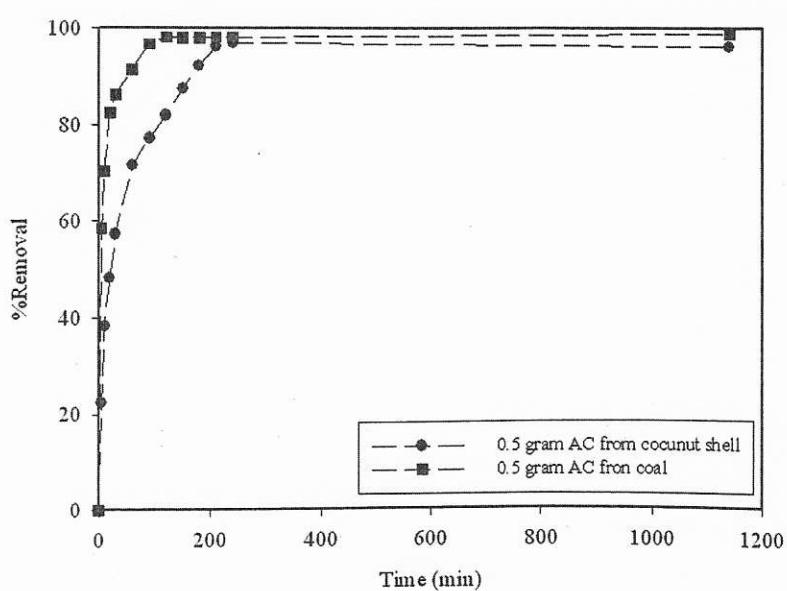


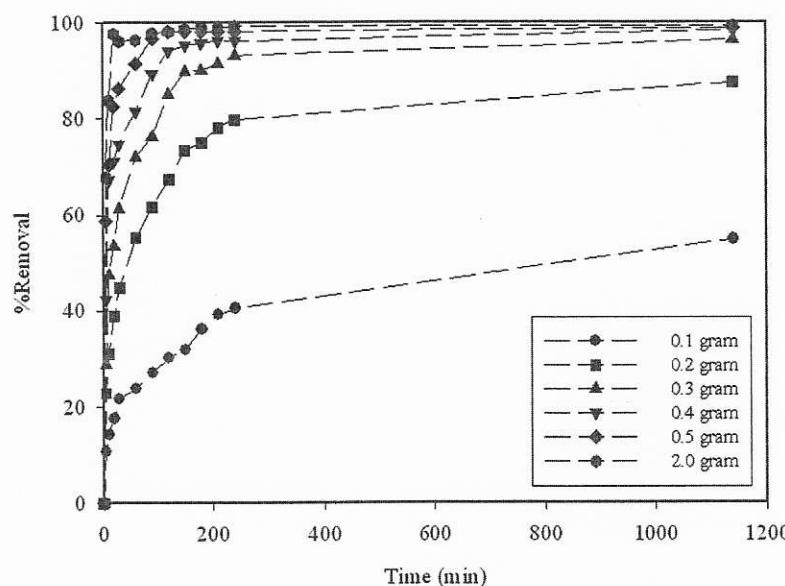
Figure 1 เวลาเข้าสู่สมดุลในการดูดซับลิ่ย้อม สีเหลือง



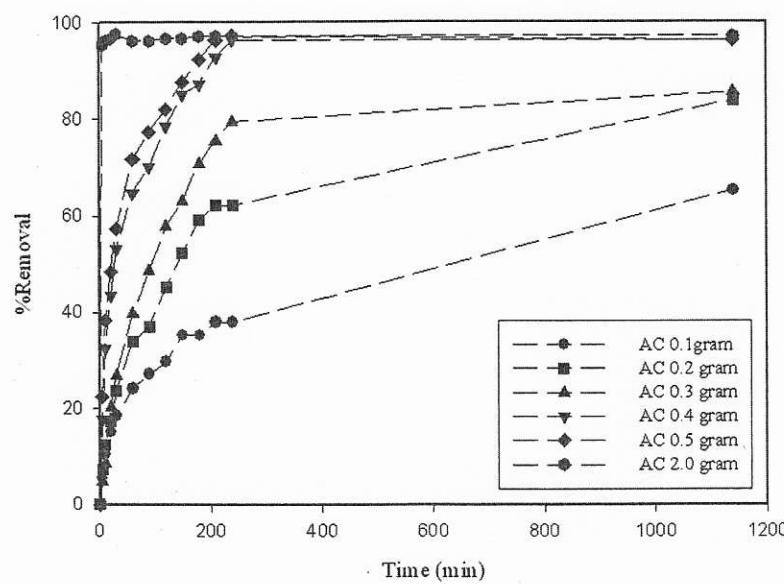
ปริมาณถ่านกัมมันต์

การศึกษาผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อการดูดซับสีข้อม โดยการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของถ่านกัมมันต์เป็น 0.1 – 2.0 กรัม ขนาด 150 – 180 ไมโครเมตร ความเข้มข้นเริ่มต้น 250 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 200 รอบ/นาที เก็บตัวอย่างตามเวลาที่ได้กำหนด และนำไปวัดหาค่าการดูดกลืน แสงที่ความยาวคลื่น 463 นาโนเมตร พบร่วง

เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ ความสามารถในการดูดซับสีข้อมเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Kannan and Sundaram [3] ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินสามารถดูดซับสีข้อมได้เร็วกว่า แต่ ณ สภาพสมดุลความสามารถในการดูดซับสีข้อมได้ใกล้เคียงกัน และที่ใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ปริมาณน้อยๆ พบร่วงอัตราเร็วในการดูดซับจะใกล้เคียงกันของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด (Figure 2)



(ก)



(ข)

Figure 2 ผลการจำจัดสีเมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ผลิตจากถ่านหิน
(ก) อะลามะพร้าว (ข) ใน การดูดซับสีเหลืองที่ปริมาณต่างๆ กัน



ปริมาณสีเหลือง

การศึกษาผลของปริมาณสีเหลืองเริ่มต้นโดยใช้ถ่านกัมมันต์หนัก 0.3 กรัม ขนาด 150-180 ไมโครเมตรโดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสีเหลืองเริ่มต้นประมาณ 250-400 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 200 รอบ/นาที เก็บตัวอย่างที่สภาวะสมดุล และนำไปวัดหาค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 463 นาโนเมตร ได้ผลดังแสดงดังรูปที่ 3 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสีเหลือง ความสามารถในการ

ดูดซับของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดยิ่งเพิ่มขึ้นแต่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มสูงกว่า 392.26 มิลลิกรัม/ลิตร ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินจะมีความสามารถในการดูดซับคงที่ แม้มีการเพิ่มความเข้มข้นของสีเหลือง แต่ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินจะมีความสามารถในการดูดซับสีเหลืองเพิ่มขึ้นกว่าถ่านกัมมันต์ทั้งสองมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

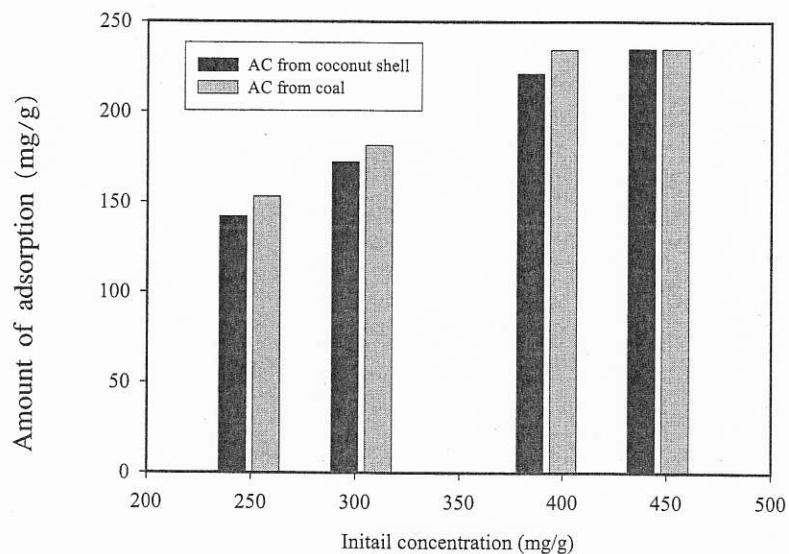


Figure 3 ผลของปริมาณสีเริ่มต้นต่อการดูดซับสีเหลือง

ความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย

การศึกษาผลของ pH ของสารละลายเริ่มต้น โดยใช้ถ่านกัมมันต์หนัก 0.3 กรัม ขนาด 150 - 180 ไมโครเมตร โดยเปลี่ยนแปลง pH เริ่มต้นของสารละลายตั้งแต่ 3.0 5.0 7.0 และ 9.0 ความเข้มข้นสีเหลืองเริ่มต้น 250 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 200 รอบ/นาที เก็บตัวอย่างที่สภาวะสมดุล และนำไปวัดหาค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 463 นาโนเมตร ได้ผลดังแสดงดังรูปที่ 4 พบร่วมกันความเป็นกรด-ด่างของสารละลายมีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด ซึ่งมีผลไปในทิศทางเดียวกันคือ

สามารถดูดซับสีได้สูงสุดที่ pH 5.0 และดูดซับได้ที่สภาวะของสารละลายที่เป็นกรดได้มากกว่าสภาวะของสารละลายที่เป็นกลางหรือเป็นด่างซึ่งเป็นไปตามงานวิจัยของ Mohan and Karthikeyan [4] ความเป็นกรด - ด่างของสารละลายที่สภาวะสมดุลจะมีค่าเข้าสู่สภาวะที่เป็นกรดอ่อน คือที่ pH 5.0 - 6.0 เมื่อสารละลายเริ่มต้นมี pH 5.0 และ 7.0 ส่วนสารละลายเริ่มต้นที่มี pH 3.0 และ 9.0 จะให้สภาวะสมดุล pH ที่ 4.0 - 5.0 และ 7.0 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองนี้เป็นไปในทางเดียวกันในถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด

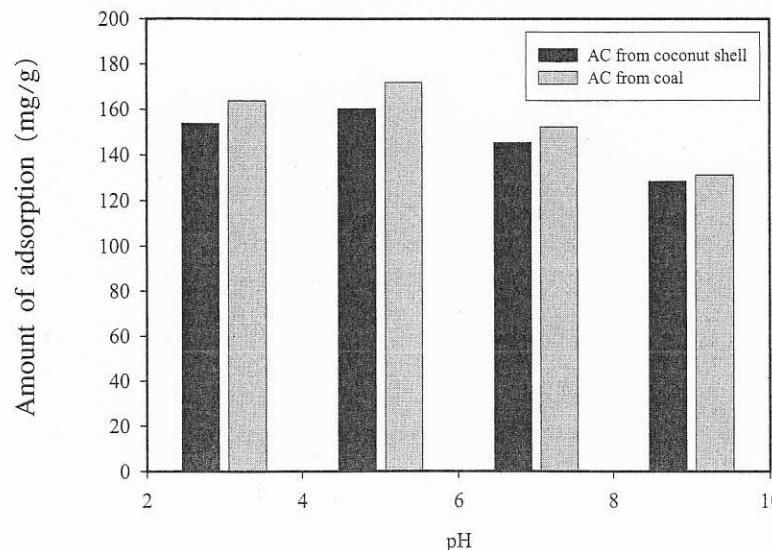


Figure 4 ผลของ pH ต่อการดูดซับสีขุ่น พ้าด้วยถ่าน

การกระตุ้นด้วยเกลือแร่

การศึกษาผลของการปรับสภาพด้วยเกลือแร่ โดยเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของเกลือแร่ เป็น 0 5 10 และ 15 กรัม ใช้ถ่านกัมมันต์หนัก 0.3 กรัม ขนาด 150 – 180 ไมโครเมตร ความเข้มข้นสีขุ่นเริ่มต้น 250 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 200 รอบ/นาที เก็บตัวอย่างที่สภาวะสมดุล และนำไปวัดหาค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 463 นาโนเมตร ได้ผลดังแสดงได้ในรูปที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบการดูดซับที่ปรับสภาพถ่านกัมมันต์ด้วยเกลือแร่กับไม่ปรับสภาพ พบว่าความสามารถ

ในการดูดซับสีสูงขึ้น เมื่อปริมาณเกลือแร่สูงขึ้น เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด แต่จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกลามะพร้าวเมื่อทำการปรับสภาพด้วยเกลือแร่แล้ว ความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้นจนใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหิน ความสามารถในการดูดซับสูงขึ้นเมื่อปรับสภาพด้วยเกลือแร่ อาจเนื่องจากทำให้ความสามารถแตกตัวของประจุของสีส่องผลให้สารละลายสีมีข้อแรเงาขึ้น จึงทำให้ถ่านกัมมันต์ดูดซับได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณของเกลือแร่ที่เพิ่มขึ้นจะไม่เพิ่มความสามารถในการดูดซับได้อีก

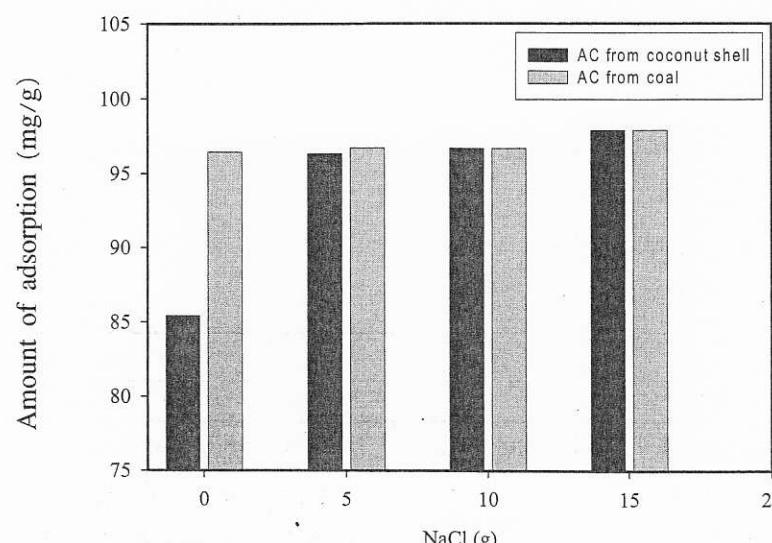


Figure 5 ผลของปริมาณเกลือต่อการดูดซับสีขุ่น พ้าด้วยถ่าน



ขนาดของถ่านกัมมันต์

การศึกษาผลของขนาดของถ่านกัมมันต์ โดยเปลี่ยนแปลงขนาด 75–250 ไมโครเมตร ใช้ถ่านกัมมันต์หนัก 0.3 กรัม ความเข้มข้น สีเหลืองเริ่มต้น 250 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 200 รอบ/นาที เก็บตัวอย่างที่สภาวะสมดุล และนำไปวัดหาค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 463 นาโนเมตร ได้ผลดังแสดงได้ในรูปที่ 6 ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินมีความสามารถในการดูดซับที่ใกล้เคียงกันที่มีขนาดตั้งแต่ 75–150 ไมโครเมตร แต่เมื่อขนาดของถ่านกัมมันต์ใหญ่ขึ้นความสามารถในการดูดซับสีเหลืองลดลง

การดูดซับลดลง ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากมะพร้าวขนาดที่สามารถดูดซับได้สูงสุดคือขนาด 125 – 150 ไมโครเมตร ส่วนขนาดของถ่านกัมมันต์ที่ใหญ่ขึ้นความสามารถในการดูดซับลดลง เป็นเพราะเมื่อถ่านกัมมันต์มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดใหญ่และขนาดครูพุนของถ่านกัมมันต์มีผลต่อการดูดซับด้วย ทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากมะพร้าวขนาดของถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดเล็กที่สุดความสามารถในการดูดซับต่างกว่าขนาด 125–150 ไมโครเมตร

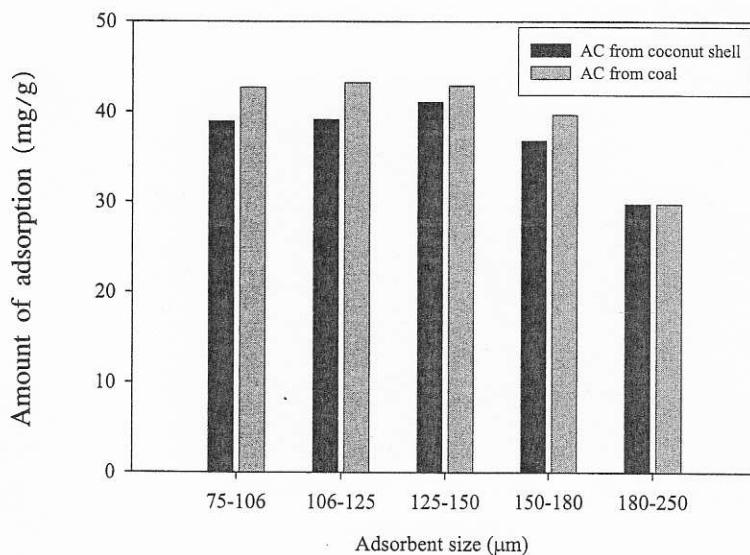


Figure 6 ผลของขนาดของถ่านกัมมันต์ ต่อการดูดซับสีเหลือง สีเหลือง

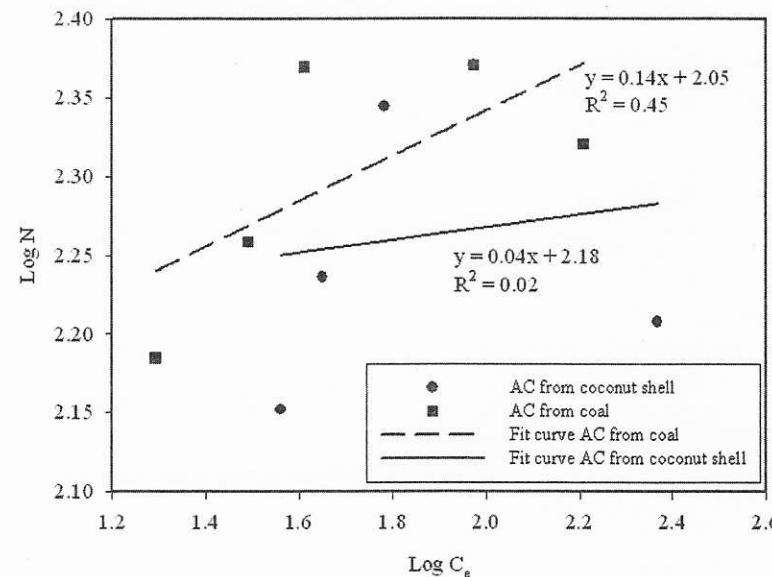
แบบจำลองการดูดซับ

การศึกษาแบบจำลองของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด ขนาดของถ่านกัมมันต์ 150 – 180 ไมโครเมตร ใช้ถ่านกัมมันต์หนัก 0.3 กรัม ความเข้มข้นสีเหลืองเริ่มต้น 250 – 475 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 200 รอบ/นาที เก็บตัวอย่างที่สภาวะสมดุล และนำไปวัดหาค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 463 นาโนเมตร ได้ผลดังแสดงตามตารางที่ 1 การดูดซับสีเหลืองของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด สามารถอธิบายได้ตามทฤษฎีของแลงเมียร์ [5] ซึ่งเป็นการดูดซับสีแบบชั้นเดียว

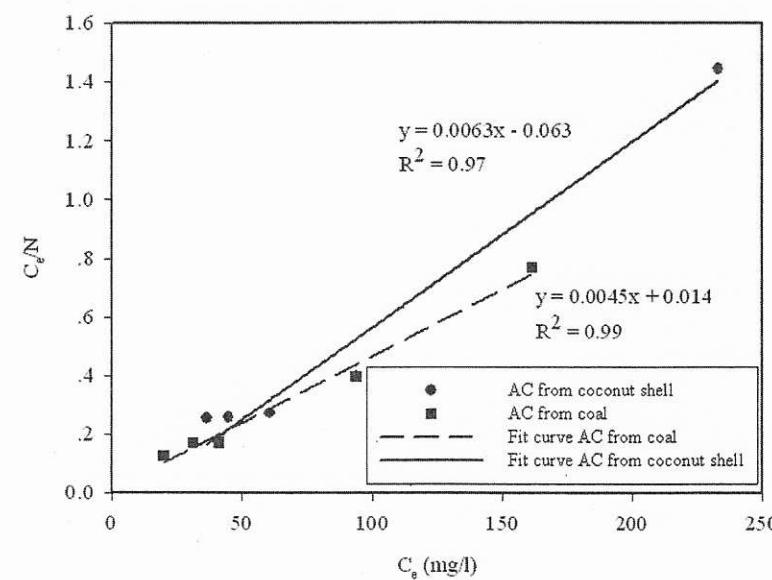
(mono layer) แสดงในรูปที่ 7 ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินมีค่าความสามารถดูดซับสีเหลืองสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากมะพร้าวคือ 222.22 มิลลิกรัม/กรัม และ 158.73 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ แต่เนื่องจากการศึกษาแบบจำลองของการดูดซับไม่ได้ทำที่สภาวะที่ดีที่สุดของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด เช่น การปรับสภาพด้วยเกลือแร่ หรือการเลือกใช้ขนาดที่ดูดซับได้ดีที่สุด ทำให้ผลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากมะพร้าวมีความสามารถดูดซับสูงสุดได้น้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหิน

**Table 1** แบบจำลองของการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่

ชนิด	Freundlich Isotherm			Langmuir Isotherm		
	K (mg/g)	n	R ²	Vm (mg/g)	K (L/mol)	R ²
ถ่านหิน	113.21	6.93	0.452	222.22	0.000061	0.987
กําลังพลังงาน	153.22	24.88	0.019	158.73	0.000396	0.972



(n)



(u)

Figure 7 แบบจำลองของการดูดซับสีที่อุณหภูมิคงที่ ตามทฤษฎี ฟรอนต์ลิชท์ (n) และเมียร์ (u)



ສຽງ

ກາຮືກ່າຍເພື່ອເບຣີຍບເຫີຍບຄວາມສາມາດ
ໃນກາງດູດສັບສິ່ຍ້ອມ ຂອງດ່ານກັມມັນຕໍ່ທີ່ຜລິດຈາກ
ດ່ານທຶນ ແລະກະລາມພ້ວມ ພບວ່າດ່ານກັມມັນຕໍ່
ທັງສອງໝົດມີປະສິທິພາພີໃນກາງດູດສັບສິ່ຍ້ອມ
ສີເໜີລືອງໄກລ໌ເຄີຍກັນ ແຕ່ດ່ານກັມມັນຕໍ່ທີ່ຜລິດ
ຈາກກະລາມພ້ວມ ເປັນກາຮືເພີມມຸລັກຕ່າງໆແກ່ວັດຖຸ
ເໜີລືອງທຶນທາງກາຮືກ່າຍ ຫຼືສາມາດທາໄດ້ຈ່າຍໃນ

ປະເທດໄທ ແລະມີຄາດຖຸກວ່າດ່ານກັມມັນຕໍ່ໝົດ
ທີ່ທຳຈາກດ່ານທຶນຊື່ນໍາເຂົ້າມາຈາກຕ່າງປະເທດ
ແຕ່ຕ້ອງເລືອກສົກວະທີ່ເໝາະສົມເພື່ອພັດນາໄປໃຫ້
ໃນການບຳນັດນໍາທຶນຈາກອຸດສາຫງຽນປະເທດ
ລົ້ງທອນໂຄຮງກາຮ້ານີ້ຕຳບລໍານີ້ຜລິດກັນທີ່
(OTOP) ຕ້ອໄປ

ເອກສານອ້າງອີງ

- [1] Kadirvalu, K., Palanival, M., Kalpana, R., Rajeswari, S., 2000. "Activated carbon from an agricultural by-product, for treatment od dyeing industry wastewater". Journal of Bioresource Technology, Vol. 74, pp. 263 – 265
- [2] Fernando, M., and Pereira, R., 2003. "Adsorption od dyes on activated carbon: influence of surface chemical groups", Journal of Carbon, Vol. 41, pp. 811 – 821
- [3] Kannan, N., Sundaram, M. M., 2001. "Kinetics and mechanism of removal of methytlene blue by adsorption on various carbons a comparative study". Journal of Dyes and Pigments, Vol. 51, pp. 25 – 40
- [4] Mohan, S. V., Rao, N. C., Karthikeyan, J., 2002. "Adsorption removal of direct azo dye from aqueous phase onto coal based sorbents: a kinetic and mechanistic study", Journal of Hazardous Materials, Vol. B90, pp. 189 – 204
- [5] Allen, S. J., Gan, Q., Matthews, R., and Johnson, P.A.,2003, "Comparison of optimized isotherm models for basic dye adsorption by kudzu", Journal of Dyes and Pigments, Vol. 57, pp. 211-222