

การศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเกลบ

สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม

อาจารย์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเกลบโดยใช้วิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ (การกระตุ้นทางกายภาพ) และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) (การกระตุ้นทางเคมี) อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเกลบเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์จะอยู่ในช่วง $400 - 700^{\circ}C$ และระยะเวลาในการเผาอยู่ในช่วง 1-2 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์โดยมิได้ทำการกระตุ้นควบคู่กันไปด้วย เพื่อเปรียบเทียบผลกับวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีการกระตุ้น ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ในแต่ละสภาวะการเผาจะถูกนำไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว ปริมาณการดูดซับของเหลวโทลูอินและไอระเหยของโทลูอิน จากผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อให้ได้พื้นที่ผิวสูงสุดคือ สภาวะที่ทำการเผากระตุ้นด้วยไอน้ำที่ $700^{\circ}C$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะให้พื้นที่ผิวสูงสุด $421 \text{ m}^2/\text{g}$ และสามารถดูดซับตัวทำละลายโทลูอินและไอระเหยของโทลูอินได้ 11.92% และ 7.94% (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ และสภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิธีการเผกระตุ้นทางเคมีโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้นคือ ที่อุณหภูมิ $500^{\circ}C$ เป็นเวลา 30 นาที จะได้พื้นที่ผิวสูงสุด $347 \text{ m}^2/\text{g}$ และปริมาณในการดูดซับของเหลวและไอระเหยโทลูอินมีค่าเท่ากับ 23.53% และ 51.95% (โดยน้ำหนัก)ตามลำดับ นอกจากนี้จากผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี ถึงแม้ว่าจะให้พื้นที่ผิวที่ต่ำกว่าวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ แต่จะมีความสามารถในการดูดซับไอระเหยของโทลูอินได้ในปริมาณที่มากกว่า ดังนั้น ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีจึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการดูดซับไอระเหยของโทลูอินได้ดีกว่าและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากทุกสภาวะในงานวิจัยนี้รวมทั้งถ่านกัมมันต์ที่ขาย

ตามท้องตลาดจะให้ผลการดูดซับปริมาณของเหลวโทลูอินได้ค่อนข้างต่ำ จึงไม่เหมาะ
ในการนำไปใช้ประโยชน์ในการดูดซับของเหลวโทลูอิน

A Study of Activated Carbon Production from Rice Husk

Somjai Kajorncheappunngam

Lecturer

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering Khon Kaen

Abstract

The purpose of this research work was to produce activated carbon from rice husk by steam and sodium hydroxide activation process. The temperature range of activation was $400-700^{\circ}\text{C}$ and the duration time of activation was 1-2 hours. This research work was also concerned on the process of producing activated carbon from rice husk without activation in order to compare the effect of activation process on the properties of the obtained activated carbon. The optimum process condition for activation such as temperature and time were determined. The properties of activated carbon such as BET surface area and amount of toluene adsorption were analyzed. The results show that the optimum condition for steam activation was 700°C for 1 hour giving the surface area of approximately $421\text{ m}^2/\text{g}$ and the capability to adsorb toluene solvent and toluene vapor were 11.92% and 7.94% (by wt.) respectively. The optimum condition for sodium hydroxide activation was 500°C for 30 minutes giving the activated carbon with surface area of $347\text{ m}^2/\text{g}$ and the amount of toluene adsorption on this activated carbon was 23.53% and

51.95% (by wt.) for toluene solvent and toluene vapor respectively. These results, in turn, indicate that sodium hydroxide activation produced activated carbon with higher adsorption for toluene vapor comparison with activated carbon from steam activation process. In addition, it was found that the adsorption capacity of toluene solvent was very low for all conditions. Thus, it is suggested that activated carbon produced from rice husk was not suited to adsorb toluene solvent.

บทนำ

ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) คือ วัสดุที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบโดยนำวัตถุดิบไปผ่านกระบวนการเปลี่ยนเป็นถ่าน (carbonization) และกระบวนการกระตุ้น (activation) ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะเป็นที่รู้จักกันมานานในแง่ของการใช้เป็นสารดูดซับ (adsorbent) ที่มีความสามารถในการดูดซับสูงทั้งนี้เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติที่พิเศษคือ มีพื้นที่ผิวสูงและมีรูพรุนมาก นอกจากนี้ตามผิวของรูพรุนเหล่านี้ยังมีอิเล็กตรอนอิสระที่พร้อมจะแลกเปลี่ยนประจุและยึดเหนี่ยวโมเลกุลของสารต่างๆ ได้อย่างดี[1] ดังนั้น จึงนิยมใช้ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับสารทั้งที่อยู่ในสถานะก๊าซและของเหลวในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างแพร่หลายโดยแบ่งการใช้งานตามลักษณะรูปร่างของถ่านกัมมันต์[2] คือ ถ่านกัมมันต์ชนิดที่เป็นผงละเอียดจะนำมาใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับสารละลายหรือของเหลวเช่น ใช้ในการฟอกสีน้ำตาลดิบ ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันพืชเพื่อฟอกสีและทำให้มีรสดีขึ้น ใช้ดูดกลิ่นและสีของผลิตภัณฑ์อาหาร ใช้ในการดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการในอุตสาหกรรมแอลกอฮอล์และเครื่องดื่ม และใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์เป็นต้น ส่วนถ่านกัมมันต์ที่เป็นเม็ดหรือเกล็ดจะนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการทำก๊าซให้บริสุทธิ์เช่น อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดก๊าซต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย และอุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษทั้งที่ใช้ในกิจการทหารและที่ใช้ในงานทั่วไป เป็นต้น

วัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ควรจะมีปริมาณคาร์บอนสูงและขี้เถ้า (ash) ต่ำ วัตถุดิบหลักที่มีกำเนิดมาจากพืชที่นิยมใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ได้แก่ ถ่านหิน ไม้ พืช[3] และจาก

สัตว์เช่นกระดูกสัตว์ และเลือด เป็นต้น นอกจากนี้ในระยะหลังได้มีนักวิจัยหันมาสนใจศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเช่น ชานอ้อย กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด เปลือกปาล์ม มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์

แกลบเป็นวัสดุหนึ่งซึ่งงานวิจัยนี้สนใจศึกษาเพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ ทั้งนี้เนื่องจากแกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีปริมาณมากมายมหาศาล ซึ่งนำไปสู่ปัญหาทางด้านการจัดการและวิธีการกำจัดทิ้ง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วแกลบจะถูกกำจัดทิ้งโดยวิธีการเผาซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ดังนั้น จึงได้มีความพยายามนำแกลบมาให้เกิดประโยชน์ให้มากที่สุด อันเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาการกำจัดแกลบและช่วยลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ปัจจุบันพบว่า แกลบถูกนำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ เช่น นำไปอัดเป็นแท่งเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือเผาแกลบโดยตรงเพื่อต้องการนำพลังงานความร้อนไปใช้ประโยชน์ อาทิเช่น การผลิตไอน้ำ การใช้แกลบเผาเพื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐ และซีเมนต์ราคาถูก เป็นต้น

แกลบนอกจากจะมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักแล้ว ยังมีองค์ประกอบที่เป็นธาตุคาร์บอนอยู่ด้วย คุณสมบัติที่สำคัญอีกข้อหนึ่งของแกลบคือ เมื่อนำแกลบไปเผาโดยมีการควบคุมอุณหภูมิในระหว่างเผาแล้วพบว่า แกลบเผาที่ได้จะมีโครงสร้างเป็นรูพรุน[4] และมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 35% โดยน้ำหนัก[5] จากการที่แกลบเผานี้มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ และมีโครงสร้างรูพรุนทำให้แกลบมีคุณสมบัติที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ได้

การผลิตถ่านกัมมันต์มีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 2 กระบวนการคือ กระบวนการเปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นถ่านกัมมันต์โดยการให้ความร้อน (carbonization) และกระบวนการกระตุ้น (activation) เพื่อกระตุ้นให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวมากขึ้น วิธีการกระตุ้นนี้อาจเป็นการกระตุ้นทางกายภาพโดยใช้ไอน้ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือ การกระตุ้นทางเคมีซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้เป็นตัวกระตุ้นได้แก่สังกะสีคลอไรด์ กรดฟอสฟอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติและคุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้คือ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการเผา และวิธีการกระตุ้น นอกจากนี้วัตถุดิบที่ต่างชนิดกันก็จะให้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติต่างกันด้วย ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมเช่น อุณหภูมิ และระยะเวลาในการทำ carbonization และ activation ที่เหมาะสม

ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเกลบโดยใช้วิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ (การกระตุ้นทางกายภาพ) และกระตุ้นด้วยสารเคมีโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

วิธีการทดลอง

การทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้คือ ส่วนแรกเป็นการผลิตถ่านกัมมันต์จากเกลบโดยทำการเผาเกลบที่สภาวะอุณหภูมิและเวลาต่างกัน ส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ที่สภาวะต่างๆ และส่วนที่ 3 เป็นการทดลองเพื่อหาปริมาณการดูดซับโพลีอินโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้เป็นตัวดูดซับ

การผลิตถ่านกัมมันต์จากเกลบ

การผลิตถ่านกัมมันต์โดยวิธีการเผาธรรมชาติ

ดำเนินการโดยทำการเผาเกลบในภาชนะเปิด ซึ่งจะทำการเผาแบบธรรมชาติโดยไม่มี การควบคุมอุณหภูมิในขณะเผา หลังจากการเผาไหม้สิ้นสุดลงปล่อยให้เกลบเผาเย็นตัวลงตามธรรมชาติแล้วทำการเก็บรวบรวมเกลบเผาที่ได้เพื่อนำไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวต่อไป

การผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำ

นำเกลบประมาณ 5 กรัมไปเผาในเตาปฏิกรณ์ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน โดยอัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่เตาปฏิกรณ์ $100 \text{ cm}^3/\text{min}$ และทำการเผาที่อุณหภูมิ 400°C ระยะเวลาในการเผา 30 นาที และ 1 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดการเผาในช่วงเวลาที่กำหนด ให้ทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำโดยการป้อนไอน้ำแทนการใช้ก๊าซไนโตรเจน อุณหภูมิที่ทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำคือ 600°C และ 700°C และระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นคือ 30 นาที และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อการกระตุ้นด้วยไอน้ำสิ้นสุดลงให้ทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องเพื่อเตรียมนำไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวต่อไป

การผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

นำเกลบจำนวน 20 กรัม ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 โมลาร์ จำนวน 100 cm³ และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาในเตาปฏิกรณ์ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 400°C และ 500°C เป็นระยะเวลา 30 นาที และ 1 ชั่วโมง สำหรับแต่ละอุณหภูมิ โดยให้อัตราการป้อนไนโตรเจนเข้าสู่เตาปฏิกรณ์เป็น 100 cm³/min หลังจากสิ้นสุดการเผาแล้วก็ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง นำเกลบเผาที่ได้ไปทำการกำจัดโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยการล้างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกจนเป็นกลาง (วัดค่าพีเอชได้เท่ากับ 7) แล้วล้างต่อน้ำกลั่นเพื่อกำจัดสารปนเปื้อนที่ละลายน้ำ (ที่ปนเปื้อนอยู่ในเกลบ) นำเกลบเผาไปอบแห้งในเตาอบสารเพื่อเตรียมนำไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวต่อไป

การเผาเกลบโดยไม่มีการกระตุ้น

นำเกลบประมาณ 5 กรัม ไปเผาในเตาปฏิกรณ์ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน โดยป้อนไนโตรเจนเข้าเตาในอัตราการไหล 100 cm³/min และทำการเผาที่อุณหภูมิ 400°C และ 500°C โดยใช้ระยะเวลาในการเผาแต่ละอุณหภูมินาน 1 ชั่วโมง หลังจากสิ้นสุดการเผาแล้วก็ปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วนำไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวต่อไป

สภาวะในการผลิตถ่านกัมมันต์ที่กล่าวมาข้างต้นได้รวบรวมและแสดงไว้ในตารางที่ 1

การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์

นำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ที่สภาวะต่างๆ (ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 1) ไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว (BET surface area) โดยใช้เครื่อง ASAP 2010 analyzer ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Micromeritics ประเทศสหรัฐอเมริกา

ตารางที่ 1
แสดงภาวะต่างๆ ที่ทำการเผาแกลบเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์

Sample number	Method	Carbonization Process		Activation Process			
				Physical (Steam)		Chemical (NaOH)	
		อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา
S1	เผาแบบธรรมชาติ	-	1 วัน	-	-	-	-
S2	เผาในเตาปฏิกรณ์และกระตุ้นด้วยไอน้ำ, Flow N ₂ = 100 cm ³ /min	400°C	30 นาที	600°C	30 นาที	-	-
S3		400°C	30 นาที	600°C	1 ชม.	-	-
S4		400°C	30 นาที	700°C	30 นาที	-	-
S5		400°C	30 นาที	700°C	1 ชม.	-	-
S6		400°C	1 ชม.	600°C	30 นาที	-	-
S7		400°C	1 ชม.	600°C	1 ชม.	-	-
S8		400°C	1 ชม.	700°C	30 นาที	-	-
S9		400°C	1 ชม.	700°C	1 ชม.	-	-
S10		400°C	30 นาที	-	-	100°C	18 ชม.
S 1	และกระตุ้นด้วย	400°C	1 ชม.	-	-	100°C	18 ชม.
S12	NaOH. Flow N ₂ = 100 cm ³ /min	500°C	30 นาที	-	-	100°C	18 ชม.
S13		500°C	1 ชม.	-	-	100°C	18 ชม.
S14	เผาในเตาปฏิกรณ์	400°C	1 ชม.	-	-	-	-
S15	โดยไม่ได้กระตุ้น	500°C	1 ชม.	-	-	-	-

การทดลองการดูดซับตัวทำละลายโทลูอินของถ่านกัมมันต์

ซึ่งถ่านกัมมันต์ 5 กรัม แล้วนำไปแช่ในตัวทำละลายโทลูอิน 100 มิลลิลิตร ที่บรรจุอยู่ในภาชนะปิดเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นทำการกรองแยกถ่านกัมมันต์ออกจากตัวทำละลายโทลูอิน ปล่อยให้ถ่านกัมมันต์แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน เพื่อให้โทลูอินที่มีได้ถูกดูดซับระเหยออกไป จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ไปชั่งน้ำหนักจนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง แล้วบันทึกผลและคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับตัวทำละลายโทลูอินโดยถ่านกัมมันต์

การทดลองการดูดซับไอระเหยโทลูอิน

เติมถ่านกัมมันต์ลงในท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1 นิ้ว และยาว 3 นิ้ว โดยที่ปลายด้านล่างของท่อพีวีซีจะบุด้วยสวตตะแกรงเพื่อป้องกันการร่วงหล่นของถ่านกัมมันต์ ซึ่งน้ำหนักของท่อพีวีซีที่บรรจุถ่านกัมมันต์ไว้ นำท่อพีวีซีที่บรรจุถ่านกัมมันต์ไปไว้ในภาชนะแก้วทรงสูงที่บรรจุของเหลวโทลูอิน 100 มิลลิลิตร และมีฝาปิดมิดชิด โดยปลายท่อพีวีซีนี้จะต้องอยู่เหนือระดับของเหลวโทลูอินที่บรรจุอยู่ จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ 3 วัน เพื่อให้ถ่านกัมมันต์ดูดซับไอระเหยของโทลูอินที่บรรจุอยู่ภายในภาชนะแก้ว จากนั้นนำท่อพีวีซีออกจากภาชนะแก้วทรงสูง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ไอโทลูอินที่มีได้ถูกดูดซับบนถ่านกัมมันต์ระเหยออกไป ทำการชั่งน้ำหนักของท่อพีวีซีที่บรรจุถ่านกัมมันต์นั้นจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แล้วทำการบันทึกผลและนำผลที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับไอระเหยโทลูอินโดยถ่านกัมมันต์ต่อไป

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ผลการทดลองการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักการดูดซับของเหลวโทลูอิน (ตัวทำละลายโทลูอิน) โดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากการเผาเกลสที่สภาวะต่างๆ ได้รวบรวมและแสดงไว้ในตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเกลสเพื่อให้ได้พื้นที่ผิวสูงสุดคือ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวิธีการกระตุ้นทางกายภาพด้วยไอน้ำเป็นเวลา 1 ชม. (S9) จะมีพื้นที่ผิวมากที่สุดคือประมาณ $421 \text{ m}^2/\text{g}$ ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นทางเคมีด้วย NaOH และทำการคาร์บอนไนซ์ที่ 500°C เป็นเวลา ? ชม (S12) จะให้พื้นที่ผิวสูงสุดประมาณ $347 \text{ m}^2/\text{g}$ ซึ่งทั้งสองสภาวะดังกล่าวข้างต้นถือเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อให้ได้พื้นที่ผิวสูงๆ อย่างไรก็ตามการผลิตถ่านกัมมันต์จากเกลสจะให้พื้นที่ผิวค่อนข้างต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบกะลามะพร้าว โดยจากผลงานวิจัยของพลัฏฐ์ และคณะ [6] แสดงให้เห็นว่าสามารถผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่อุณหภูมิการเผา 800°C เป็นเวลา 2 ชม. จะให้พื้นที่ผิวสูงสุดถึง $975 \text{ m}^2/\text{g}$

ตารางที่ 2

แสดงผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของการดูดซับของเหลวโทลูอีนของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากการเผาแกลบที่สภาวะต่างๆ

Sample number	พื้นที่ผิว (m ² /g)	% น้ำหนักการดูดซับของเหลวโทลูอีน	Sample number	พื้นที่ผิว (m ² /g)	% น้ำหนักการดูดซับของเหลวโทลูอีน
S*o	706.2	12.25	S8	246.323	1.92%
S1	22.612	0%	S9	421.815	11.92%
S2	255.017	1.93%	S10	52.289	0%
S3	300.425	4.21%	S11	51.277	0.5%
S4	321.112	3.76%	S12	347.373	23.53%
S5	381.469	10.47%	S13	329.156	20.19%
S6	222.158	1.25%	S14	12.983	0%
S7	249.577	1.89%	S15	21.739	0%

หมายเหตุ * คือ commercial activated carbon

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 2 ยังแสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีพื้นที่ผิวต่างกันขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยพบว่าตัวอย่างที่ S5 S9 S12 และ S13 เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวก่อนข้างสูงจึงสามารถดูดซับของเหลวโทลูอีนได้ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ที่สภาวะอื่น ข้อสังเกตที่เห็นเด่นชัดอีกอย่างหนึ่งก็คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวก่อนข้างต่ำ (ตัวอย่างที่ S1 S10 S14 และ S15) ไม่ดูดซับของเหลวโทลูอีนเลย จากผลการทดลองที่ได้จึงสนใจเลือกเฉพาะถ่านกัมมันต์ที่มีค่าพื้นที่ผิวสูง และสามารถดูดซับของเหลวโทลูอีนได้ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง (ตัวอย่างที่ S5 S9 S12 และ S13) มาทำการศึกษาทดสอบคุณสมบัติความสามารถในการดูดซับไอระเหยของโทลูอีนต่อไปนี้ ซึ่งผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3

แสดงพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของของเหลวโทลูอินและไอระเหยโทลูอินที่ถูกดูดซับบนถ่านกัมมันต์

Sample	พื้นที่ผิว (m ² /g)	% น้ำหนักการดูดซับของเหลวโทลูอิน (เทียบกับถ่านกัมมันต์ 100 g)	% น้ำหนักการดูดซับไอโทลูอิน (เทียบกับถ่านกัมมันต์ 100 g)
S*	706.2	12.25	224.41
S5	381.469	10.47	8.729
S9	421.815	11.92	7.948
S12	347.373	23.53	51.957
S13	329.156	20.19	46.658

หมายเหตุ * คือ commercial activated carbon

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับไอระเหยโทลูอินของถ่านกัมมันต์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์เพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นกับปัจจัยอื่นอีก อาทิเช่น สารตัวอย่างที่ S5 และ S9 ซึ่งเป็นถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่มีพื้นที่ผิวค่อนข้างสูงแต่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับไอโทลูอินต่ำกว่าเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นโดยการกระตุ้นด้วยเคมี (S12 และ S13) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากขนาดของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ S5 และ S9 ที่เตรียมได้มีขนาดรูพรุนเล็กกว่าขนาดรูพรุนของตัวอย่างที่ S12 และ S13 (ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดรูพรุนเล็กจะมีค่าพื้นที่ผิวสูง) และเล็กกว่าขนาดของโมเลกุลของไอของโทลูอินด้วย จึงทำให้ถ่านกัมมันต์ S5 และ S9 ไม่สามารถดูดซับไอของโทลูอินเข้าไปได้ ทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักการดูดซับไอโทลูอินของถ่านกัมมันต์ S5 และ S9 มีค่าต่ำ จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า สารตัวอย่าง S12 และ S13 มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับไอระเหยโทลูอินสูงเนื่องมาจากปัจจัย 2 ประการ คือ 1) ขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ S12 และ S13 มีขนาดใหญ่กว่าขนาดโมเลกุลของไอโทลูอิน 2) ตามผิวของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ S12 และ S13 มี active site ที่เหมาะสมหรือมีอิเล็กตรอนอิสระที่พร้อมจะแลกเปลี่ยนประจุและยึดเหนี่ยวโมเลกุลของไอโทลูอินที่มาเกาะยึดได้ดีขึ้น active site ที่เกิดขึ้นบนผิวของถ่านกัมมันต์ S12 และ S13 อาจเกิดขึ้นในช่วงที่ทำการกระตุ้นทางเคมีของสารตัวอย่าง ซึ่งสารเคมีที่ใช้กระตุ้นคือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

สำหรับถ่านกัมมันต์ S_0 (commercial activated carbon) ซึ่งเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดจะมีพื้นที่ผิวค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากแกลบในงานวิจัย และถ่านกัมมันต์ S_0 นี้สามารถดูดซับไอระเหยโทลูอินได้มากกว่าถ่านกัมมันต์ S5 S9 S12 และ S13 ค่อนข้างมาก ซึ่งจากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับไอโทลูอินของถ่านกัมมันต์ S_0 สูงถึง 224.41% ซึ่งแสดงว่า ถ่านกัมมันต์ที่ขายในท้องตลาดนั้นมีคุณสมบัติที่ดีสามารถใช้ดูดซับไอโทลูอินได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากแกลบ ทั้งนี้เนื่องจาก ถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดจะมีพื้นที่ผิวสูง มีขนาดของรูพรุนที่โตกว่าโมเลกุลของไอโทลูอิน และมีขนาดรูพรุนที่สม่ำเสมอและอาจมี active site ที่เหมาะสมที่ผิวของรูพรุนซึ่งช่วยยึดเหนี่ยวโมเลกุลของไอโทลูอินได้ดีอีกด้วย

สำหรับการเผาแกลบเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์โดยไม่มีการกระตุ้นทางกายภาพหรือทางเคมีเลย ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4

แสดงพื้นที่ผิวและเปอร์เซ็นต์การดูดซับโทลูอินของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผาแกลบที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการกระตุ้นใดๆ เลย

Sample	Method	พื้นที่ผิว (m^2/g)	% น้ำหนักการดูดซับ ของเหลวโทลูอิน	% น้ำหนักการดูดซับ ไอโทลูอิน
S1	เผาแบบธรรมชาติ	22.612	0	0.5284
S14	เผาในเตาปฏิกรณ์โดยไม่ได้กระตุ้นที่ $400^\circ C$	12.983	0	2.298
S15	เผาในเตาปฏิกรณ์โดยไม่ได้กระตุ้นที่ $500^\circ C$	21.739	0	2.713

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่า การเผาโดยไม่มีการกระตุ้นใดๆ (ทางกายภาพหรือทางเคมี) ไม่ว่าจะเผาแบบธรรมชาติโดยไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ หรือเผาในเตาปฏิกรณ์จะให้ผลในแง่ของพื้นที่ผิวที่ค่อนข้างต่ำมากๆ ในทุกกรณีซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเผาแกลบโดยไม่ผ่านกระบวนการกระตุ้นใดๆ จะไม่ก่อให้เกิดรูพรุนที่ผิวของแกลบเผาเลย จึงทำให้แกลบ

เผาที่ได้มีพื้นที่ผิวต่ำมากๆ ดังนั้น จึงส่งผลให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีความสามารถดูดซับไอโกลูอินได้น้อยมากและไม่ดูดซับของเหลวโกลูอินเลย

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากแกลบโดยทำการเผาแกลบในสภาวะที่ต่างกัน ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ถูกนำมาวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและศึกษาหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับของเหลวโกลูอิน และไอระเหยโกลูอินบนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติและความสามารถในการดูดซับโกลูอินของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากแกลบกับถ่านกัมมันต์ที่มีขายในท้องตลาด จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากแกลบ โดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำ เพื่อให้ได้พื้นที่ผิวสูงสุดคือ สภาวะที่ทำการคาร์บอนไนซ์แกลบที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน แล้วทำการกระตุ้นต่อด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 700°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิว $421.815 \text{ m}^2/\text{g}$
2. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากแกลบโดยการกระตุ้นทางเคมีเพื่อให้ได้พื้นที่ผิวสูงสุดคือ สภาวะที่ทำการกระตุ้นแกลบด้วยสารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้น 10 โมลลาร์เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ภายใต้อุณหภูมิ 100°C ตามด้วยการทำ carbonization (แกลบที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมีแล้ว) ที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิว $347.373 \text{ m}^2/\text{g}$
3. ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากแกลบ และถ่านกัมมันต์ที่มีขายในท้องตลาดจะสามารถดูดซับของเหลวโกลูอินได้ค่อนข้างน้อย
4. ความสามารถในการดูดซับไอระเหยของโกลูอินโดยถ่านกัมมันต์เป็นดังนี้คือ ถ่านกัมมันต์ที่ขายในท้องตลาดจะดูดซับไอโกลูอินได้มากที่สุด รองลงมาได้แก่ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากแกลบที่กระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลาย NaOH และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากแกลบและกระตุ้นด้วยไอน้ำจะดูดซับไอโกลูอินได้น้อยที่สุด

5. ความสามารถในการดูดซับไอโกลูอินของถ่านกัมมันต์ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้
พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์เพียงอย่างเดียว ขนาดของรูพรุนและความสม่ำเสมอของรูพรุน และ active site บนผิวของถ่านกัมมันต์ เป็นต้น
6. ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากการเผาเกลบในช่วงอุณหภูมิ $500 - 700^{\circ}\text{C}$ โดยไม่ได้ผ่านการกระตุ้นใดๆ จะให้พื้นที่ผิวดำมากมาย
7. ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเกลบในงานวิจัยนี้มีพื้นที่ผิวและความสามารถในการดูดซับไอโกลูอินที่ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีขายในท้องตลาด ดังนั้น จะต้องมีการวิจัยเพื่อพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเกลบให้ดีกว่านี้ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับปรุงและพัฒนากระบวนการเตรียมถ่านกัมมันต์ โดยเฉพาะการกระตุ้นด้วยสารเคมีเช่น อาจลองใช้สารเคมีชนิดอื่นในการกระตุ้นเพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีขึ้น
2. ควรทำการทดลองศึกษาผลกระทบของปัจจัยอื่นๆ เช่น ขนาดของรูพรุน การกระจายตัวของรูพรุน ชนิดของ active site และขนาดของอนุภาคถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อการดูดซับสารบนถ่านกัมมันต์
3. ศึกษาการออกแบบและสร้างเตาเผาปฏิกรณ์ที่สามารถเผาเกลบได้ในปริมาณมากๆ ต่อการเผาในแต่ละครั้ง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับการให้ทุนสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัยในโครงการนี้ และขอขอบคุณ คุณบุญมาศ นันทยทวิกุล คุณณรงค์ วรวิเศษ และคุณสมยศ สุรศักดิ์สกุล ที่ช่วยเหลืองานทางด้านการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

1. ดำรง ขุนมงคล "การผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ NaCl เป็นตัวกระตุ้น", วิศวกรรมสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 43, (6), 2533, หน้า 96-99.
2. สรุปลาวรรณกิจ "การเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม", 23 (27), 2533 หน้า 35-44.
3. วิโรจน์ วิภาตแพทย์, "อุตสาหกรรมการผลิตถ่านที่มีปฏิกิริยา (Active Carbon)", อุตสาหกรรมสาร, 18 (3), 2518, หน้า 1-13.
4. Kauup, A., *Gasification of Rice Hulls Theory and Praxis*, Friedr. Vieweg & Sohn Braunschweig/Wiesbaden, 1984.
5. Wang, N. and Low, M.J.D., *Spectroscopic Studies of Carbons*. XVII : The Charing of Rice Hulls, Materials Chemistry and Physics, 26, pp 117-130, 1990.
6. พลัฏฐ์ โสภณกิจโกศล, สุภาภรณ์ เชื้อประเสริฐ และวิไล ลือวิสุทธิชาติ, "การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวเพื่อใช้ในการดูดซับโลหะโครเมียม (VI) จากน้ำเสียอุตสาหกรรม" การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมี และเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10, BITEC กรุงเทพฯ, 26-28 ตุลาคม 2543, หน้า 310-316.