

การผลิตถ่านกัมมันต์จากยางรถยนต์ที่ใช้แล้วด้วยกระบวนการไพโรไลซิส

Produced Activated Carbon from Used Tire with Pyrolysis

วีรพัฒน์ วิวัฒน์นอดม^{1*} และบรรเจิด จงสมจิตร์²

Weeraphat Wiwatthanodom^{1*} and Bunjerd Jongsomjit²

¹นักศึกษานิเทศศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

²อาจารย์ที่ปรึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

*Corresponding author, E-mail : weeraphatwiwatthanodom@gmail.com

บทคัดย่อ

ถ่านกัมมันต์ได้ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากการใช้ยางรถยนต์เก่าที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสโดยใช้อุณหภูมิสูง 420 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมงในสภาวะอับอากาศ เพื่อกำจัดสารระเหย ด้วยกรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก ที่อัตราส่วน 1:2 (กรัม : มิลลิลิตร) ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นผ่านการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ อัตราส่วน 1:2 (กรัม : มิลลิลิตร) ที่อุณหภูมิ 420 , 520 , 620 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่า มีรูพรุนขนาดเล็ก ความสามารถในการดูดซับไอโอดีนสูงกว่า และปริมาตรรูพรุนมากเมื่อเทียบกับการล้างด้วยกรดไนตริก

คำสำคัญ : ถ่านกัมมันต์ ไพโรไลซิส กระตุ้น

Abstract

First, activated carbon is synthesized from used tires at 420 °C for 1 hr. and then the volatility is removed at 420 °C for 3 hrs. under vacuum. Next, the carbon is treated with hydrochloric acid and nitric acid 1:2 (gram: milliliter) at 125 °C for 1 hr. and activated with phosphoric acid 1 M 1:2 (gram : milliliter) at 420 °C, 520 °C and 620 °C for 3 hrs. The activated carbon treated with hydrochloric acid exhibited a larger surface area, smaller pore size, higher iodine adsorption rate and greater pore volume when compared to treatment by nitric acid.

Keywords: activated carbon, pyrolysis, activate

1. บทนำ

ถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยคาร์บอนเป็นหลัก กล่าวกันว่าเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสูง มีความสามารถในการดูดซับสูง เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กกระจายอยู่บนพื้นผิวจำนวนมาก การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์สามารถกระทำโดยนำถ่านมาผ่านการกระตุ้นเพื่อให้มีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น มีพื้นที่ผิวและรูพรุนมากขึ้น การใช้งานถ่านกัมมันต์ในปัจจุบันนิยมใช้เป็นสารดูดซับ เช่น ใช้ในการดูดซับก๊าซในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ การกรองสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่ไม่ต้องการออกจากของเหลวหรือก๊าซ การบำบัดน้ำเสีย การฟอกสีของเหลวต่างๆ หรือใช้เป็นตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา

การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปสามารถใช้วัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติหลายชนิด เช่น ไม้กะลามะพร้าว เปลือกของเมล็ดพืช ถ่านหิน โดยนำมาผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิสูง 200-800 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ การเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การกระตุ้นทางเคมี ใช้สารออกซิไดซ์ เช่น กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4), ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$), โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) เพื่อทำให้พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์อยู่ในสภาพออกซิไดซ์ และการกระตุ้นทางกายภาพที่อุณหภูมิสูง 800-1000 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะที่มีก๊าซออกซิไดซ์ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์, ออกซิเจน, ไอน้ำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมยางรถยนต์มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลของศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 4.1% ต่อปี ทำให้มีปริมาณยางรถยนต์ที่เหลือใช้เป็นจำนวนมาก จึงมีวิธีการกำจัดยางรถยนต์ที่หมดสภาพการใช้งาน เรียกว่า กระบวนการไพโรไลซิส โดยใช้

อากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสคือน้ำมัน ก๊าซเชื้อเพลิง และคาร์บอน โดยคาร์บอนที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสเป็นคาร์บอนที่ใช้เป็นส่วนประกอบหลักในอุตสาหกรรมการผลิตยางรถยนต์ โดยใช้สำหรับเพิ่มความแข็งแรงในยางรถยนต์ หลังจากผ่านกระบวนการไพโรไลซิสคาร์บอนที่ได้จะมีสิ่งสกปรกเจือปนจำนวนมาก ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ จึงถือว่าเป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิต

การปรับปรุงคุณภาพคาร์บอนมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณสิ่งเจือปน เช่น ซัลเฟอร์ สารอินทรีย์ต่างๆ โดยการใช้สารละลายอินทรีย์ในการกำจัดสิ่งสกปรก เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดไนตริก (HNO_3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นต้น (อภิญา, 2555)

คาร์บอนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบจะได้รูพรุนที่มีขนาดใหญ่กว่าการใช้กรดที่ไม่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนจะทำให้ผนังของคาร์บอนบางลงหรือทำลายผนังทำให้ได้ขนาดรูพรุนที่ใหญ่ขึ้น (Moreno, 1997)

การปรับปรุงคุณภาพของถ่านกัมมันต์ด้วยกรดและกระตุ้นทางกายภาพจะทำให้มีพื้นที่ผิวและปริมาตรสูงกว่าการกระตุ้นทางกายภาพเพียงอย่างเดียว เนื่องจากสารเคมีจะทำให้โครงสร้างเปลี่ยน พื้นที่ผิวและปริมาตรจึงเพิ่มขึ้น (Ariyadejwanich, 2003)

การกำจัดสิ่งเจือปนด้วยกรดซัลฟิวริกก่อนทำการกระตุ้นจะทำให้สามารถกำจัดได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อการกระตุ้น ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะสามารถดูดซับฟีนอลได้เป็นอย่างดี (Chan, 2011)

ยางรถยนต์ที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 200-900 องศาเซลเซียส จากนั้นปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดไนตริก ความร้อน กรดไนตริกและความร้อน พบว่าการใช้กรดไนตริกจะทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่

การใช้ความร้อนจะทำให้เกิดรูพรุนขนาดกลาง และถ้าใช้ทั้งสองอย่างจะทำให้ได้คาร์บอนปริมาณสูงสุด (Manchon, 2004)

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษากำหนดกัมมันต์จากกระบวนการไพโรไลซิสของรถยนต์ โดยทำการล้างคาร์บอนด้วยกรดไฮโดรคลอริกและกรดไนตริก หลังจากนั้นกระตุ่นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่อุณหภูมิ 420 , 520 , 620 องศาเซลเซียส

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัสดุ

เก็บตัวอย่างคาร์บอนจากกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ร้อนผ่านตะแกรงคัดแยกเศษลวดออกด้วยแม่เหล็ก นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำเข้าเตาอบอุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที

คำนวณหาปริมาณความชื้นและสารระเหยจาก

$$\frac{(\text{คาร์บอนเริ่มต้น} - \text{คาร์บอนที่เหลือ}) \times 100}{\text{คาร์บอนเริ่มต้น}}$$

นำเข้าเตาอบอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส

คำนวณหาปริมาณขี้เถ้าจาก

$$\frac{\text{น้ำหนักที่เหลือ} \times 100}{\text{น้ำหนักทั้งหมด}}$$

ผลการวิเคราะห์คาร์บอน ความชื้น ขี้เถ้าและสารระเหย ดังตารางที่ 1

วิเคราะห์ตัวอย่างคาร์บอนด้วยเครื่อง Carbon/Sulfur analyzer LECO SC632 สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 คุณลักษณะคาร์บอนจากกระบวนการไพโรไลซิสของรถยนต์

ส่วนประกอบ	ปริมาณ %
คาร์บอน	79.91
ความชื้น	2.81
สารระเหย	1.86
ขี้เถ้า	15.42

ตารางที่ 2 วิเคราะห์คุณลักษณะคาร์บอนด้วย Carbon/sulfur analyzer

ส่วนประกอบ	ปริมาณ %
คาร์บอน	96.57
ซัลเฟอร์	3.43

3.2 เตรียมกัมมันต์

นำคาร์บอนที่ผ่านตะแกรงและกำจัดเศษลวดมาอบเพื่อกำจัดสารระเหยที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมงในสภาวะอับอากาศ ล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดไนตริก (HNO₃) เข้มข้น 3 โมลาร์ ที่อัตราส่วน 1:2 (กรัม:มิลลิลิตร) ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง ล้างให้ pH เป็นกลางและอบไล่ความชื้น จากนั้นกระตุ่นด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ อัตราส่วน 1:2 (กรัม:มิลลิลิตร) ที่อุณหภูมิ 420 , 520 , 620 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3.3 ทดสอบการดูดซับไอโอดีน

ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัมผสมกับสารละลายไอโอดีน 0.05 นอร์มอล 25 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากันนาน 3 นาที แบ่งสารละลายไอโอดีนมา 20 มิลลิลิตร ทำการหาค่าการดูดซับไอโอดีนด้วยเครื่องMetrohm 870KF Titrino plus

3.4 ทดสอบคุณสมบัติถ่านกัมมันต์

ทดสอบคุณสมบัติถ่านกัมมันต์ด้วย XRD ,
พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุน

4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

4.1 การดูดซับไอโอดีน

การเลือกสารที่ใช้ในการล้างมีผลต่อการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการล้างด้วยกรดไนตริกจะทำให้สามารถดูดซับไอโอดีนได้น้อยกว่าการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้สามารถดูดซับได้ดีขึ้น เมื่อมีรูพรุนขนาดเล็กมากขึ้น จะทำให้พื้นผิวมากขึ้นด้วย จึงทำให้ถ่านกัมมันต์ดูดซับไอโอดีนได้มากขึ้น จากตารางที่ 3 พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะดูดซับไอโอดีนได้มากขึ้น เนื่องจากเกิดรูพรุนขนาดเล็กเพิ่มขึ้น ทำให้ขนาดรูพรุนเฉลี่ยลดลง จึงดูดซับไอโอดีนได้มากขึ้น ความสามารถในการดูดซับดังตารางที่ 3

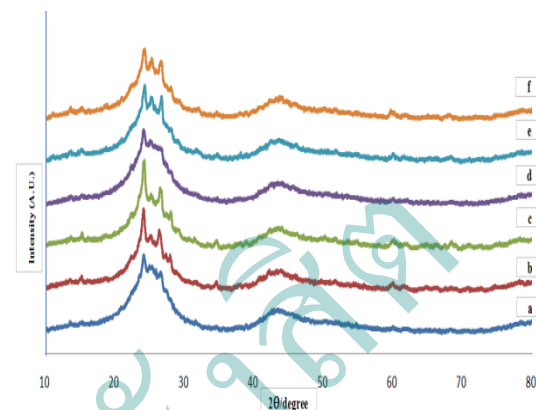
ตารางที่ 3 การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการล้างด้วยกรดไนตริก และกรดไฮโดรคลอริก ที่อุณหภูมิ 420 , 520 , 620 องศาเซลเซียส

ถ่านกัมมันต์	ดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัม/กรัม)
คาร์บอน	20-30
AC_HCl420	125.23
AC_HCl520	129.51
AC_HCl620	138.70
AC_N420	123.61
AC_N520	126.20
AC_N620	128.74

4.2 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ด้วย X-ray diffraction

ลักษณะของกราฟ XRD ระหว่าง 2θ และ ความสูงของพีค(Intensity) พบว่าที่ $2\theta = 20-30^\circ$ และ $2\theta = 40-50^\circ$ โครงสร้างของคาร์บอนมีความเป็น

อสัณฐาน และเมื่อกระตุ้นโดยใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ความชันของพีคลดลง (Benjapol, 2013)



รูปที่ 1 กราฟ XRD ของ (a) AC_HCl420 (b) AC_HCl520 (c) AC_HCl620 (d) AC_N420 (e) AC_N520 (f) AC_N620

4.3 พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุน

การล้างคาร์บอนด้วยกรดไนตริกและนำมากระตุ้นเพื่อให้เป็นถ่านกัมมันต์จะทำให้มีพื้นที่ผิวที่ต่ำกว่าการใช้กรดไฮโดรคลอริก เนื่องจากในกรดไนตริกมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบทำให้ผนังคาร์บอนแตกออกและมีขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นผลให้พื้นที่ผิวน้อย และมีปริมาตรน้อยกว่าการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก

อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะก่อให้เกิดรูพรุนขึ้นใหม่ที่ขนาดเล็ก ทำให้ขนาดรูพรุนเฉลี่ยลดลง พื้นที่ผิวจึงเพิ่มขึ้น และปริมาตรสูงขึ้น

ตารางที่ 4 พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรของถ่านกัมมันต์ที่สภาวะต่างๆ

ตัวอย่าง	พื้นที่ผิว(m^2/g)	ขนาดรูพรุน(nm)	ปริมาตร(cm^3/g)
คาร์บอน	43	1.09	-
AC_HCl420	119.2	28.3	0.85
AC_HCl520	273.6	23.4	1.5
AC_HCl620	293.3	20.4	1.81
AC_N420	105.8	32	0.85
AC_N520	263.6	23.9	1.34
AC_N620	290	21.3	1.62

5. การอภิปรายผล

จากการศึกษาพบว่า การเลือกกรดที่ใช้ในการล้างคาร์บอนที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสของรถยนต์มีผลต่อความสะอาดของถ่านกัมมันต์ ทำให้มีพื้นที่สำหรับการดูดซับเพิ่มขึ้น โดยการเลือกใช้กรดที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ จะทำให้เกิดรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ ประสิทธิภาพในการดูดซับไอโอดีนจึงลดลง เนื่องจากการดูดซับไอโอดีนเหมาะสำหรับรูพรุนที่มีขนาดเล็ก การพัฒนาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จึงควรปรับปรุงให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น

6. บทสรุป

การล้างคาร์บอนด้วยกรดที่ไม่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ คือ กรดไฮโดรคลอริก และกรดที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ คือ กรดไนตริก จะมีผลต่อขนาดของรูพรุน พื้นที่ผิวจำเพาะ และปริมาตร ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการดูดซับแตกต่างกัน ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็กจะทำให้มีพื้นที่ผิวสูงกว่า

การอบที่อุณหภูมิสูง เพื่อกำจัดสารระเหยในคาร์บอนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ และการกระตุ้นที่อุณหภูมิต่างกันคือ 420 , 520 , 620 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กเพิ่มขึ้นในปริมาณที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้รูพรุนที่ปิดนั้นเปิดออก แต่จะต้องควบคุมในสภาวะบรรยากาศเพื่อป้องกันการเกิดเป็นซีเถ้าของถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.บรรเจิด จงสมจิต ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้คำปรึกษาด้านการเขียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนตรวจแก้ไขปัญหา ให้การดำเนินงานวิจัยมีความคืบหน้า

ขอกราบขอบพระคุณบริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน) ที่สนับสนุนตัวอย่างในการดำเนินงานวิจัย และให้การสนับสนุนด้านการศึกษาเป็นอย่างดี

8. เอกสารอ้างอิง

- อภิญา ภูนิคม. (2555). การเตรียมและศึกษาสมบัติของถ่านกัมมันต์จากเถ้าที่ได้จากการไพโรไลซิสยางใช้แล้ว
- Ariyadejwanich, P.; Tanthapanichakoon, W.; Nakagawa, K.; Mukai, S.R.; Tamon, H. (2003). Preparation and characterization of mesoporous activated carbon from waste tires. *Journal of Carbon* 41:157-164
- Niticharoenwong B., Shotipruk A., Mekasuwandumrong O., Panpranot J., and Jongsomjit B. (2013). Characteristic of Activated Carbon Derived from Deoiled Rice Bran Residues.
- Chan, O.S.; Cheung, W.H.; McKay, G.; (2011). Preparation and characterization of demineralised tyre derived activated carbon. *Journal of Carbon* 49:4674-4687
- Manchon-Vizuet, E.; Macias-Garcia, A.; Nadal Gisbert, A.; Fernandez-Gonzalez, C.; Gomez-Serrano, V.; (2004). Preparation of mesoporous and macroporous materials from rubber of tyre wastes. *Microporous and Mesoporous Materials* 67:35-41
- Moreno-Castilla, C., et al. (1997). Effects of non-oxidant and oxidant acid treatment on the surface properties of an activated carbon with very low ash content. *Carbon* V.36, Issues 1-2, p.145-151.