



เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ได้รับจาก วิธีการผลิตและวัสดุที่แตกต่างกัน

พีระพงษ์ เนียมเสวก*

บทคัดย่อ

ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์จากวิธีการผลิต 2 วิธีและวัสดุที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือการผลิตโดยวิธีทางกายภาพโดยใช้ไอน้ำความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 600-800 °C และการผลิตโดยวิธีชุบด้วยซิงค์คลอไรด์ที่อุณหภูมิ 600-800 °C โดยใช้เวลาในการคาร์บอนไนซ์ 3 ชั่วโมง ในวัสดุ 3 ชนิดได้แก่ กะลามะพร้าว เปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด สภาวะที่เหมาะสมในด้านต่าง ๆ คือ ด้านปริมาณความชื้น ถ่านที่ผลิตจากกะลามะพร้าวผลิตโดยวิธีไอน้ำความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 600 °C มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.48 ด้านปริมาณความหนาแน่นเชิงปริมาณ คือถ่านที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนโดยวิธีไอน้ำความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 800 °C มีความหนาแน่น น้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.458 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ด้านปริมาณเถ้า คือถ่านที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนโดยวิธีไอน้ำความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 800 °C มีค่าต่ำสุด มีค่าเท่ากับร้อยละ 11.61 ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ คือถ่านที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนโดยวิธีไอน้ำความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 800 °C มีค่าเท่ากับ 917.44 กล่าวโดยสรุปถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติดีที่สุดคือถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเปลือกทุเรียนโดยวิธีไอน้ำความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 800 °C

*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์



บทนำ

ถ่านกัมมันต์ มีชื่ออื่น ๆ อีกว่า คาร์บอนกัมมันต์ ถ่านไว ถ่านดูดซับ ถ่านที่มีปฏิกิริยามีชื่อเรียกในภาษาอังกฤษว่า activated carbon หรือ active carbon ถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติในการดูดซับได้ทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ การที่ดูดซับได้ดี เพราะ ผิวของถ่านมีรูพรุน และมีพื้นที่ผิวมาก (อยู่ในช่วง 300-500 m^2/s) จึงมีสมบัติในการดูดซับ อนุภาคสารต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์, 2542)

กระบวนการไพโรไลซิสของชีวมวล (Babu and Chaurasia, 2003; Prauchner *et al.*, 2005) เป็นการสลายชีวมวลด้วยความร้อนในสภาพไม่มีออกซิเจนหรืออากาศในช่วงอุณหภูมิประมาณ 600-800 $^{\circ}\text{C}$ ทำให้สารระเหยง่ายสลายออกมา และส่วนที่เหลือเป็นของแข็งมีลักษณะเป็นถ่าน ซึ่งมีรูพรุนเกิดขึ้น ในการผลิตถ่านกัมมันต์ (Mozammel *et al.*, 2002) เป็นการนำถ่านหลังจากที่ทำการไพโรไลซิสแล้วมาทำการกระตุ้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับให้สูงขึ้น โดยกระบวนการกระตุ้นถ่านเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี กระตุ้นทางกายภาพ คือ กระตุ้นด้วยแก๊สที่มีคุณสมบัติช่วยกระตุ้น ได้แก่ ไออน้ำ หรือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์การกระตุ้นทางเคมี เป็นวิธีที่มีการใช้สารเคมีในขั้นตอนการกระตุ้น ซึ่งจะใช้อุณหภูมิในการไพโรไลซิสที่ต่ำ ถ่านกัมมันต์ที่ได้หลังจากกำจัดสารกระตุ้นแล้วจะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดี สารเคมีที่ใช้กระตุ้น ได้แก่ ZnCl_2 , K_2S , KCN , H_3PO_4 , H_2SO_4 เป็นต้น

สภาวะสำหรับการทำให้เป็นถ่านและกระตุ้นสำหรับวัตถุดิบบางชนิด

วัตถุดิบ	อุณหภูมิและเวลาของการทำให้เป็นถ่าน ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิและเวลาของการกระตุ้น	สารที่ใช้กระตุ้น
กากน้ำตาล	110-120	800-1000	$\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Ca}(\text{PO}_4)_3$
ลิกไนต์	700 เวลา 1 ชม.	800 เวลา 1 ชม.	ไออน้ำ
ถ่านหิน	400-900	700-900	ไออน้ำ
ไม้	400-600 เวลา 2 ชม.	700 เวลา 1 ชม.	ไออน้ำ
กากปิโตรเลียม	100-400	900-920 เวลา 1-2 ชม. 900-950 เวลา 3-4 ชม.	ไออน้ำ
ชานอ้อย	480-500	800-950	ไออน้ำ
กะลามะพร้าว	300-700	700-1050 เวลา 0.5-1 ชม.	ไออน้ำ

โดยทั่วไปการผลิตถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรเราต้องนำวัสดุเหลือใช้ที่มีลักษณะเป็นของเหลือทิ้ง หรือของที่มีราคาถูก มีปริมาณคาร์บอนและปริมาณสารอินทรีย์ต่ำ มาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ในการทำวิจัยครั้งนี้ เราจึงได้นำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจำพวก เปลือกทุเรียน เปลือกมังคุด และเปลือกถั่วลิสง มาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ซึ่งเศษวัสดุดังกล่าวนี้เป็นผลไม้ที่คนไทยนิยมบริโภคกันเป็นจำนวนมากเพราะเป็นผลไม้ที่ปลูกในประเทศไทย และพบเห็นอยู่จำนวนมาก จึงทำให้ผลที่ตามมาเกิดเป็นวัสดุเหลือใช้ จึงทำให้ผลที่ตามมามีเปลือกผลไม้มากมาย จึงกลายมาเป็นขยะที่พบเห็นเป็นจำนวนมากเราจึงนำเปลือกมาใช้ในการประโยชน์โดยนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

วัสดุ

กะลามะพร้าว เปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด

วิธีการทดลอง

การเตรียมวัตถุดิบ

ทำความสะอาดกะลามะพร้าว เปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดด้วยน้ำกลั่น ทำให้ชิ้นเล็กลงให้มีขนาดประมาณ 1-2 เซนติเมตรและอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำวัตถุดิบไปวิเคราะห์หาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ได้แก่ปริมาณสารระเหย ตามวิธี ASTM D 5832 - 95 (1996) ปริมาณเถ้า ตามวิธี ASTM D2867 - 95 (1996) และปริมาณคาร์บอนคงตัว โดยวิธี ASTM D 3172-89 (1994)

การเตรียมถ่าน

นำใบวัตถุดิบ มาทำการคาร์บอนไนซ์ในเตาเผาความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามลำดับ ถ่านที่ได้นำไปศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ เช่น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์บอนคงตัว ค่าเลขไอโอดีนโดยวิธี AWWA B604-74 (1974)

การเตรียมถ่านกัมมันต์

บดถ่านตัวอย่างที่คาร์บอนไนซ์ที่ 600 °C แล้วคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนให้ได้ขนาด ขนาด 20-90 mesh แล้วอบถ่านที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ชั่งถ่านที่อบแล้ว 50 กรัม นำไปทำการไพโรไลซิสโดยการกระตุ้นวิธีทางกายภาพด้วยไอน้ำที่มีความร้อนสูงถึง 600 , 700 และ 800 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และการกระตุ้นโดยวิธีทางเคมี โดยใช้ในกรด $ZnCl_2$ (Merck Germany) 0.25 N นาน 12 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนของถ่านต่อ $ZnCl_2$ เป็น 1 : 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แล้วนำไปประเหย



ให้แห้งในตู้อบ แบ่งถ่านตัวอย่างที่แช่กรดแล้วออกเป็น 3 ถ้วย บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนไว้ แล้วนำไปทำการไพโรไลซิสอีกครั้งที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 °C จากนั้นนำถ่านที่ไพโรไลซิสทั้ง 2 วิธีไปล้างสิ่งเจือปนตามวิธีของ Starck และคณะ (2006) โดยแช่ในกรด HCl (Merck Germany) 5 N และน้ำร้อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วทำให้เป็นกลางโดยการล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้งจนได้ค่า pH เป็นกลาง นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปวิเคราะห์เช่นเดียวกับถ่านข้างต้น นำไปอบที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำมาใส่โถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที จนน้ำหนักถ่านและถ้วยทนไฟลงที่น้ำหนักกัมมันต์ที่ได้ไปทดสอบขั้นต่อไป

ผลการทดลองและวิจารณ์

ในการวิจัยนี้กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ผลิตใน 2 วิธี คือ ทำการไพโรไลซิสแบบกายภาพโดยวิธีการผ่านไอน้ำความร้อนสูงผ่านไปยังถ่านที่ใช้เป็นวัตถุดิบ และอีกวิธีหนึ่งคือแบบเคมีโดยวิธีการชุบด้วยซิงค์คลอไรด์และนำไปไพโรไลซิสต่อ และในด้านของวัสดุที่ใช้ในการผลิตใช้วัสดุที่แตกต่างกัน 3 ประเภท ได้แก่ กะลามะพร้าว เปลือกทุเรียน และ เปลือกมังคุด ทำการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน 3 ช่วงอุณหภูมิ คือ 600, 700 และ 800 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลของการหาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น

ผลการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุที่มีคาร์บอนต่ำจะมีความชื้นสูง ได้แก่ ถ่านจากเปลือกทุเรียน มีค่าร้อยละ 8.87 และ 8.68 จากถ่านที่ผลิตโดยใช้ไอน้ำความร้อนสูงและถ่านที่ชุบด้วยซิงค์คลอไรด์ที่ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 800 °C ตามลำดับ ส่วนถ่านที่มีค่าความชื้นร้อยละต่ำสุด ได้แก่ ถ่านที่ผลิตจากกะลามะพร้าว มีค่าร้อยละ 7.42 และ 7.45 จากถ่านที่ผลิตโดยใช้ไอน้ำความร้อนสูงและถ่านที่ชุบด้วยซิงค์คลอไรด์ที่ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 600 °C ตามลำดับ ในเชิงเปรียบเทียบจากวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน การผลิตโดยการไพโรไลซิสด้วยไอน้ำความร้อนสูงค่าความชื้นจะสูงกว่าโดยวิธีชุบด้วยซิงค์คลอไรด์ในทุกช่วงอุณหภูมิ เนื่องด้วยค่าความชื้นเป็นผลมาจากไอน้ำที่ถูกพ่นเข้าไปโดยตรงจึงทำให้โมเลกุลของน้ำเข้าไปแทรกอยู่ช่องว่างของถ่านกัมมันต์ที่ได้

5.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณความหนาแน่นเชิงปริมาตร

ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร ความหนาแน่นที่เกิดขึ้นกับถ่านกัมมันต์ซึ่งวิเคราะห์ได้จากมวลคาร์บอนของถ่านที่นำมาเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ถ่านที่มีมวลคาร์บอนสูงจะมีความหนาแน่นเชิงปริมาตรสูง เปรียบเทียบได้ดังนี้ ในด้านของวิธีการผลิตที่แตกต่างกันถ่านที่ผลิตโดยชุบด้วยซิงค์คลอไรด์จะมีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรสูงกว่าถ่านที่ผลิตโดยใช้ไอน้ำความร้อนสูงในทุกช่วง

อุณหภูมิที่ใช้ในการไพโรไลซิสและทกวัสดุที่นำมาผลิต มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.759 และ 0.625 จากถ่านที่ผลิตโดยชุบด้วยซิงค์คลอไรด์และถ่านที่ผลิตโดยใช้ไอน้ำความร้อนสูง ที่อุณหภูมิ 600 °C ตามลำดับ ในด้านการเปรียบเทียบในวัสดุที่แตกต่างกัน ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากกะลามะพร้าวมีความหนาแน่นสูงสุด ตามด้วย จากเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนตามลำดับ ในทุกช่วงอุณหภูมิและวิธีการที่ผลิต

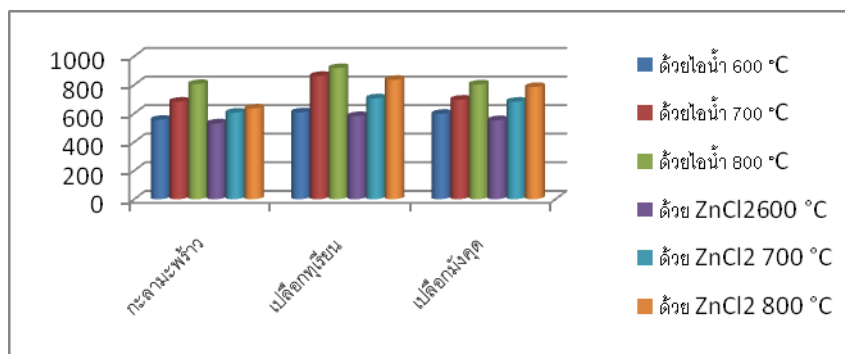
5.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า

ค่าปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์จะสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นเชิงปริมาณ สามารถเปรียบเทียบได้ดังนี้ ในด้านของวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน ถ่านที่ผลิตโดยชุบด้วยซิงค์คลอไรด์จะมีค่าปริมาณเถ้าสูงกว่าถ่านที่ผลิตโดยใช้ไอน้ำความร้อนสูงในทุกช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการไพโรไลซิส และทกวัสดุที่นำมาผลิต โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 27.27 และ 24.73 จากถ่านที่ผลิตโดยชุบด้วยซิงค์คลอไรด์และถ่านที่ผลิตโดยใช้ไอน้ำความร้อนสูง ที่อุณหภูมิ 600 °C ตามลำดับ ในด้านการเปรียบเทียบในวัสดุที่นำมาผลิตแตกต่างกัน ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากกะลามะพร้าวมีความหนาแน่นสูงสุด ตามด้วยจากเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนตามลำดับ ในทุกช่วงอุณหภูมิและวิธีการที่ผลิต

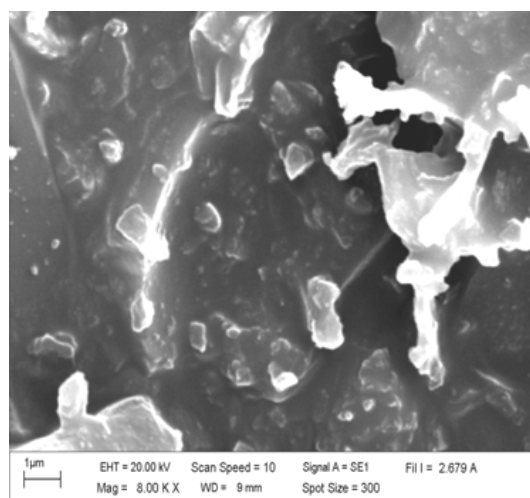
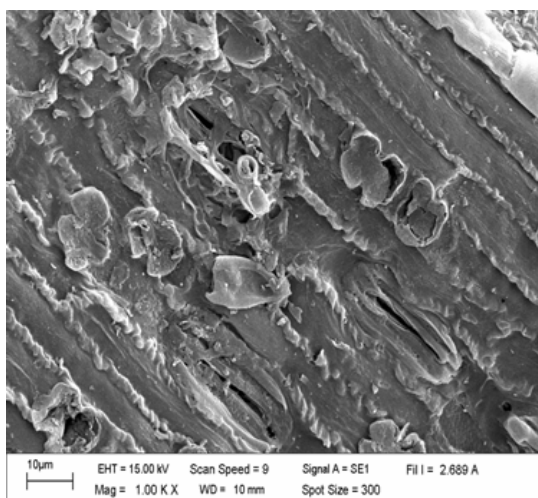
5.4 ผลการวิเคราะห์หาค่าไอโอดีนนัมเบอร์

สรุปค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบและวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยวิธี	ค่าค่าไอโอดีนนัมเบอร์จากถ่านที่ผลิตจาก		
	กะลามะพร้าว	เปลือกทุเรียน	เปลือกมังคุด
ที่ activate ด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 600 °C	555.47	607.14	597.14
ที่ activate ด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 700 °C	682.53	862.53	695.86
ที่ activate ด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 800 °C	805.77	917.44	802.44
ที่ activate ด้วย $ZnCl_2$ ที่อุณหภูมิ 600 °C	530.24	581.24	552.57
ที่ activate ด้วย $ZnCl_2$ ที่อุณหภูมิ 700 °C	605.05	705.39	682.05
ที่ activate ด้วย $ZnCl_2$ ที่อุณหภูมิ 800 °C	634.98	834.98	784.98



ค่าการดูดซับต่อไอโอดีนหรือค่าไอโอดีนนัมเบอร์เป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการบอกถึงคุณภาพของถ่าน ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติในด้านนี้ เปรียบเทียบในในด้านของวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน ถ่านที่ผลิตโดยวิธีใช้ไอน้ำความร้อนสูงมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงกว่าถ่านที่ผลิตโดยวิธีชุบด้วยซิงค์คลอไรด์ในทุกช่วงอุณหภูมิที่ผลิตและในวัสดุที่ใช้ต่างกันในการผลิต โดยค่าสูงสุดเท่ากับ 917.44 และ 834.98 ในถ่านที่ผลิตโดยวิธีใช้ไอน้ำความร้อนสูงและถ่านที่ผลิตโดยวิธีชุบด้วยซิงค์คลอไรด์ที่ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 800°C ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบโดยใช้วัสดุในการผลิตที่แตกต่างกัน ถ่านที่ผลิตจากวัสดุเปลือกทุเรียน มีค่าสูงสุด รองลงมาคือเปลือกมังคุด และกะลามะพร้าว ตามลำดับ



ภาพที่วิเคราะห์ด้วย SEM ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน ไพโรไลซิสที่ 800 °C

สรุปผลการวิจัย

ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติที่ดีคือมีค่าความชื้นที่ต่ำ มีความหนาแน่นเชิงปริมาณต่ำ มีปริมาณเถ้าต่ำ และมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูง จากผลการทดลองจะไม่มีถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติที่ดีทั้ง 4 ด้าน ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะมีแนวโน้มที่แตกต่างอยู่ 1 คุณสมบัติ คือด้านความชื้น แต่ในด้านอื่นจะมีแนวโน้มที่สัมพันธ์กัน เนื่องด้วยถ่านที่มีคุณสมบัติที่ดีคือถ่านที่มีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนอยู่สูงจะดูดซับได้ดีซึ่งสามารถดูดซับไอน้ำเข้าไปในโครงสร้างได้ด้วยจึงมีผลทำให้ค่าความชื้นนั้นสูงและสวนทางกับคุณสมบัติในด้านอื่น ๆ ไป แต่ในทางปฏิบัติเป็นคุณสมบัติที่แก้ไขได้คือสามารถนำถ่านกัมมันต์นั้นไปอบค่าความชื้นก็สามารถลดลงได้

ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดก็ได้แก่ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเปลือกทุเรียนและผลิตโดยวิธีการใช้ไอน้ำความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 800 °C มีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาณต่ำสุดเท่ากับ 0.458 ค่าปริมาณเถ้าเท่ากับ 11.61 และค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 917.44 ถึงแม้ว่าความชื้นจะมีปริมาณไม่ต่ำที่สุดแต่ค่าด้านอื่นมีคุณสมบัติตามเกณฑ์ทั้ง 3 ด้าน

เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีค่าต่าง ๆ ตามเกณฑ์ที่กำหนดดีกว่า

รายการอ้างอิง

จุฑามาศ จิตต์เจริญ . (2544) . งานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์เชิงพื้นผิวและการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของ

ถ่านกัมมันต์ ที่ผลิตจากผลปาล์ม สำหรับการดูดซับไอเสียจากโรงงาน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์

อิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกราด. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

Abe, I., Fukuhara, T., Maruyama, J., Tatsumoto, H. and Iwasaki, S. (2001).Preparation of

Carbonaceous Adsorbents for Removal of Chloroform from Drinking Water. *Carbon*, 39,1069-1073

American Standard of Testing Material. (1989). ASTM. Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke. Philadel phia.Estor Printed.



- Corcho-Corral, B., Olivares-Marín, M., Fernández-González, C., Gómez-Serrano, V. and Macías-García, A. (2006). Preparation and textural characterisation of activated carbon from vineshoots (*Vitis vinifera*) by H₃PO₄—Chemical activation. *Applied Surface Science*, 252(17), 5961-5966.
- Gan, Q., Allen, S.J. and Matthews, R. (2004). Activation of Waste MDF Sawdust Charcoal and Its Reactive Dye Adsorption Characteristics. *Waste Management*, 24(8), 841-848.
- Garcia-Perez, M. Chaala, A. and Roy, C. (2002). Co-pyrolysis of Sugarcane Bagasse with Petroleum Residue. Part II. Product Yields and Properties. *Fuel*, 81, 893-907.
- Lee, J.C., You, H.J., Lee, H.S., Shin, M.C., Cha, J.S. and Park, S. (2004). Pore Formation in Carbon - Coated Ceramic Fiber Filter Media. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects.*, 241, 185-190.
- Mopoung, S. (2005). Chemical Composition and Physical Properties of Charcoal and Activated Charcoal from Peel and Bunch of Banana. *NU Science Journal*, 2(1), 107-119.
- Prauchner, M.J., Pasa, V.M.D., Molhallem, N.D.S., Otani, C., Otani, S. and Pardini, L.C. (2005). Structural Evolution of *Eucalyptus* Tar Pitch-Based Carbons During Carbonization. *Biomass & Bioenergy*, 28(1), 53-61.
