

ภ. 30-14/รายงานฉบับที่ 1

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

การวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพรุในห้องปฏิบัติการ

โดย

เกศรา นุตาลัย

บุญชัย ตระกูลมหชัย

ทัศนีย์ เพ็ญจันทิก

กรรณิการ์ สถาปิตานนท์

ศิลปชัย อรัญยะนาถ

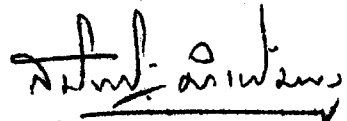
เพิ่มสุข มาทะ

จิตต์ ศรีวรรณวิทย์

วท., กรุงเทพฯ 2531

ห้ามนำไปพิมพ์เผยแพร่โดยมิได้รับการอนุญาตจาก วท.

รายงานฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้พิมพ์โดย
ผู้ว่าการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย



(ศาสตราจารย์พิเศษ ดร. สมิทธิ คำเพิ่มพูล)

ผู้ว่าการ

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

โครงการวิจัยที่ ก. 30-14

โครงการวิจัยและพัฒนาคินพรุเพื่อประโยชน์ทางอุตสาหกรรม

รายงานฉบับที่ 1

การวิจัยการผลิตานกัมมันต์จากคินพรุในห้องปฏิบัติการ

โดย

เกศรา นุกาศัย

บุญชัย กระจุกมทชัย

ทัศนีย์ เพ็ญจันทร์

กรรณิการ์ สถาปิตานนท์

ศิลปชัย อรัญยะนาถ

เพิ่มสุข มาทะ

จิกต์ ศรีวรวรณวิทย์

วท., กรุงเทพฯ 2531

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	๑
ABSTRACT	1
บทคัดย่อ	3
1. บทนำ	4
1.1 อุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์	4
1.1.1 วัตถุประสงค์	4
1.1.2 กรรมวิธีการผลิตและอุปกรณ์	5
1.1.3 การใช้ประโยชน์และการนำเข้าผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์	13
1.2 การผลิตถ่านกัมมันต์จากหินปูน	20
1.3 คุณสมบัติและการทดสอบถ่านกัมมันต์	21
1.3.1 ชนิดและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์	21
1.3.2 มาตรฐานและวิธีการทดสอบ	23
2. การทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากหินปูน	25
2.1 วิธีการกระตุ้นโดยใช้สารเคมี $ZnCl_2$	25
2.1.1 วัสดุและอุปกรณ์	25
2.1.2 สภาวะและผลการทดลอง	26
2.2 วิธีการกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำ	36
2.2.1 วัสดุและอุปกรณ์	36
2.2.2 สภาวะและผลการทดลอง	36
3. วิจารณ์และสรุป	41
3.1 ผลการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากหินปูนโดยวิธีกระตุ้นด้วยสารเคมี $ZnCl_2$	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 ผลการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากกิ้นพรุโดยวิธีกระตุ้นด้วยไอน้ำ	44
3.3 ผลการทดสอบการใช้ถ่านกัมมันต์ในการฟอกสีสารละลายกากน้ำตาล (molasses) และน้ำมันพืช	49
4. คำขอบคุณ	53
5. เอกสารอ้างอิง	53
ภาคผนวก 1 การทดสอบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์	55
ภาคผนวก 2 การทดลองลดความเป็นกรดของกิ้นพรุและถ่านกัมมันต์ผลิตจากกิ้นพรุ	65
ภาคผนวก 3 การหาปริมาณความเข้มข้น methylene blue ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการหาค่า methylene blue adsorption	70
ภาคผนวก 4 วิธีการทดลองฟอกสีสารละลายกากน้ำตาล (molasses) และน้ำมันพืช	71

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าด้านกัมมันต์ของประเทศไทย	15
ตารางที่ 1.2 ส่วนประกอบของคินพรุ (ร้อยละของน้ำหนักสารอินทรีย์แห้ง)	20
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างคินพรุและค่า proximate analyses ของคิน ซึ่งใช้ในการทดลอง	28
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติบางประการของตัวอย่างคินพรุก่อนนำไปผลิตเป็นถ่าน กัมมันต์	29
ตารางที่ 2.3 ผลของการแปรค่าอัตราส่วนของคิน : $ZnCl_2$, อุณหภูมิและเวลา การกระตุ้นที่มีต่อค่า iodine no. ของถ่านกัมมันต์	30
ตารางที่ 2.4 ผลของการแปรค่าอัตราส่วนของคิน : $ZnCl_2$, อุณหภูมิและเวลา การกระตุ้นที่มีต่อค่า methylene blue adsorption ของ ถ่านกัมมันต์	31
ตารางที่ 2.5 ผลของการแปรค่าอัตราส่วนของคิน : $ZnCl_2$, อุณหภูมิและเวลา การกระตุ้นที่มีต่อค่าพื้นที่ผิวอนุภาคของถ่านกัมมันต์	32
ตารางที่ 2.6 ผลของการแปรค่าอัตราส่วนของคิน : $ZnCl_2$, อุณหภูมิและเวลา การกระตุ้นที่มีต่อค่าร้อยละของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้	33
ตารางที่ 2.7 รายละเอียด proximate analyses ของถ่านกัมมันต์ที่ทดลอง ผลิตโดยใช้สารเคมี $ZnCl_2$ กระตุ้น	34
ตารางที่ 2.8 ผลของอุณหภูมิและเวลาการกระตุ้นถ่านคินพรุด้วยไอน้ำ ที่มีต่อ คุณสมบัติต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์	39
ตารางที่ 2.9 รายละเอียด proximate analyses ของถ่านกัมมันต์ที่ ทดลองผลิตโดยใช้ไอน้ำกระตุ้น	40

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 2.10 Particle size distribution ของเม็กลำดินพรุ ที่สภาวะต่าง ๆ	40
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ซึ่งผลิตขายในตลาด	45
ตารางที่ 3.2 ผลการทดลองใช้ถ่านกัมมันต์ฟอกสีสารละลายกากน้ำตาล และน้ำมันพืช	50
ตารางที่ 3.3 รายการเครื่องมือและอุปกรณ์ใช้ในโรงงานต้นแบบผลิตถ่านกัมมันต์ จากดินพรุ ขนาด 50-100 กก. ถ่านกัมมันต์/วัน	52
ตารางที่ ผ.1 ค่าแก้ (Correction factor) สำหรับค่า iodine no.	57
ตารางที่ ผ.2 การเปลี่ยนแปลงของ pH ของดินพรุ เมื่อใช้ปริมาณ $CaCO_3$ ต่าง ๆ	65
ตารางที่ ผ.3 การเปลี่ยนแปลงของ pH ของดินพรุ เมื่อใช้ปริมาณ $Ca(OH)_2$ ต่าง ๆ	67
ตารางที่ ผ.4 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์หลังจากปรับ pH ด้วยสารละลายต่าง ต่าง ๆ	69
ตารางที่ ผ.5 ผลการทดลองหาปริมาณความเข้มข้น methylene blue ที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการหาค่า methylene blue adsorption	70

สารบัญภาพ

	หน้า	
รูปที่ 1.1	กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์	5
รูปที่ 1.2	การเปลี่ยนแปลงของการจัดเรียงของคาร์บอนอะตอมตามอุณหภูมิที่เผา	7
รูปที่ 1.3	ปริมาณการนำเข้่าถ่านกัมมันต์ของประเทศไทย	16
รูปที่ 1.4	มูลค่าการนำเข้่าถ่านกัมมันต์ของประเทศไทย	17
รูปที่ 1.5	ราคาเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์ซึ่งนำเข้่าจากต่างประเทศ	18
รูปที่ 1.6	สถิติการนำเข้่าผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ของประเทศไทย	19
รูปที่ 2.1	ท่อเคาเผาถ่านดินพฤษภาคมห้องปฏิบัติการ	37
รูปที่ 2.2	ท่อส่งผ่านไอน้ำเข้าเคาเผา	37
รูปที่ 3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า iodine no. และค่าพื้นที่ผิวอนุภาคของถ่านกัมมันต์	47
รูปที่ 3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า methylene blue adsorption และค่าพื้นที่ผิวอนุภาคของถ่านกัมมันต์	48
รูปที่ ผ.1	กระบอกสูบและลูกสูบ	61
รูปที่ ผ.2	การเปลี่ยนแปลงของ pH ของดินพฤษภาคมเมื่อใช้ปริมาณ CaCO_3 ต่าง ๆ	66
รูปที่ ผ.3	การเปลี่ยนแปลงของ pH ของดินพฤษภาคมเมื่อใช้ปริมาณ Ca(OH)_2 ต่าง ๆ	68

คำนำ

รายงานการวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพุดในห้วงปฏิบัติการฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยและพัฒนาดินพุดเพื่อประโยชน์ทางอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นโครงการใหญ่ประกอบด้วย :

- โครงการสำรวจ เก็บตัวอย่าง และวิเคราะห์ดินพุด
- โครงการใช้ประโยชน์ของดินพุดในค่านพลังงาน
- โครงการวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพุด

นอกจากนี้ยังเป็นโครงการร่วมในโครงการศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิภพทอง อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดนราธิวาส โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อศึกษาหาแนวทางการใช้ประโยชน์ดินพุด ซึ่งมีปริมาณมหาศาลในบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย, โดยเฉพาะในเขตพื้นที่จังหวัดนราธิวาส ซึ่งมีพื้นที่ดินพุดประมาณ 300,000 ไร่.

INVESTIGATION ON PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON
FROM PEAT SOILS IN LABORATORY

By Kesara Nutalaya, Boonchai Trakulmahachai,
Tasanee Peujantuk, Kannika Sthapitanonda,
Silpachai Arunyanak, Permsuk Mata
and Jit Sriwanawit

ABSTRACT

Peat soils from Bacho swamp in Narathiwat Province were used to produce activated carbon on laboratory scale at Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR) applying either $ZnCl_2$ activation or superheated steam activation technique. Common activation parameters used were temperature and time. Variation on ratio of soils and $ZnCl_2$ chemical was also tested for $ZnCl_2$ activation technique. Activated carbon properties tested in the laboratory included iodine no., methylene blue adsorption, particle surface area (B.E.T.), proximate analysis, S content, moisture, bulk density, pH and also particle size distribution only for activated carbon produced from superheated steam method.

From the result of the experiments, it was found that activated carbon produced from peat soils with high fixed carbon and low ash using soils and $ZnCl_2$ chemical ratio of 1:4, activation temperature of $600^{\circ}C$ and time of more than 0.5 hr would possess good properties comparable to commercial ones, i.e. iodine no. 1,200-1,300 or more mg/g, methylene blue adsorption 200-300 or more mg/g, particle surface area 1,200-1,500 or more m^2/g . Besides, these activated carbons also consisted of fixed carbon as high as 80-90%, S content lower than 0.06% and pH ranged between 2-3 which could be adjusted by using basic solutions. For activated carbon from superheated steam activation which had to be pressed into granular possessed lower quality i.e. activated carbon passing through superheated steam at $900^{\circ}C$ for 4 hr would have iodine no. of about 1,200 mg/g, methylene blue adsorption of 296 mg/g and particle surface area of $881 m^2/g$. Moreover, it was also noticed that the percentage yield of activated carbon produced from

steam activation was very low (8%) compared with the ones activated by ZnCl_2 chemical (49-54%).

TISTR also used produced activated carbons to decolourize molasses solutions and vegetable oils to compare with commercial activated carbons. Machines and equipment for producing activated carbon from peat soils using ZnCl_2 activation technique at pilot plant scale of 50-100 kg activated carbon per day are also listed. The results from the pilot plant experiments would reveal the feasibility of the technology on technical, economical and environment aspects for further industrial transfer.

การวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์จากคินพรุในห้องปฏิบัติการ

โดย เกศรา นุตาลัย*, บุญชัย ตระกูลมหชัย*, ทศนีย์ เพ็ญจันทร์*,
กัรรณิการ์ สถาปิตานนท์*, ศิลปชัย อรัญยะนาท*, เพิ่มสุข มาทะ* และ จิตต์ ศรีวรรณวิทย์*

บทคัดย่อ

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) ได้ทดลองนำดินจากพรุมาเจาะ จ.นราธิวาส มาทดลองผลิตถ่านกัมมันต์ในชั้นห้องปฏิบัติการ โดยใช้วิธีกระตุ้นด้วยสารเคมี $ZnCl_2$ หรือ วิธีกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวด. ตัวแปรรวมซึ่งใช้ในการกระตุ้นก็คือ อุณหภูมิและเวลา. สำหรับการกระตุ้นด้วยสารเคมี $ZnCl_2$ มีการแปรอัตราส่วนของดินต่อสารเคมีด้วย. คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้แก่ ค่า iodine no., methylene blue adsorption, พื้นที่ผิวอนุภาค (B.E.T.), proximate analysis, ปริมาณ S , ความชื้น, ความหนาแน่นเชิงปริมาตร และ pH. สำหรับถ่านซึ่งกระตุ้นด้วยไอน้ำนั้น จะมีการวิเคราะห์หา particle size distribution ด้วย.

จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่า ถ่านกัมมันต์ซึ่งผลิตจากคินพรุที่มีค่า fixed carbon สูง, ค่าค่าค่า, และใช้อุณหภูมิเมื่อกระตุ้นด้วยสารเคมีอัตราส่วน 1:4 ที่ $600^{\circ}C$. และเวลามากกว่า 0.5 ชม. จะมีคุณสมบัติที่เทียบเท่าถ่านกัมมันต์ในเชิงการค้าทั่วไป กล่าวคือ มีค่า iodine no. 1,200-กว่า 1,300 มก./ก., methylene blue adsorption 200-กว่า 300 มก./ก., พื้นที่ผิวอนุภาค 1,200-กว่า 1,500 m^2/g . นอกจากนี้ยังวิเคราะห์พบว่า ถ่านกัมมันต์เหล่านี้มี fixed carbon สูงระหว่างร้อยละ 80-90, และมีปริมาณ S ต่ำกว่าร้อยละ 0.06, ส่วน pH อยู่ระหว่าง 2-3 ซึ่งสามารถปรับเพิ่มขึ้นได้โดยใช้สารละลายด่าง. สำหรับถ่านกัมมันต์ซึ่งผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวดโดยต้องอัดเป็นเม็ดก่อนกระตุ้น จะมีคุณสมบัติต่ำกว่า กล่าวคือถ่านกัมมันต์ซึ่งกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวดที่ $900^{\circ}C$. เป็นเวลา 4 ชม. จะมีค่า iodine no. ประมาณ 1,200 มก./ก., methylene blue adsorption 295 มก./ก. และพื้นที่ผิวอนุภาค 881 m^2/g . นอกจากนี้ยังพบว่า yield ของการกระตุ้นด้วยไอน้ำจะได้น้อยมากเพียงร้อยละ 8 เมื่อเทียบกับร้อยละ 49-54 ของการกระตุ้นด้วยสารเคมี $ZnCl_2$.

* สาขาวิจัยอุตสาหกรรมเคมี, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

วท. ได้ทดลองนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ไปพอกสีสารละลายน้ำตาล และน้ำมันพืชเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ในห้องตลาด และจัดทำรายการอุปกรณ์และเครื่องมือเพื่อใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากคินพรูในชั้นโรงงานต้นแบบ ขนาด 50-100 กก. ถ่านกัมมันต์/วัน โดยวิธีกระตุ้นด้วยสารเคมี $ZnCl_2$ เพื่อรวบรวมข้อมูลศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมในการถ่ายทอดเทคโนโลยีนี้สู่ผู้ประกอบการต่อไป:

1. บทนำ

1.1 อุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์

1.1.1 วัตถุดิบ

จากการศึกษาพบว่า การผลิตถ่านกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรง หรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้.

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ มักจะพิจารณาจากอินทรีย์วัตถุ (หมายถึงสารที่มีคาร์บอน และไฮโดรเจน เป็นองค์ประกอบ) เป็นส่วนใหญ่ เช่น ชานอ้อย (bagasses), กระจุก, เลื่อย, กะลามะพร้าว, เมล็ดกาแฟ, กากน้ำตาล (molasses), แกลบ และไม้.

อินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ดังกล่าว สามารถแบ่งเป็นชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้:

ก. พวกเซลลูโลสที่มาจากพืช เช่น แกลบ, กะลามะพร้าว, ชี้อ้อย, ชานอ้อย, ชังข้าวโพก.

ข. พวกถ่านหิน เช่น ลิกไนต์, พีท (peat), บิทูมินัส (bituminous).

ค. วัตถุดิบที่มาจากสัตว์ เช่น กระจุก.

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ในรูปของ "ถ่าน" นั้น พบว่าส่วนมากมักใช้ถ่านที่ได้จากการเผาอินทรีย์วัตถุ ซึ่งเราเรียกกันว่า "ถ่านสังเคราะห์" (artificial char) เป็นส่วนใหญ่, อาจใช้ถ่านที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น แกรไฟต์, แอนทราไซต์ ด้วย.

ถ่านที่ได้จากอินทรีย์วัตถุ (artificial char) ยังแบ่งออกตามอินทรีย์วัตถุที่นำมาใช้ได้ 2 ประเภทคือ:

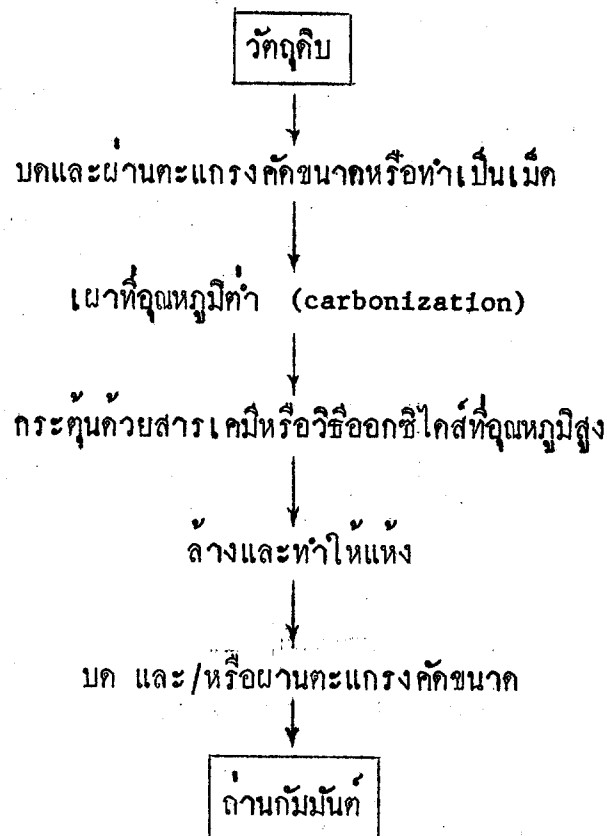
(1) Hard artificial char เช่น ถ่านน้ำตาล, ถ่านที่ได้จากเมล็ดผลไม้ (fruit pit char), ถ่านไม้ที่เผาที่ความดันสูง (high-pressure wood charcoal).

(2) Soft artificial char เช่น ถ่านไม้, ถ่านชานอ้อย, ถ่านแกลบ ถ่านหินน้ำมัน (oil shale char), ถ่านกากน้ำตาล (molasses char) (Berl 1938).

ถ่านหรือวัตถุดิบเหล่านี้ ยังไม่มีคุณสมบัติการดูดซับที่ดีแต่อย่างใด เราสามารถทำเป็นถ่านที่มีคุณสมบัติดูดซับดีขึ้น หรือที่เรียกว่า "ถ่านกัมมันต์" โดยใช้กระบวนการกระตุ้นด้วยวิธีทั้งทางเคมีและทางกายภาพต่อไป.

1.1.2 กรรมวิธีการผลิตและอุปกรณ์

ในปัจจุบันกรรมวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายวิธี ขึ้นอยู่กับว่าวัตถุดิบที่ใช้เป็นอะไร และต้องการถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติอย่างไร. กรรมวิธีโดยทั่วไปประกอบด้วย การเตรียมวัตถุดิบ ซึ่งรวมถึงการอบแห้ง, การบด, การทำเป็นเม็ด, การเผาที่อุณหภูมิต่ำ เป็นต้น. จากนั้นจึงนำไปกระตุ้นด้วยสารเคมีหรือสารออกซิไดส์ต่าง ๆ เพื่อทำเป็นถ่านกัมมันต์ กระบวนการผลิตมีดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1. กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์.

เนื่องจากวิธีการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์เป็นทวิปัจจัยที่สำคัญของคุณสมบัติ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ รายงานนี้จะได้กล่าวเน้นถึงวิธีการกระตุ้นโดยละเอียดต่อไป.

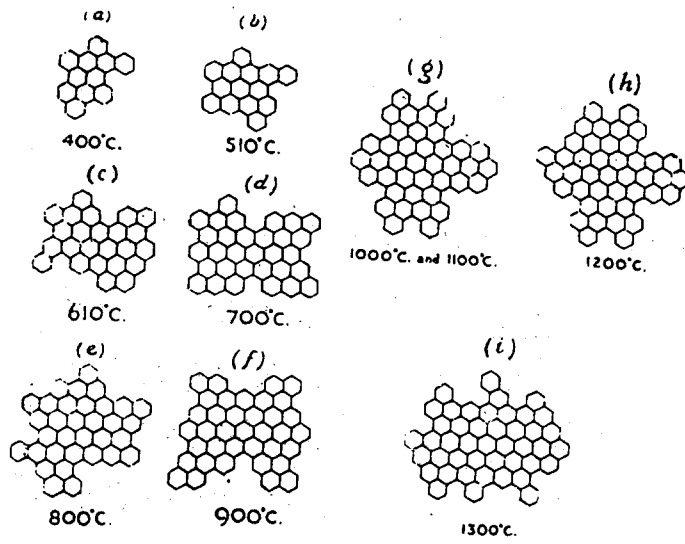
การกระตุ้น (activation) นั้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว โดยทำให้สารมีรูพรุนมากขึ้น และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสารอื่น ๆ ของถ่านกัมมันต์. อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการกระตุ้นไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด. สาเหตุหนึ่งก็เนื่องมาจากว่าวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากมายหลายวิธี. นอกจากนี้ประสิทธิภาพของการกระตุ้นยังขึ้นกับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบ รวมถึงวิธีการอื่น ๆ ก่อนการกระตุ้นด้วย. สารจำพวกถ่านหรือถ่านกัมมันต์นั้น จัดเป็นสารจำพวก amorphous carbon แต่มีรูปลักษณะของผลึกอยู่บ้าง เมื่อศึกษาคด้วย X-ray diffraction จึงมีชื่อเรียกว่า crystallites. สาร amorphous นี้ ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอน จัดเรียงอยู่ในรูป hexagonal lattice. โดยทั่วไป crystallites เหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างตามอุณหภูมิที่เผา (carbonization) ดังแสดงในรูป 1.2. นอกจากนี้รูปร่างอะตอมของคาร์บอนยังเปลี่ยนแปลงตามส่วนประกอบและโครงสร้างของวัตถุดิบอีกด้วย. Hassler (1967) ได้รวบรวมข้อมูลและวิจารณ์ปฏิกิริยาระหว่างการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์โดยวิธีต่าง ๆ.

Berl (1938) ได้แบ่งวิธีการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ดังนี้:

- (1) การกระตุ้นด้วยสารประกอบของโปแตสเซียม (K) หรือโซเดียม (Na).
- (2) การกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดส์ (oxidizing gas).
- (3) การกระตุ้นโดยใช้สารดูดน้ำ (dehydrating agent) ดังจะได้กล่าวต่อไป.

(1) การกระตุ้นด้วยสารประกอบของ K หรือ Na

เมื่อให้ความร้อนแก่วัตถุดิบที่ต้องการทำเป็นถ่านกัมมันต์ ซึ่งผสมสารละลายที่มีไอออนของโปแตสเซียมหรือไอออนโซเดียม (K^+ or Na^+), ไอออนเหล่านี้จะแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างชั้นของผลึกแกรไฟต์. เมื่ออุณหภูมิสูงมากกว่า $700^{\circ}C$. โมเลกุลของ H_2O , CO_2 , O_2 จะหลุดออก ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ตามต้องการ. จากการศึกษพบว่าการใช้สารประกอบของ K

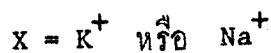


รูปที่ 1.2 การเปลี่ยนแปลงของการจัดเรียงของคาร์บอนอะตอมตามอุณหภูมิที่เผา.

ที่มา : Hassler (1967)

เป็นตัวกระตุ้น จะให้ถ่านที่มีคุณภาพดีกว่าการใช้สารประกอบของ Na เป็นตัวกระตุ้น, และพบว่าโปแตสเซียมซัลไฟต์ (K_2S) เป็นตัวกระตุ้นที่ดีที่สุดในกลุ่มตัวกระตุ้นชนิดนี้.

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ มีดังนี้:



ในอุตสาหกรรมมีการนำสารประกอบเหล่านี้มาใช้บ้าง ได้แก่:

ก. สารประกอบคาร์บอเนต เช่น โปแตสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) หรือ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) สารประกอบประเภทนี้ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือก. วิธีผลิตทำได้โดย นำเปลือกที่แห้งมา 8 ส่วน ผสมกับสารกระตุ้น 1 ส่วน, จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800°C . ในที่อับอากาศ ทั้งนี้การใช้ปริมาณสารกระตุ้นจะเปลี่ยนไปตามชนิดวัตถุที่ใช้ด้วย.

ข. ค่าง caustic เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) หรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH). ในอุตสาหกรรมไม่นิยมใช้สารประเภทนี้ เพราะปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะรุนแรง รวมทั้งมีผลทำลายภาชนะที่ใช้ด้วย.

ค. ซัลไฟต์และไซโอไซยาเนต การใช้สารประกอบประเภทนี้ เป็นการประยุกต์จากการใช้สารจำพวกต่าง โดยทำให้ปฏิกิริยามีความรุนแรงน้อยลง, ตัวอย่างการใช้สารประกอบประเภทนี้ ได้แก่การผลิตถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อย saw dust สามารถทำได้โดยผสมขี้เลื่อยกับสารละลายโปแตสเซียมไซโอไซยาเนต ($KCNS$) เข้มข้นร้อยละ 35, จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 300 ถึง 350°C . ในที่อับอากาศ แล้วเผาต่อให้อุณหภูมิสูงถึง 800°C .

ในบางครั้งถ้าต้องการเพิ่มความรุนแรงของปฏิกิริยา สามารถทำได้โดยใช้สารจำพวกค่างมาช่วย เช่น ใช้ถ่าน 100 ส่วน ผสมกับ K_2S 15 ส่วน และ KOH 30 ส่วน, ทำให้แห้งแล้วนำไปเผาที่ 900°C . ในที่อับอากาศ.

(2) การกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดส์ (oxidizing gas)

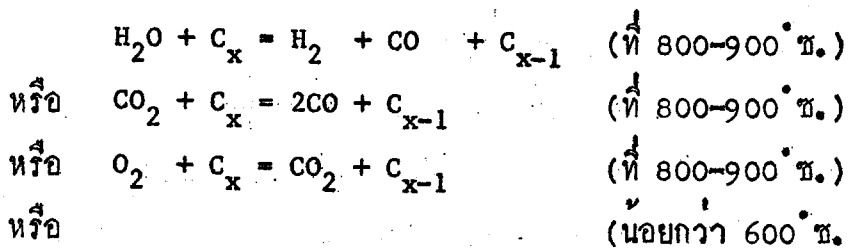
ก๊าซหรือไอที่ใช้ได้แก่ O_2 , CO_2 , ไอน้ำ, SO_2 , Cl_2 และไอกำมะถัน (สามชนิดหลังไม่เป็นที่นิยมใช้แล้ว).

ทั่วไปในการใช้ก๊าซออกซิไดส์เพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ (Hassler 1967) มีดังนี้:

- ก. คุณสมบัติทางเคมีและความเข้มข้นของก๊าซออกซิไดส์ที่ใช้.
- ข. อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา.
- ค. ระยะเวลาของปฏิกิริยา.
- ง. ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบในวัตถุดิบที่ใช้.

อุณหภูมิที่ใช้ไม่สามารถกำหนดได้แน่นอน แต่มักไม่เกิน $1,000^{\circ}C$. เพราะถ้าใช้ อุณหภูมิสูงกว่า $1,000^{\circ}C$. จะทำให้อ่านาการถูกซบของถ่านลนน้อยลง. อุณหภูมิที่ใช้ทั่วไป อยู่ในช่วง $800-900^{\circ}C$. แต่ก็มีบ้างที่ใช้อุณหภูมิต่ำกว่า $600^{\circ}C$.

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการกระตุ้นมีดังนี้:



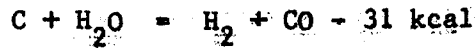
การกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดส์มีวิธีผลิตได้ 2 วิธี คือ:

- ก. ทางตรง หมายถึงการใช้ก๊าซเหล่านี้ผ่านเข้าไปในวัตถุดิบโดยตรง ที่ใช้มากที่สุดคือ ไอน้ำ นอกจากนั้นก็ มี ก๊าซ CO_2 โดยมีรายละเอียดดังนี้:

ก.1 การกระตุ้นด้วยไอน้ำ

การใช้ไอน้ำในที่นี้หมายถึงไอน้ำยิ่งยวด (superheated steam)

ปฏิกิริยาที่เกิดเป็นแบบดูดความร้อน (Cherrington พจน 2523) ดังสมการ:



กลไกของปฏิกิริยาคือ:



H_2 และ CO ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะหลุดออกไป ทำให้เกิดรูปพรุน แต่ CO ส่วนหนึ่งจะทำปฏิกิริยาให้ CO_2 และ C ดังสมการข้างล่าง:



การกระตุ้นด้วยไอน้ำมีข้อดีคือ ราคาถูกและไม่มีสารเคมีตกค้าง, แต่อุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้ไฮดรอกซิดอกซิโคสเกิดอย่างรวดเร็ว. แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่า 1,000 °ซ. อานาจการดูดซับก็จะลดลง. จากการศึกษาพบว่าอานาจการดูดซับไฮโอคีน, ฟินอล สามารถพัฒนาให้มากขึ้นโดยการเพิ่มอุณหภูมิได้, แต่การดูดซับพวกกากน้ำตาล (molasses) การเพิ่มอุณหภูมิจะมีผลต่อการดูดซับกากน้ำตาลไม่มากนัก.

อุปกรณ์ที่สำคัญในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยกระตุ้นด้วยไอน้ำคือ เตาเผาแบบหมุนได้ (rotary kiln) ซึ่งเป็นเตาเผาที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน เตาแบบนี้มีส่วนสำคัญอยู่ 3 ส่วนคือ:

- แหล่งกำเนิดไอน้ำ เป็นส่วนที่เปลี่ยนน้ำที่เป็นของเหลวให้กลายเป็นไอน้ำ.
- ตัวเครื่อง ซึ่งประกอบด้วย ท่อบรรจุสาร, มอเตอร์หมุน, ที่วัดอุณหภูมิ และเครื่องควบแน่น.
- แหล่งให้ความร้อน เพื่อให้ไอน้ำที่ผ่านเข้ามาในตัวเครื่องกลายเป็นไอน้ำยิ่งยวด.

ก.2 การกระตุ้นด้วยก๊าซ CO_2 (Hassler 1967)

อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 800-900 °ซ. วัตถุประสงค์ที่ใช้ควรถูกเผาเป็นถ่านเสียก่อน ส่วนวิธีการผลิตนั้น คล้ายกับการกระตุ้นด้วยไอน้ำ.

ข. ทางอ้อม หมายถึงการใช้สารเคมีชนิดโคซนิคหนึ่ง ซึ่งเมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิในการกระตุ้นแล้วจะปล่อยก๊าซออกซิโคสออกมา. สารเคมีดังกล่าวได้แก่ หินปูน (CaCO_3) ซึ่งถ้าถูกเผาที่อุณหภูมิประมาณ 800-1,000°ซ. จะให้ก๊าซ CO_2 .

สำหรับกระบวนการผลิตด้วยวิธีการนี้ได้แก่:

ข.1 กระบวนการใช้สารโคโลไมท์ (dolomite process) (Hassler 1967)

วิธีการผลิตถ่านกัมมันต์จากลิกไนต์โดยใช้โคโลไมท์ ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ทำโดยใช้ผงโคโลไมท์ 1 ส่วน ผสมกับผงลิกไนต์ที่ผสมน้ำแบ่งสูง ทำให้แห้งแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 ถึง 900°ซ. ในที่อับอากาศ. ก๊าซ CO_2 ที่ออกมาจากการเผาโคโลไมท์จะกระตุ้นถ่านลิกไนต์, จากนั้นแยกเอา CaO และ MgO ออกจากถ่านกัมมันต์.

ข.2 กระบวนการใช้สารซัลเฟต (sulfate process) (Hassler 1967)

สารประกอบซัลเฟตจะถูกเปลี่ยนเป็นซัลไฟด์ ซึ่งเป็นสารที่ทำให้ก๊าซต่าง ๆ หลุดออกจากผิวคาร์บอน.

(3) การกระตุ้นโดยใช้สารดูดน้ำ (dehydrating agent)

สารดูดน้ำที่ใช้ส่วนมากเป็นเกลือโลหะคลอไรด์ เช่น CaCl_2 , MgCl_2 , ZnCl_2 . นอกจากนี้ ยังพบว่ามีการใช้กรรพอสฟอริก (H_3PO_4) และกรรพซัลฟิวริก (H_2SO_4) ด้วย.

วิธีการนี้นิยมใช้กับวัตถุดิบที่มีโครงสร้างที่ละเอียด เช่น ถ่านดินพูน, เปลือกถั่ว และซีเลื่อย.

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (ราว 500°ซ. สำหรับ ZnCl_2 และ 1,000°ซ. สำหรับกรรพ H_3PO_4) โมเลกุลของน้ำจะหลุดออกจากเซลล์โลสและลิกนิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบอยู่ในวัตถุดิบ.

ถ้าการกระตุ้นโดย ZnCl_2 ใช้อุณหภูมิไม่สูงนัก จะทำให้อุณหภูมิคาร์บอนไม่สามารถรวมตัวกันเป็นผลึกขนาดใหญ่ขึ้นได้. อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิที่เหมาะสมถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย ZnCl_2 จะมีรูพรุนมาก เพราะที่อุณหภูมินั้น ZnCl_2 จะละลายน้ำมันดิน (bituminous) ซึ่งถ่านกัมมันต์ถูกขับออกออกไป และถ่านที่ได้จักเป็น acid carbon.

สำหรับในที่นี้จะกล่าวเพียงการใช้ ZnCl_2 และกรรพ H_3PO_4 ซึ่งใช้กันอย่างกว้างขวางเท่านั้น.

ก. การผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ $ZnCl_2$ เป็นตัวกระตุ้น (Hassler 1967)

$ZnCl_2$ เป็นสารเคมีที่มีความสามารถในการกักกร่อนโลหะได้ดี, มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 136.28 เป็นของแข็งสีขาว, ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.91 จุดหลอมเหลวเท่ากับ $275^{\circ}C$. จุดเดือด $756^{\circ}C$.

$ZnCl_2$ ที่ใช้อยู่ในรูปของสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง, อัตราส่วนที่ใช้คือ สารละลาย $ZnCl_2$ เข้มข้นประมาณ 0.5 ถึง 4 ส่วน คือน้ำหนักของวัตถุที่แห้ง 1 ส่วน. บางครั้งอาจมีการเติมกรด HCl หรือกรด H_3PO_4 ลงไปเล็กน้อย จากนั้นนำไปเผาในที่อับอากาศซึ่งมีอุณหภูมิสูงประมาณ 600 ถึง $700^{\circ}C$. แต่ก็เคยมีผู้ใช้จุดหมึกค่าเพียง $400^{\circ}C$. และอาจสูงถึง $900^{\circ}C$.

ถ่านที่ได้จำเป็นต้องนำไปล้างด้วยน้ำและกรด HCl เจือจาง เพื่อเอา $ZnCl_2$ ที่เหลือและสาร basic zinc chlorides ที่เกิดในปฏิกิริยาออกไป, $ZnCl_2$ ที่ใช้แล้วสามารถนำมาใช้ใหม่ได้อีก. จากการศึกษาพบว่าการใช้ปริมาณ $ZnCl_2$ เพิ่มขึ้น จะช่วยเพิ่มคุณภาพของถ่านกัมมันต์ให้ดีขึ้น.

ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย $ZnCl_2$ มีดังนี้:

- ผสมวัตถุที่แห้งกับสารละลาย $ZnCl_2$ เข้มข้นด้วยปริมาณที่เหมาะสม
- คลุกเคล้าให้เข้ากัน
- นำไปอบที่ $110^{\circ}C$. เพื่อทำให้ของผสมแห้ง
- นำไปเผาที่อุณหภูมิสูงและอับอากาศ
- นำถ่านที่ได้ไปล้างด้วยน้ำร้อน และกรด HCl เข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
- นำถ่านที่ได้ไปอบให้แห้ง

อุปกรณ์ที่มีปัญหาในการผลิตคือ ภาชนะที่ใช้ทำปฏิกิริยา เพราะจะต้องใช้ภาชนะที่ทนความร้อนได้สูง และต้องทนต่อการกัดกร่อนของ $ZnCl_2$ ได้ดี.

ข. การผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้กรด H_3PO_4 เป็นตัวกระตุ้น (Hassler 1967)

กระบวนการผลิตนี้ อาจใช้กรด H_2SO_4 แทนได้ แต่คุณภาพถ่านกัมมันต์ที่ได้จะต่ำกว่า.

ตัวอย่างการผลิตด้านกัมมันต์ด้วยวิธีนี้ เช่น การผลิตด้านกัมมันต์จากกิ้นพรุ หรือซีเลอຍ วิธีทำคือผสมกิ้นพรุหรือซีเลอຍด้วยสารละลายกรก H_3PO_4 25 ถึง 30° Be แล้วนำ สารผสมที่ไคไปอบให้แห้ง และเผาที่อุณหภูมิ 400-600° ซ. ในเตาแบบหมุนไค. กระบวนการ กระตุ้นเกิดจากการถูกน้ำของกรก H_3PO_4 ซึ่งคล้ายกับกระบวนการกระตุ้นโดยไค $ZnCl_2$. ด้านกัมมันต์ที่ไคควรนำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 800-1,000° ซ. อีกประมาณ 2-8 ชั่วโมง ซึ่งจะออกซิไคส์คาร์บอน, กรก H_3PO_4 สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ไคอีก.

นอกจากนี้กรก H_3PO_4 ยังใช้เป็นสารช่วยในการกระตุ้นไคอีกด้วย เช่น หลังจากการผลิตด้านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยไคแล้ว จะนำด้านที่ไคไปแช่กรก H_3PO_4 เข้มข้น ร้อยละ 2 ถึง 25 เพื่อช่วยให้ด้านกัมมันต์ที่ไคมีคุณสมบัติดีขึ้น.

ข้อมูลเพิ่มเติมในเรื่องการผลิตด้านกัมมันต์ไคจากเอกสารของ Yehaskel (1978).

1.1.3 การใช้ประโยชน์และการนำเข้ามาผลิตกัมมันต์ด้านกัมมันต์

FPRI (1965) ไคแบ่งการใช้ประโยชน์ของด้านกัมมันต์ออกเป็น 2 ประเภทคือ:

(1) ประเภทไคกับของเหลว (liquid phase carbon) อุตสาหกรรม ที่นำด้านกัมมันต์ไปใช้ในสารละลายหรือในของเหลว ไคแก่:

- อุตสาหกรรมน้ำตาล ใช้ด้านกัมมันต์เพื่อฟอกสีและทำให้ น้ำตาลคิม บริสุทธิ์ขึ้น.
- อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค นอกจากใช้ในการฟอกสี แล้ว ยังใช้ในการแยกเอาสบู่และเปอรออกไคออกจากน้ำมันและไขมันไคด้วย.
- อุตสาหกรรมอาหาร ใช้ด้านกัมมันต์เพื่อถูกกลิ่นและฟอกสีของผลิตภัณฑ์ อาหาร ซึ่งคิดว่าควรใช้สารเคมีชนิดอื่น เพราะไม่เป็นอันตรายและไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ อาหาร.
- อุตสาหกรรมเครื่องคีมแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์, วิสกี้ มีไคใช้ด้านกัมมันต์ เพื่อถูกกลิ่นที่ไม่ต้องการ ทำให้เครื่องคีมที่ไคมีรสชาติดีขึ้น.
- อุตสาหกรรมเคมีและยา ด้านกัมมันต์ใช้ในการผลิตสารเคมีและยา หลายชนิด เช่น acetanilide, atabrine, caffeine, glyceline, calcium ferrous sulphate, sodium acetate, citric acid และ streptomycin.

ในต่างประเทศมีการทดลองใช้ถ่านรักษาโรคโดยตรงแล้ว (สมุนไพรรักษาบ้าน 2523-2525) เช่น แพทย์ชาวอังกฤษนิยมใช้ถ่านเพื่อรักษาอาการอักเสบจากการติดเชื้อ, ในฝรั่งเศสใช้ผงถ่านเพื่อขจัดสารพิษ, ส่วนนักวิทยาศาสตร์ของสหรัฐฯ ใช้ผงถ่านเพื่อช่วยลบก๊าซในกระเพาะอาหาร หรือใช้ถูกเชื้อแบคทีเรียที่เป็นตัวลึกลับในลำไส้ ตลอดจนบรรเทาอาการท้องเดินจากการรับประทานอาหารที่เป็นพิษด้วย.

- อุตสาหกรรมการทำน้ำให้บริสุทธิ์ โดยใช้เป็นตัวดูดกลิ่นและฟอสฟอรัส.
- อุตสาหกรรมแยกก๊าซที่คงการ เช่น การแยกของหลังการสกัดจากแร่ถ่านหินไซยาไนด์, การแยกไอโอไดนออกจาก petroleum oil-well brines (น้ำเกลือที่เกิดในหลุมน้ำมัน พบมากในประเทศจีน) ตลอดจนการผลิตวิตามินและฮอร์โมนอีกหลายชนิด.

- Catalytic process ถ่านจะทำหน้าที่เป็นตัวพาสารเร่ง (catalyst carrier) ในปฏิกิริยาที่มีการใช้สารเร่งหลายชนิด รวมทั้งทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของตัวเร่งให้ดีขึ้นด้วย.

(2) ประเภทที่ใช้ในการดูดก๊าซและไอ (gas phase carbon) ใช้ในอุตสาหกรรมต่อไปนี้:

- อุตสาหกรรมทำหน้าที่ปกป้องกันก๊าซพิษ ทั้งที่ใช้ในการทหารและที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับก๊าซพิษและไอของสารอินทรีย์ได้.
- การนำไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่. ถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และจะคายออกที่ความดันของไอระเหยต่ำ ๆ.
- อุตสาหกรรมปรับอากาศ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดมลพิษในอากาศต่าง ๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์, ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน และอะเซทิลีน.
- อุตสาหกรรมปุ๋ย โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นกันกรองของปุ๋ย.

นอกจากนี้ยังมีการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ อย่างกว้างขวาง. สำหรับประเทศไทยนั้น ปัจจุบันมีโรงงานผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 1 โรงคือ โรงงาน อุตสาหกรรมเคมีคอล จ. ชลบุรี โดยผลิตถ่านกัมมันต์ออกจำหน่ายในประเทศและส่งออกต่างประเทศด้วย. อย่างไรก็ตามก็ยังคงมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ในปริมาณที่สูง เนื่องจากชนิดคุณภาพแตกต่างจากที่ผลิตได้ภายในประเทศและปริมาณใช้ภายในประเทศยังสูงมาก.

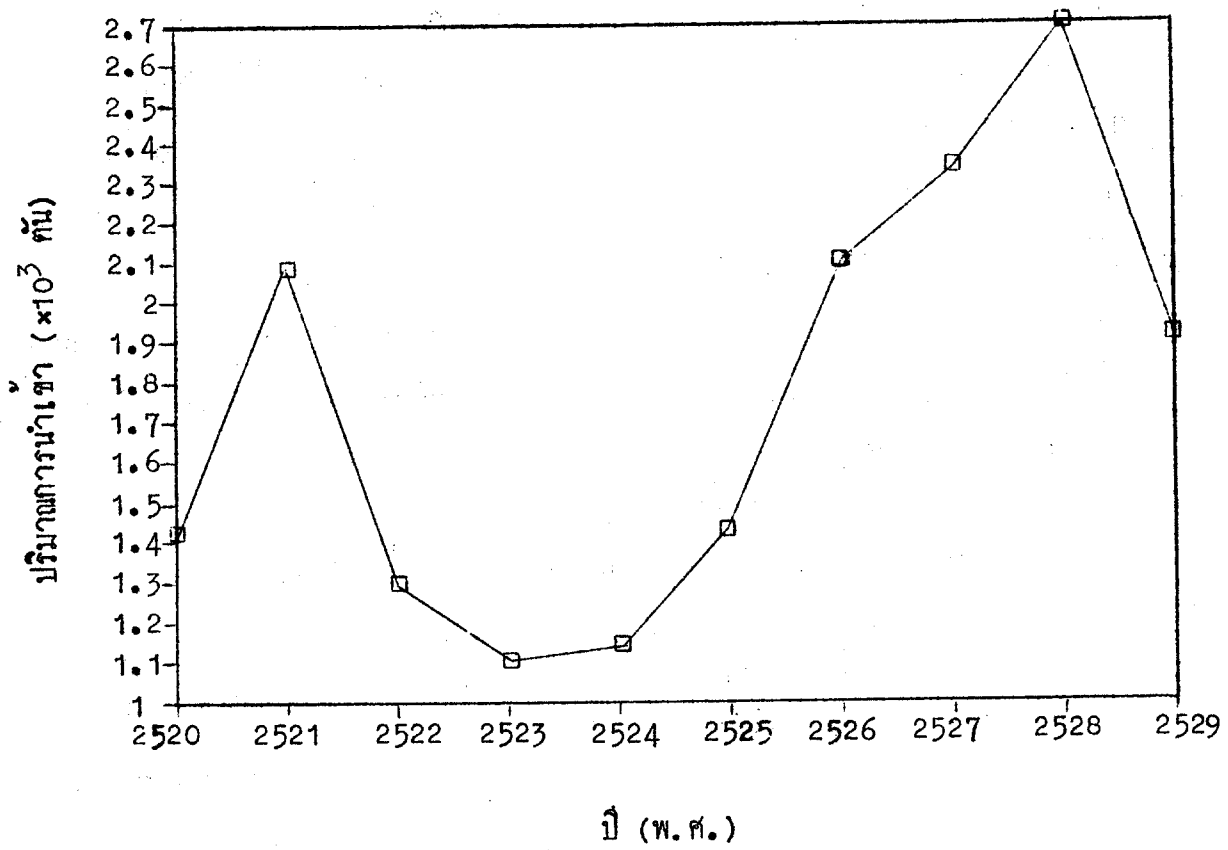
ตารางที่ 1.1, รูปที่ 1.3 และ 1.4 แสดงถึงปริมาณและมูลค่าการนำเข้าของถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศ. รูปที่ 1.5 แสดงถึงแนวโน้มราคานำเข้าของถ่านกัมมันต์, โดยเฉลี่ยปริมาณนำเข้าและราคาในระยะเวลา 2525-2529 ประมาณ 2,000 ตันต่อปี และ 20 บาทต่อ กก. ความล่าช้า. นอกจากนี้ยังมีตลาดในต่างประเทศที่ต้องการผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์อีกหลายแห่ง ได้แก่ ญี่ปุ่น, เยอรมนี เป็นต้น, โดยเฉพาะญี่ปุ่นมีแนวโน้มการนำเข้าสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.6 โดยส่วนใหญ่นำเข้าจากฟิลิปปินส์ ซึ่งกำลังมีปัญหาการเมืองภายในก่อให้เกิดอุปสรรคทางการผลิต ญี่ปุ่นจึงต้องแสวงหากำรนำเข้าถ่านกัมมันต์จากประเทศอื่นต่อไป.

ในปี 2520 วท. ได้ศึกษาและจัดทำรายงานเรื่องถ่านอุตสาหกรรม หรือถ่านกัมมันต์ โดยเน้นเรื่องวัตถุดิบในประเทศ และการตลาดรวมถึงแนวโน้มในการจัดตั้งโรงงานผลิตถ่านดังกล่าวในประเทศ (โรหิตสุข 2520).

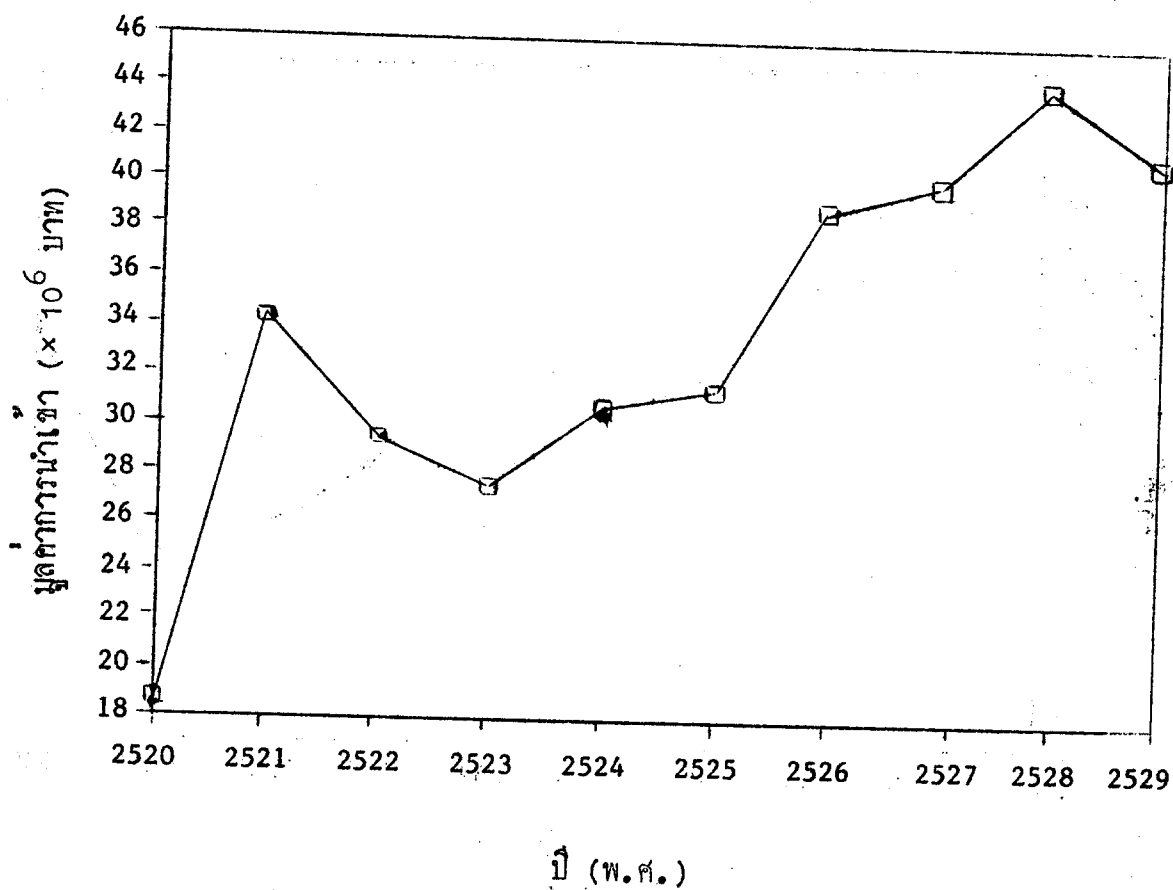
ตารางที่ 1.1. ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าถ่านกัมมันต์ของประเทศไทย

พ.ศ.	ปริมาณการนำเข้า (ตัน)	มูลค่าการนำเข้า (บาท)	ราคาเฉลี่ย (บาท/ตัน)
2520	1,412.3	18,348,022	12,991.6
2521	2,085.4	34,446,941	16,518.2
2522	1,292.4	29,591,393	22,896.5
2523	1,097.9	27,571,903	25,113.3
2524	1,131.7	30,786,442	27,204.0
2525	1,423.8	31,368,713	22,031.7
2526	2,104.4	39,040,120	18,551.7
2527	2,332.0	39,948,407	17,130.5
2528	2,696.1	44,165,444	16,381.2
2529	1,892.3	41,009,562	21,671.8

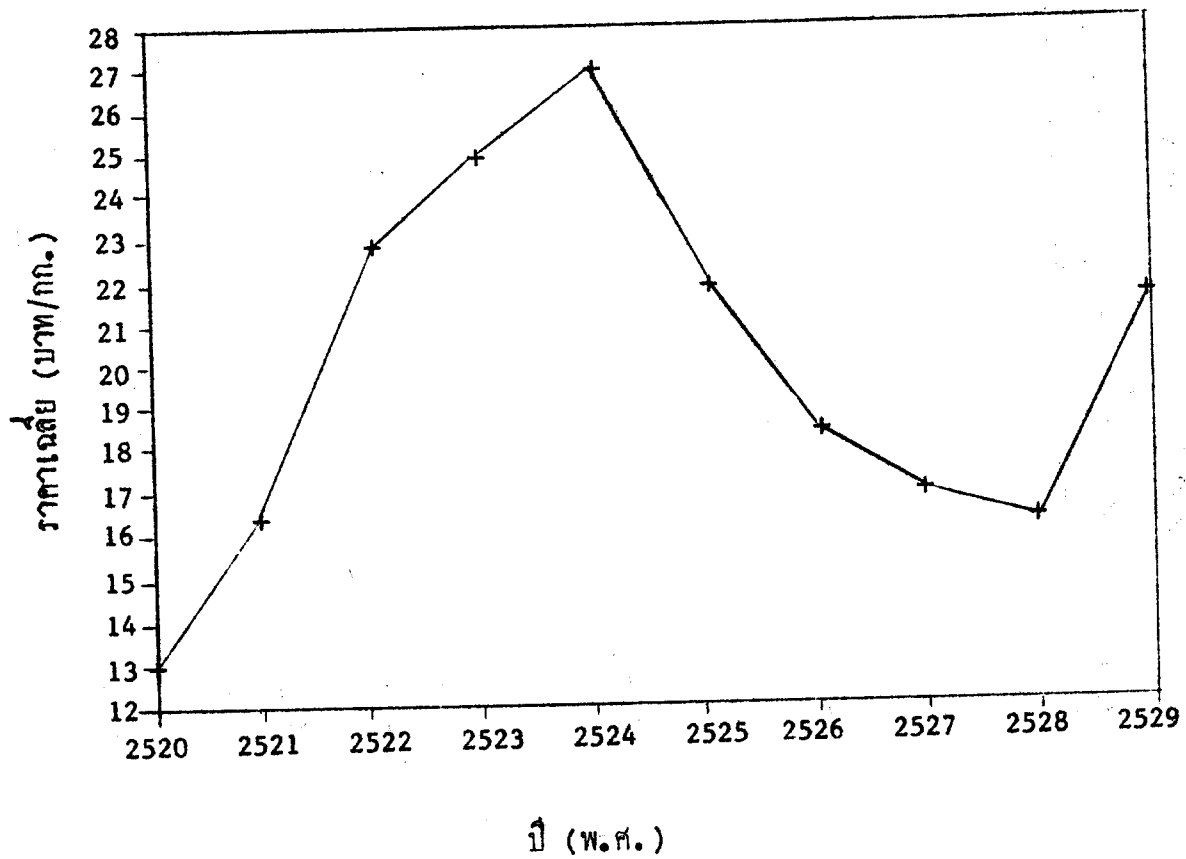
ที่มา : รายงานของกรมศุลกากร



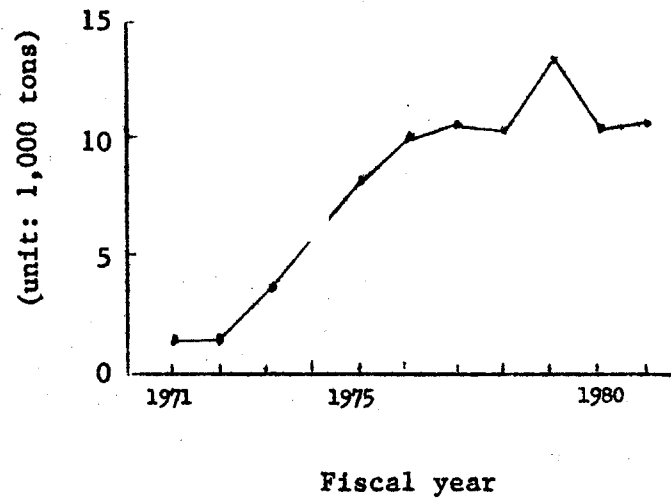
รูปที่ 1.3. ปริมาณการนำเข้าด้านกัมมันต์ของประเทศไทย.



รูปที่ 1.4. มูลค่าการนำเข้าด้านกัมมันต์ของประเทศไทย



รูปที่ 1.5. ราคาเฉลี่ยของน้ำมันที่นำเข้าจากต่างประเทศ.



รูปที่ 1.6. สถิติการนำเข้าผลิตภัณฑ์ด้านกัมมันต์ของประเทศญี่ปุ่น.

ที่มา : JETRO (1983)

1.2 การผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพรุ

ดินพรุ (peat soils) คือ ดินอินทรีย์ที่เกิดจากการเน่าพังทับถมของซากพืชเป็นเวลายาวนาน โดยยังไม่สลายตัวไม่หมด และมักเป็นดินที่ค่อนข้างเป็นกรด โดยมีค่า pH อยู่ระหว่าง 3-7.5 เนื่องจากมีปริมาณกำมะถัน, นอกจากนี้ยังขาดธาตุอาหาร จึงทำให้ใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรมได้ไม่เต็มที่. ส่วนประกอบของดินพรุมีแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่และความลึก, ดินพรุส่วนใหญ่จะมีน้ำมากกว่าร้อยละ 80. ตารางที่ 1.2 แสดงตัวอย่างส่วนประกอบของดินพรุ.

ตารางที่ 1.2. ส่วนประกอบของดินพรุ (ร้อยละของน้ำหนักสารอินทรีย์แห้ง)

ธาตุองค์ประกอบ	ดินพรุชนิดสลายตัวต่ำ	ดินพรุชนิดสลายตัวสูง
คาร์บอน	48-53	56-58, 59-63
ไฮโดรเจน	5.0-6.1	5.5-6.1, 5.1-6.1
ออกซิเจน	40-46	34-39, 31-34
ไนโตรเจน	0.5-1.0	0.8-1.1, 0.9-1.9
ซัลเฟอร์	0.1-0.2	0.1-0.3, 0.2-0.5

ดินพรุส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเชื้อเพลิงและเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ถ่านกัมมันต์, peat coke (ใช้ในอุตสาหกรรมถลุงโลหะ), ซี้ดิงจากดินพรุ และยีสต์จาก hydrolysate ของดินพรุ. สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพรุ ได้เริ่มในประเทศแถบยุโรป (Fuchsman 1980) กล่าวคือ ในประเทศเนเธอร์แลนด์ มีการนำดินพรุมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ประมาณปีละ 2-3 หมื่นตันต่อปี. รองลงมาได้แก่ ประเทศไอร์แลนด์ มีอัตราการผลิต 1,500 ตัน/ปี. ประเทศฟินแลนด์แม้จะมีการศึกษาเรื่องนี้อยู่แต่ก็ยังไม่มีการนำไปผลิตในระดับอุตสาหกรรม, และในประเทศรัสเซียในช่วงแรกนิยมใช้ถ่านจากไม้ แต่ปัจจุบันก็เริ่มใช้ดินพรุและลิกไนต์บ้างแล้ว.

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีคุณสมบัติที่ต่างกัน บางครั้งถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการใช้งานหนึ่ง อาจจะไม่เหมาะสมสำหรับที่จะเอาไปใช้อีกงานหนึ่งก็ได้ เช่น ถ่านกัมมันต์ที่ใช้เพื่อแยก

สารฟีนอลจากน้ำได้ก็ แต่พบว่านำไปใช้ในการฟอกสีน้ำตาลดิบได้ไม่ดี. คุณภาพของถ่านกัมมันต์ ขึ้นกับปริมาณพื้นที่ผิวซึ่งสามารถแสดงอำนาจการดูดซับได้ หรือที่เรียกว่า "active surface".

ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากดินพรุที่ยังไม่สลายตัว (unmolded peat) ที่ 700°ซ. เมื่อนำไปหา พื้นที่ผิวตามวิธี B.E.T. พบว่าพื้นที่ผิวค่าประมาณ 282 ตารางเมตร/กรัม, แต่ถ้าวัดพื้นที่ที่สลายตัว ก็แล้ว (molded peat) จะได้ถ่านที่มีพื้นที่ผิวสูงตั้งแต่ 400-1,500 ตารางเมตร/กรัม (Fuchsman 1980).

การผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพรุสามารถใช้วิธีกระตุ้นด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 900 ถึง 1,100°ซ. ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 900°ซ. อัตราการเพิ่มพื้นที่ผิวจะช้ามากจนไม่คุ้มทุนการผลิต. อย่างไรก็ตาม ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่า 1,100°ซ. ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดเฉพาะพื้นที่ผิวส่วนนอกของอนุภาค ซึ่งเป็นสาเหตุให้ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ได้ลดลง โดยไม่มีผลในการเพิ่มพื้นที่ผิวแต่อย่างใด.

เตาที่ใช้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำนี้ สามารถใช้ทั้งแบบเตาเผาหมุน (rotary kilns) และแบบ Herreschoff multiple hearth kilns.

สำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพรุโดยใช้สารเคมีทำได้โดยเผาดินพรุที่อุณหภูมิประมาณ 300 ถึง 500°ซ. แล้วนำไปผสมกับสารละลายเคมี เช่น $ZnCl_2$, H_3PO_4 , H_2SO_4 หรือ K_2S . จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 400-800°ซ. (Fuchsman 1980). Reilly และ O'Donoghue (1941) เสนอว่าการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ควรใช้อุณหภูมิในช่วง 400-800°ซ. การผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพรุโดยการใช้กรด H_3PO_4 ควรใช้อุณหภูมิสูงถึง 1,000°ซ. และกลั่นเอาสารฟอสฟอรัสออกไปด้วย.

1.3 คุณสมบัติและการทดสอบถ่านกัมมันต์

1.3.1 ชนิดและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

ชนิดของถ่านกัมมันต์ สามารถแบ่งออกโดยใช้หลักต่าง ๆ มากมาย ขึ้นอยู่กับความสะดวกของผู้ใช้. ตัวอย่างการแบ่งชนิดของถ่านกัมมันต์ได้แก่:

ก. แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น (ข่าวกรมวิทยาศาสตร์บริการ 2528)

ก.1 Chemical activated carbon ถ่านกัมมันต์นี้ใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้น เช่น $ZnCl_2$, H_3PO_4 ถ่านพวกนี้มักเป็นถ่านที่มีขนาดของรูพรุนใหญ่.

ก.2 Physical activated carbon คือถ่านที่ใช้ก๊าซออกซิโคสต์ เป็นตัวกระตุ้น เช่น ไอ้ น้ำ, CO₂ ถ่านพวกนี้มีขนาดของรูพรุนเล็ก นิยมใช้ในการดูดก๊าซและไอระเหย.

ข. แบ่งตามขนาดของรูพรุนบนผิวของถ่านกัมมันต์ (Fuchsman 1980)

ข.1 micro pores เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนประมาณ 1.5 nm มักนำไปใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการดูดซับก๊าซและไอระเหย.

ข.2 transitional pores เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนประมาณ 1.5 ถึง 100 nm มักนำไปใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา catalytic reaction.

ข.3 macro pores เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนมากกว่า 100 nm มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสีและการผลิตยา.

ค. แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ที่ได้ (FPRI 1965)

ค.1 ความหนาแน่นต่ำ ถ่านประเภทนี้มักใช้ประโยชน์ในสภาวะที่เป็นสารละลาย เช่น ฟอกสีน้ำตาลคิบ หรือการทําน้ำให้บริสุทธิ์.

ค.2 ความหนาแน่นสูง ถ่านประเภทนี้ใช้ในการดูดก๊าซหรือไอระเหย.

ง. แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูด (Berl 1938)

ง.1 gas adsorbents หมายถึงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดก๊าซพิษ, กลิ่น, และไอของสารอินทรีย์ ส่วนมากเป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นถ่านประเภท hard artificial char.

ง.2 colour adsorbents หมายถึงถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นตัวฟอกสี ส่วนมากเป็นถ่านกัมมันต์ที่เกิดจากการเผาถ่านประเภท soft artificial char.

ง.3 metal adsorbents หมายถึงถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นตัวแยกพวกโลหะต่าง ๆ เช่น ถ่านที่ใช้ในการแยกทอง, เงิน, แพลทินัม จากแร่. นอกจากนี้ยังมีแบ่งตามสภาวะที่ใช้ เช่น liquid-phase carbon, gas-phase carbon (Kirk and Othmer 1978).

1.3.2 มาตรฐานและวิธีการทดสอบ

มาตรฐานและวิธีการทดสอบถ่านกัมมันต์มีอยู่มากมายและแตกต่างกันในแต่ละประเทศ จึงจะได้อธิบายต่อไปนี้:

(1) มาตรฐานของ AWWA (American Water Works Association)

ที่กำหนดคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดที่ของทดสอบคือ:

- moisture
- apparent density
- particle size distribution
- abrasion resistance
- iodine number

สำหรับถ่านที่เป็นผง AWWA กำหนดคุณสมบัติที่ของทดสอบคือ:

- impurities
- moisture
- ash
- apparent density
- particle size distribution (fineness)
- phenol adsorptive capacity
- iodine adsorptive capacity
- odor adsorptive capacity
- tannin adsorptive capacity
- retention of adsorptive capacity

(2) มาตรฐานการทดสอบถ่านกัมมันต์ตามวิธีของ ASTM

กำหนดคุณสมบัติที่ของทดสอบของถ่านกัมมันต์ (ASTM, PART 30, 1982) ไว้ดังนี้:

- radiiodine-testing of nuclear-grade gas-phase adsorbents
- liquid phase evaluation
- apparent density
- carbontetrachloride activity
- moisture
- particle size
- total ash content

(3) มาตรฐานและการทดสอบถ่านกัมมันต์ของประเทศญี่ปุ่น

กำหนดการทดสอบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ดังนี้:

ถ่านกัมมันต์ที่เป็นผง (JIS K 1470-1967)

- caramel decolourizing power
- methylene blue decolourizing power
- loss on drying
- chloride
- iron
- residue on ignition
- pH

ถ่านที่เป็นเม็ด (JIS K 1474-1975)

- iodine adsorption performance
- chloropicrin break-through adsorption performance
- equilibrium adsorption performance for 1/n solvent vapour
- grain size
- grain size distribution (effective size and uniformity coefficient)
- hardness
- ignition point
- filling bulk density
- loss on drying
- ignition residue
- pH

(4) มาตรฐานและการทดสอบถ่านกัมมันต์ที่ไซฟอกสีน้ำมันพืชและน้ำคาล

ของประเทศอินเดีย กำหนดคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ทดสอบ (IS : 877-1956)

- moisture
- ash
- bulk density
- matter soluble in hydrochloric acid
- pH of aqueous extract
- titrable acidity or alkalinity

- filtrability and oil retention (for vegetable oils)
- decolourizing power

สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับการทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานที่ใช้ในการทดลองนี้ ฎได้ในภาคผนวกที่ 1.

2. การทดลองผลิตภัณฑ์น้ำมันจากรากกินพรุ

2.1 วิธีการกระตุ้นโดยใช้สารเคมี ZnCl₂

2.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

- สารเคมี

- (1) สารละลาย ZnCl₂ ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก เตรียมโดยละลาย ZnCl₂ (A.R.GRADE) คำนวณน้ำหนักแล้วปรับให้ได้ความถ่วงจำเพาะ 60°Be'.
- (2) สารละลายกรรกลี้อเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร.

- อุปกรณ์

- (1) เครื่องชั่งอย่างละเอียดชนิดนิยม 4 ตำแหน่งของ Mettler.
- (2) Porcelain crucible และ graphite crucible.
- (3) แท่งคนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8.5 มม. และกระบอกลวดขนาด 250 มล.
- (4) Hydrometer ช่วงความถ่วงจำเพาะ 1.000-2.000.
- (5) Hot plate.
- (6) ตู้อบ MEMMERT ช่วงอุณหภูมิ 0-250°ซ.
- (7) เตาเผา CARBOLITE (England) type ESF 12/23. ช่วงอุณหภูมิ 0-1,200°ซ.
- (8) Desiccator.
- (9) กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42.
- (10) อุปกรณ์การกรองแบบสุญญากาศ.

2.1.2 สภาวะและผลการทดลอง

วิธีการทดลองมีดังนี้:

- นำดินที่ได้มาทำให้แห้ง โดยผึ่งแดดหรืออบที่ 80 °ซ. จนแห้งบดได้.
- บดดินรวมทั้งรากไม้ให้ละเอียดจนสามารถผ่าน sieve ขนาด 60 เมชได้.
- นำดินที่บดละเอียดแล้วไปอบที่ 110 °ซ. จนน้ำหนักคงที่ แล้วทิ้งให้เย็นใน

desiccator.

- ชั่งดินให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน แล้วใส่ใน crucible.
- เติมสารละลาย $ZnCl_2$ ตามที่กำหนดไว้.
- ผสมดินและสารละลายให้เข้ากัน จากนั้นนำไป digest ที่ 110 °ซ.

เป็นเวลา 1 ชม.

- นำไปเผาในที่อับอากาศ (โดยปิดฝา crucible) ที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนดให้.
- นำถ่านที่ได้ไปล้างด้วยน้ำร้อน (ในช่วงนี้ถ่านจะจับกันเป็นก้อนแข็ง ค้างนั้นจึงต้องใช้แท่งคนขนาดใหญ่เพื่อบดให้ถ่านเล็กลง) 4 ครั้ง และกรองผ่านกระดาษกรองด้วยระบบสุญญากาศ.

- ล้างถ่านด้วยกรด HCl เข้มข้นร้อยละ 10 จำนวน 2 ครั้ง เพื่อละลายพวกสารเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำออกไป จะสังเกตว่าไม่มีสารเชิงซ้อนสีขาวเหลืออยู่.

- ล้างถ่านด้วยน้ำร้อนอีกหลายครั้ง จนแน่ใจว่าหมด HCl แล้ว จะสังเกตว่าช่วงนี้ถ่านจะตกตะกอนเร็ว และสารละลายข้างบนจะใส ถ่านำสารละลายนี้มาทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส จะให้ pH ในช่วง 7.

อนึ่ง ในกรณีที่ต้องการใช้ถ่านล้างถ่านเพื่อลดความเป็นกรดให้ทำได้ในช่วงนี้.

- นำถ่านที่ได้ไปอบแห้งที่ 150 °ซ. ประมาณ 6-7 ชม. แล้วทิ้งให้เย็นใน

desiccator.

- ชั่งหาน้ำหนักถ่าน และคำนวณหาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ได้เป็นค่าร้อยละของน้ำหนักดินแห้ง.

- นำถ่านที่ได้ไปบดและผ่าน sieve 60 เมช แล้วนำไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติต่าง ๆ.

ในการทดลองกำหนดตัวแปรในการผลิตถ่านกัมมันต์ไว้คือ:

- อัตราส่วนของน้ำหนักดินพรุแห้งต่อน้ำหนักสารละลาย $ZnCl_2$ (ร้อยละ 60)

โดยกำหนดเป็น 1:2.5 และ 1:4.

- อุณหภูมิการเผาที่ 400 และ 600 °ซ.

- เวลาการเผาที่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 3.0 ชม.

ตัวอย่างดินพรุซึ่งนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นทั้งหมด 6 ตัวอย่างนั้น นำมาจากพรุบาเจาะ, อ.บาเจาะ จ.นราธิวาส มีรายละเอียดสถานที่เก็บและความลึก รวมทั้งส่วนประกอบที่แสดงในตารางที่ 2.1. จากตารางจะเห็นว่าดินเหล่านี้มีค่า fixed carbon สูงเกินร้อยละ 30, ยกเว้นดิน C, D และ F ซึ่งมีค่า fixed carbon ค่อนข้างต่ำ และค่าเถ้า (ash) นั้นสูงมาก (เกินร้อยละ 25) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบผลิตถ่านกัมมันต์ เนื่องจากวัตถุดิบที่มีเถ้าสูงนั้นจะให้ผลผลิตซึ่งมีคุณภาพต่ำ ก็จะได้แสดงในผลการทดลองต่อไป. สำหรับสาร S นั้น พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำคือน้อยกว่าร้อยละ 0.25.

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของตัวอย่างดินพรุเหล่านี้ก่อนนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ได้แก่ ค่า iodine no., methylene blue adsorption, ความหนาแน่นและ pH. ดินเหล่านี้จะมีค่า iodine no. ต่ำกว่า 500 มก./ก. และค่า methylene blue adsorption ต่ำกว่า 50 มก./ก., ยกเว้นตัวอย่าง G และ H ซึ่งมีค่า methylene blue adsorption สูงมากถึง 186 และ 123 มก./ก. ตามลำดับ. ส่วน pH ของดินซึ่งยังไม่ได้ผ่านกระบวนการเลย มีค่าประมาณ 3.2-4.8 โดยส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำกว่า 4 แสดงถึงความเป็นกรดจัดของดินพรุ.

ตารางที่ 2.3, 2.4, 2.5 และ 2.6 แสดงถึงผลของการแปรค่าอัตราส่วนของน้ำหนักดินต่อน้ำหนัก $ZnCl_2$ (ร้อยละ 60), อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น ต่อค่า iodine no., methylene blue adsorption, พื้นที่ผิวอนุภาค และค่าร้อยละของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ (% yield) ตามลำดับ. รายละเอียดของคุณสมบัติอื่น ๆ ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ มีแสดงในตารางที่ 2.7.

ตารางที่ 2.1. ตัวอย่างดินพรุและค่า proximate analyses ของดิน ซึ่งใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างดินพรุ และแหล่งที่เก็บ	ความชื้นหลัง air dry (ร้อยละ)	Proximate analyses (ร้อยละ, dry basis)			
		สารระเหย	เถ้า	Fixed carbon	S
A-แหล่ง 1 ดินพรุบาเจาะ ที่ความลึก 1.5 ม.	10.6	59.8	3.7	36.5	0.25
B-แหล่ง 2 ดินพรุบาเจาะ ที่ความลึก 1.5 ม.	10.3	60.4	2.5	37.1	0.20
C-แหล่ง 3 ดินพรุบาเจาะ ที่ความลึก 0-0.5 ม.	7.4	47.3	25.1	27.6	0.22
D-แหล่ง 4 ดินพรุบาเจาะ ที่ความลึก 0.5 ม.	6.1	38.8	39.2	22.0	0.18
E-แหล่ง 5 ดินพรุบาเจาะ ที่ยิวคิน	9.7	60.5	1.3	38.2	0.17
F-แหล่ง 6 ดินพรุบาเจาะ ที่ยิวคิน	7.3	45.5	28.8	25.7	0.17
G-แหล่ง 7 ดินพรุบาเจาะ ที่ความลึก 1 ม. (บริเวณเดียวกับแหล่ง 2)	6.0	64.1	1.4	34.5	0.12

หมายเหตุ: ตัวอย่าง A-F วิเคราะห์โดย หป. เทคโนโลยีการพลังงาน
ตัวอย่าง G วิเคราะห์โดย หป. เคมีวิเคราะห์

ตารางที่ 2.2. คุณสมบัติของตัวอย่างดินพรุก่อนนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

ตัวอย่างดินพรุ	Iodine no. (มก./ก.)	Methylene blue adsorption (มก./ก.)	ความหนาแน่น (ก./ซี.ซี.)	pH
A	380	41	-	4.2
B	395	37	0.528	4.8
C	375	52	-	-
D	416	35	0.719	3.3
E	660	52	-	3.2
F	476	40	-	-
G	439	71.5	0.599	3.5

ตารางที่ 2.3. ผลของการแปรค่าอัตราส่วนของดิน: ZnCl₂, อุณหภูมิและเวลาการกระตุ้น ที่มีต่อค่า iodine no. ของถ่านกัมมันต์

Iodine no. (มก./ก.)	อัตราส่วน ดิน : ZnCl ₂ (ร้อยละ 60)																			
	1 : 25										1 : 4									
ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°ซ.)																			
	400					600					400					600				
	เวลา (ชม.)																			
	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
A	-	-	-	-	-	-	1286	-	-	1309	-	1168	-	1302	-	1295	1341	1292	-	-
B	-	-	1013	995	-	1170	1181	1098	1322	1194	-	1155	920	1148	-	1224	1254	1225	-	-
C	-	-	-	-	-	-	797	-	-	876	-	-	-	-	-	860	-	839	-	-
D	-	-	-	-	-	-	626	-	-	500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	1176	-	-	782	-	-	-	-	-	1276	1268	1325	-	-
F	-	-	-	-	-	-	843	-	-	737	-	-	-	-	-	809	-	823	-	-
G	-	1132	-	1018	-	-	1315	-	1265	-	705	1090	844	1075	-	1310	1309 (1202)	1226	1077 (1213)	-

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงคุณสมบัติของถ่านที่ผลิตซ้ำอีกครั้ง เพื่อยืนยันข้อมูล

ตารางที่ 2.4. ผลของการแปรค่าอัตราส่วนของกิน : $ZnCl_2$,
 อุณหภูมิและเวลาการกระตุ้น ที่มีต่อค่า methylene blue adsorption ของถ่านกัมมันต์

Methylene blue adsorption (มก./ก.)	อัตราส่วน กิน : $ZnCl_2$ (ร้อยละ 60)																			
	1 : 2.5										1 : 4									
	อุณหภูมิ (°ซ.)																			
	400					600					400					600				
	เวลา (ชม.)																			
ตัวอย่าง	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
A	-	-	-	-	-	-	216	-	-	262	-	186	-	227	-	240	267	323	-	-
B	-	-	164	142	-	207	217	201	233	232	-	125	104	160	-	206	259	330	-	-
C	-	-	-	-	-	-	227	-	-	178	-	-	-	-	-	274	-	308	-	-
D	-	-	-	-	-	-	173	-	-	154	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	241	-	-	201	-	-	-	-	-	266	296	357	-	-
F	-	-	-	-	-	-	209	-	-	197	-	-	-	-	-	275	-	298	-	-
G	-	160	-	145	-	-	240	-	243	-	95	148	99	199	-	224	234 (202)	264	208 (210)	-

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงคุณสมบัติของถ่านที่ผลิตซ้ำอีกครั้ง เพื่อยืนยันข้อมูล

ตารางที่ 2.5. ผลของการแปรค่าอัตราส่วนของดิน : ZnCl₂,
อุณหภูมิและเวลาการกระตุ้น ที่มีต่อค่าพื้นที่ผิวอนุภาคของถ่านกัมมันต์

พื้นที่ผิว อนุภาค (B.E.T.) (ม ² /ก.)	อัตราส่วน ดิน : ZnCl ₂ (ร้อยละ 60)																			
	1 : 2.5										1 : 4									
	อุณหภูมิ (°ซ.)																			
	400					600					400					600				
	เวลา (ชม.)																			
ตัวอย่าง	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1384	-	876	-	1005	-	1351	-	1346	-	-
B	-	-	-	-	-	1176	-	-	-	-	-	777	-	989	-	1178	1185	1250	-	-
C	-	-	-	-	-	699	-	-	-	-	-	-	-	-	-	791	-	815	-	-
D	-	-	-	-	-	623	-	-	-	407	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	1139	-	-	-	551	-	-	-	-	-	-	-	1568	-	-
F	-	-	-	-	-	695	-	-	-	571	-	-	-	-	-	650	-	746	-	-
G	-	614	-	624	-	992	-	-	1001	-	261	890	525	848	-	1251	-	1317	1125	-
																(1227)		(1256)		

32

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงคุณสมบัติของถ่านที่ผลิตซ้ำอีกครั้ง เพื่อยืนยันข้อมูล

ตารางที่ 2.6. ผลของการแปรค่าอัตราส่วนของดิน : $ZnCl_2$,
 อุณหภูมิและเวลาการกระตุ้น ที่มีต่อคาร์บอนของดินที่มีต้นพืชลิเก้

จำแนกชนิด พืชลิเก้ (ร้อยละ ของน้ำหนัก ดินแห้ง)	อัตราส่วน ดิน : $ZnCl_2$ (ร้อยละ 60)														
	1 : 2.5														
	อุณหภูมิ (°ซ.)														
ตัวอย่าง	400			600			400			600					
	เวลา (ชม.)														
	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
A	-	-	-	-	50.1	-	56.6	-	54.3	-	51.0	48.7	51.7	-	-
B	-	-	58.4	58.6	50.9	62.4	56.7	58.9	56.0	-	53.4	50.7	52.7	-	-
C	-	-	-	-	56.9	-	-	-	-	-	59.4	-	58.9	-	-
D	-	-	-	-	66.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	49.6	-	-	-	-	-	52.2	53.5	49.7	-	-
F	-	-	-	-	68.6	-	-	-	-	-	63.7	-	61.2	-	-
G	-	64.3	-	56.6	57.3	-	59.1	56.2	54.9	-	52.5	49.4	54.2	56.9	(51.5)

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในวงเล็บหมายถึงคุณสมบัติของดินที่ผลิตซ้ำอีกครั้ง เพื่อยืนยันข้อมูล

ตารางที่ 2.7. รายละเอียด proximate analyses
ของถ่านกัมมันต์ที่ทดลองผลิต โดยใช้สารเคมี $ZnCl_2$ กระตุ้น

ตัวอย่างและสภาวะ การทดลอง	ความชื้น (ร้อยละ)	Proximate analyses (ร้อยละ, dry basis)				ความ หนาแน่น (ก./ซม. ³)	pH
		สารระเหย	เถ้า	Fixed carbon	S		
G (1:2.5,400,1.0)	-	-	-	-	-	0.555	2.1
B (1:2.5,400,1.5)	-	-	-	-	-	0.557	2.2
B (1:2.5,400,2.0)	-	-	-	-	-	0.533	2.1
G (1:2.5,400,2.0)	-	-	-	-	-	0.567	2.4
B (1:2.5,600,0.5)	-	-	-	-	-	0.457	2.0
A (1:2.5,600,1.0)	-	-	-	-	-	0.445	3.0
B (1:2.5,600,1.0)	-	-	-	-	-	0.565	2.9
C (1:2.5,600,1.0)	-	-	-	-	0.06	0.659	3.9
D (1:2.5,600,1.0)	-	-	-	-	0.04	0.787	2.9
E (1:2.5,600,1.0)	-	-	-	-	0.17	0.603	3.0
F (1:2.5,600,1.0)	1	7.5	36.3	56.2	-	0.683	3.8
G (1:2.5,600,1.0)	-	-	-	-	-	0.510	2.3
B (1:2.5,600,1.5)	-	-	-	-	-	0.520	1.8
B (1:2.5,600,2.0)	-	-	-	-	-	0.475	2.6
G (1:2.5,600,2.0)	-	-	-	-	-	0.509	2.0
A (1:2.5,600,3.0)	-	-	-	-	0.04	0.383	2.4
B (1:2.5,600,3.0)	-	-	-	-	0.04	0.463	2.6
C (1:2.5,600,3.0)	-	-	-	-	-	-	-
D (1:2.5,600,3.0)	-	-	-	-	-	0.646	3.4
E (1:2.5,600,3.0)	-	-	-	-	0.06	0.781	4.1
F (1:2.5,600,3.0)	-	-	-	-	-	0.750	4.0
G (1:4,400,0.5)	-	-	-	-	-	0.210	8.5
A (1:4,400,1.0)	-	-	-	-	-	0.531	2.3
B (1:4,400,1.0)	-	-	-	-	-	0.596	2.2
G (1:4,400,1.0)	-	-	-	-	-	0.515	2.4
B (1:4,400,1.5)	-	-	-	-	-	0.611	2.1
G (1:4,400,1.5)	-	-	-	-	-	0.659	2.1
A (1:4,400,2.0)	-	-	-	-	-	0.549	2.3

ตารางที่ 2.7. (ต่อ)

ตัวอย่างและสภาวะ การทดลอง	ความชื้น (ร้อยละ)	Proximate analyses (ร้อยละ, dry basis)				ความ หนาแน่น (ก./ซม. ³)	pH
		สารระเหย	เถ้า	Fixed carbon	S		
B (1:4,400,2.0)	-	-	-	-	-	0.518	2.4
G (1:4,400,2.0)	-	-	-	-	-	0.529	2.6
A (1:4,600,0.5)	12	10.6	1.5	87.9	-	0.537	3.2
B (1:4,600,0.5)	9	11.5	3.1	85.4	-	0.434	3.2
C (1:4,600,0.5)	-	-	-	-	-	0.456	3.1
E (1:4,600,0.5)	19	9.6	3.4	87.0	-	0.345	3.5
F (1:4,600,0.5)	9	9.0	39.4	51.6	<0.05	0.574	2.8
G (1:4,600,0.5)	-	-	-	-	-	0.624	2.1
A (1:4,600,1.0)	16	9.3	1.6	89.1	-	0.346	2.9
B (1:4,600,1.0)	14	12.8	5.3	82.0	-	0.402	2.9
E (1:4,600,1.0)	16	10.4	2.4	87.1	-	0.460	2.8
G (1:4,600,1.0)	-	-	-	-	-	0.465	3.2
G (1:4,600,1.0)	12	10.2	2.2	87.7	<0.05	0.426	3.2
A (1:4,600,1.5)	-	-	-	-	-	0.447	3.0
B (1:4,600,1.5)	-	-	-	-	-	0.468	3.1
C (1:4,600,1.5)	-	-	-	-	-	0.513	3.0
E (1:4,600,1.5)	-	-	-	-	-	0.449	3.3
F (1:4,600,1.5)	-	-	-	-	-	0.511	3.2
G (1:4,600,1.5)	-	-	-	-	-	0.376	2.2
G (1:4,600,2.0)	16	19.1	3.3	77.5	<0.05	0.539	3.0
G (1:4,600,2.0)	11	9.4	2.1	88.5	<0.05	0.476	3.4

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บแสดงถึงสภาวะการทดลอง คือ อัตราส่วนของดินต่อสารเคมี ZnCl₂ (เข้มข้นร้อยละ 60), อุณหภูมิ (°ซ.) และเวลา (ชม.) ในการ กระตุ้นตามลำดับ

2.2 วิธีการกระทุงโดยใช้ไอน้ำ

2.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

- วัสดุ

แป้งมันสำปะหลังชนิดอย่างดี ทรายเจีย

- อุปกรณ์

(1) บล็อกพลาสติกรูปกลม และชั้นสำหรับอัดดินพรุให้เป็นเม็ด
ขนาด 4 mesh.

(2) ชูกครก (mortar).

(3) ตู้อบ "MEMBERT" ช่วงอุณหภูมิ 0-250°ซ.

(4) เตาเผา "CARBOLITE" (England) type ESF 12/23.
ช่วงอุณหภูมิ 0-1,200°ซ.

(5) Graphite crucible และ porcelain crucible.

(6) Rotary kiln ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. และความยาว

35 ซม. (เฉพาะที่บรรจุที่อุทก) สามารถจุดินพรุได้ประมาณ 0.3-0.7 กก. พร้อมด้วยอุปกรณ์
ผลิตไอน้ำยิ่งยวดซึ่งใช้วิธีการผ่านไอน้ำอิมพัลส์ไปยังขลุ่ยของแก๊วร้อนตามอุณหภูมิที่ถ่วงถ่วง.

อุปกรณ์ชุด rotary kiln ที่ วท. ใช้นี้เป็นของกองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ ดังแสดง
ในรูปที่ 2.1 และ 2.2.

2.2.2 สภาวะและผลการทดลอง

วิธีการทดลองมีดังนี้:

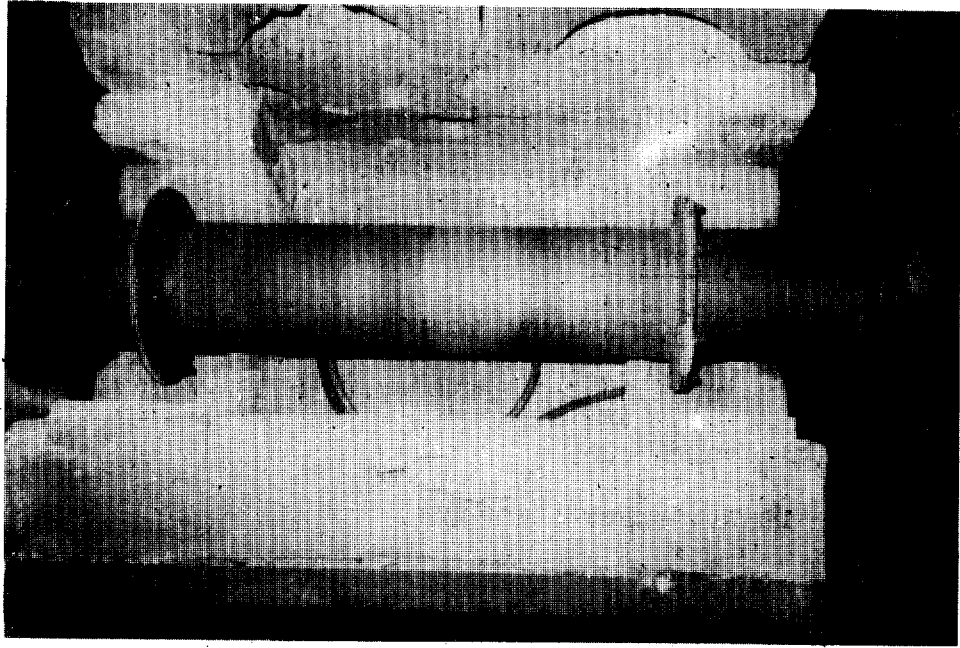
ก. การเตรียมดินเม็ดดินพรุ

- นำดินที่ไคมาทำให้แห้ง โดยตั้งแคทหรืออบที่ 80°ซ. จนแห้งสนิท.
- บกดินรวมทั้งรากไม้ให้ละเอียดจนสามารถผ่าน sieve ขนาด 60 เมช.
- นำดินที่บดละเอียดแล้วไปอบที่ 110°ซ. จนน้ำหนักคงที่ แล้วทิ้งให้เย็น

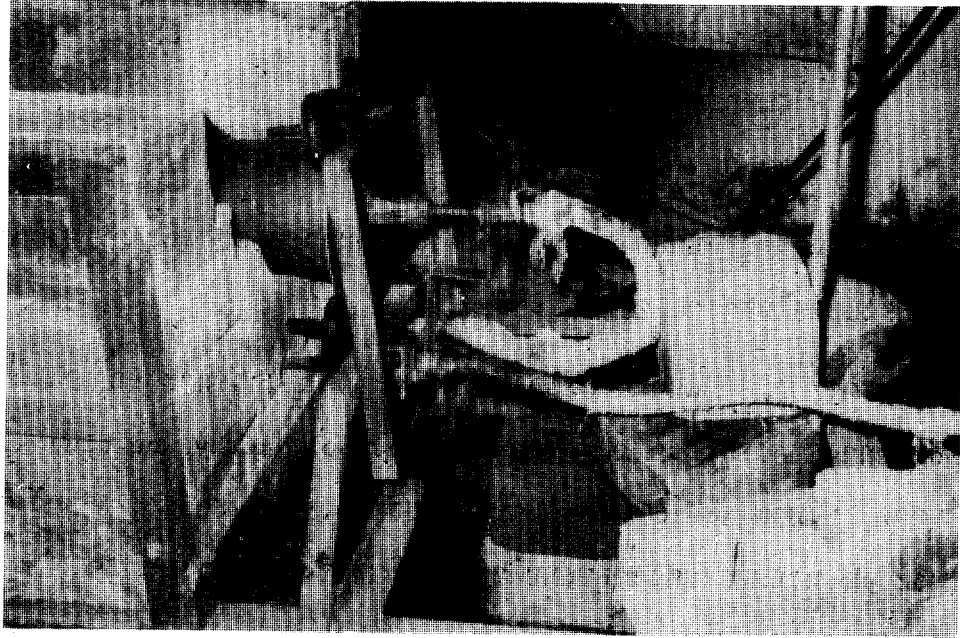
ใน desiccator.

- เตรียมน้ำแป้งสุกจากแป้งมันสำปะหลัง (แป้ง 15 ก. ในน้ำ 390 มล.

แล้วอุ่นจนแป้งสุก).



รูปที่ 2.1. ท่อเตาเผาถ่านดินพรุขนาดห้องปฏิบัติการ.



รูปที่ 2.2. ท่อส่งผ่านไอน้ำเข้าเตาเผา.

- ผสมดินและน้ำแป้งสุก โดยใช้ น้ำหนักแป้งแห้งร้อยละ 5 ของน้ำหนักดินพรุแห้ง.
- อัดดินพรุผสมแป้งในบล็อกรูปกลมออกมาเป็นเม็ด.
- นำเม็ดดินพรุไปอบแห้งที่ 110°ซ. และเผาที่ 500°ซ. ประมาณ 1 ชม.

ใน crucible ซึ่งปิดฝา แล้วทิ้งให้เย็นใน crucible.

ข. การกระตุ้นด้วยไอน้ำ

- ชั่งน้ำหนักเม็ดถ่านดินพรุ ประมาณ 300 ก. บรรจุในท่อเตาเผาไอน้ำ
- ผ่านไอน้ำความดัน 20 ปอนด์/ตร.นิ้ว แล้วจุดไฟเผาจากก๊าซ เริ่มจับเวลา

เมื่ออุณหภูมิภายในเตาสูงตามที่กำหนด.

- ปิดไฟเผาเมื่อครบเวลากำหนด.
- ปิดท่อไอน้ำ.
- ทิ้งท่อเตาเผาให้เย็น แล้วจึงนำเอาเม็ดถ่านดินพรุออกมา.
- ชั่งน้ำหนักถ่าน และคำนวณหาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ได้.
- นำถ่านไปบดและผ่าน sieve 60 เมช แล้วนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ.

ตัวแปรซึ่งใช้ในการทดลองการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำ คือ:

- อุณหภูมิการเผา ที่ 800 และ 900°ซ.
- เวลาการเผา ที่ 1, 2, 3 และ 4 ชม.

ตัวอย่างดินพรุซึ่งนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการทดลอง คือ ดินพรุเขาเจาะตัวอย่าง G ซึ่งมีคุณสมบัติดังแสดงในตาราง 2.1 และ 2.2.

ตารางที่ 2.8 แสดงถึงผลของอุณหภูมิและเวลาในการกระตุ้นถ่านดินพรุด้วยไอน้ำ ที่มีต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์ ได้แก่ iodine no., methylene blue adsorption, พื้นที่ผิวอนุภาค, ปริมาณ yield หรือถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้เป็นค่าร้อยละของน้ำหนักดินพรุ, ความหนาแน่นและ pH พร้อมทั้งแสดงค่าคุณสมบัติของถ่านดินพรุซึ่งผ่านการเผาที่ 500°ซ. เป็นเวลา 1 ชม. แต่ก่อนการกระตุ้นด้วยไอน้ำ.

ตารางที่ 2.8. ผลของอุณหภูมิและเวลาการกระตุ้น
ถ่านหินพรุด้วยไอน้ำ ที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์

คุณสมบัติ	ถ่านหินพรุก่อน กระตุ้นด้วยไอน้ำ (หลังจากเผา ที่ 500°ซ. เป็นเวลา 1 ชม)	อุณหภูมิ (°ซ.)					
		800		900			
		เวลา (ชม.)					
		1	2	1	2	3	4
Iodine no. (มก./ก.)	327	575	704	919	1060	1142	1216
Methylene blue ad- sorption (มก./ก.)	112	89	113	96	161	250	296
พื้นที่ผิวอนุภาค (B.E.T.) (ม ² /ก.)	139	378	464	612	707	831	881
Yield (ร้อยละของน้ำ- หนักหินพรุแห้ง)	45-52	31.0	19.6	26.1	20.7	9.2	7.7
ความหนาแน่น (ก./ซี.ซี)	0.532	0.658	0.525	0.547	0.457	0.389	0.363
pH	5.9	6.7	7.3	9.6	9.2	9.5	9.8

ตารางที่ 2.9 แสดงรายละเอียดของ proximate analyses ของถ่านกัมมันต์
ซึ่งกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำ.

ตารางที่ 2.10 แสดงขนาด particle size distribution ของเม็กลินพรุ
ก่อนและหลังผ่านสภาวะการทดลองต่าง ๆ.

ตารางที่ 2.9. รายละเอียด proximate analyses ของถ่านกัมมันต์ ที่ทดลองผลิตโดยใช้ไอน้ำกระตุ้น

ตัวอย่างและสภาวะการทดลอง	ความชื้น (ร้อยละ)	Proximate analyses (ร้อยละ, dry basis)			
		สารระเหย	เถ้า	Fixed carbon	S
G (carbonized, 500, 1)	2.8	19.0	2.4	78.6	<0.02
G (800, 1)	3.3	8.0	2.7	89.3	<0.02
G (800, 2)	1.8	4.2	3.2	92.6	<0.02
G (900, 1)	5.3	5.1	3.7	91.3	<0.02
G (900, 2)	2.6	5.9	3.0	91.1	<0.02
G (900, 3)	2.8	5.2	4.6	90.2	<0.02
G (900, 4)	2.7	5.2	5.4	89.4	<0.02

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บแสดงถึงสภาวะในการผลิต คือ อุณหภูมิ (°ซ.) และเวลา (ชม.) ในการกระตุ้นหรือเผา ตามลำดับ

ตารางที่ 2.10. Particle size distribution ของเม็ดถ่านคิงพรูที่สภาวะต่าง ๆ

ตัวอย่างและสภาวะการทดลอง	การร้อยละ			
	+ 4 เมช	4-8 เมช	8-16 เมช	- 16 เมช
G (หลังอัดเม็ดคอบแห้งที่ 110°ซ.)	88.3	10.5	0.3	0.9
G (carbonized, 500, 1)	-	90.2	1.2	8.6
G (800, 1)	-	-	-	-
G (800, 2)	-	75.6	11.0	13.4
G (900, 1)	-	74.6	5.9	19.5
G (900, 2)	-	87.4	4.9	7.7
G (900, 3)	-	51.2	27.4	21.4
G (900, 4)	-	42.9	30.7	26.4

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บแสดงถึงสภาวะในการผลิต คือ อุณหภูมิ (°ซ.) และเวลา (ชม.) ในการกระตุ้นหรือเผา ตามลำดับ

3. วิจารณ์และสรุป

วท. ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากคินพรวุในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ตัวอย่างจากพญาเงาะ จ.นราธิวาส ซึ่งสาขาวิจัยอุตสาหกรรมพลังงานนำมาจากจุดต่าง ๆ ในบริเวณพญาเงาะ (ตัวอย่าง A-F) และทางสาขาวิจัยอุตสาหกรรมเคมี ได้ไปนำตัวอย่างเพิ่มเติมในภายหลังใน บริเวณใกล้เคียงกับแหล่งตัวอย่าง B (ตัวอย่าง G) ทั้งแสดงค่า proximate analyses ใน ตารางที่ 2.1. คินพรวุเหล่านี้เมื่อซุดขึ้นมาจะมีความชื้นค่อนข้างสูง, กว่าร้อยละ 90 ของตาก หึ่งไว้หรือนำไปอบแห้ง. ถ้าตากหึ่งไว้ (air dried) จะได้คินพรวุความชื้นประมาณร้อยละ 6-11. สำหรับค่าสารประกอบอื่น ๆ (เมื่อวิเคราะห์ dry basis) ได้แก่ สารระเหย (volatile matter) มีประมาณร้อยละ 38.8-64.1, เถ้ามีร้อยละ 1.3-39.2, ถ่านคงตัว (fixed carbon) มีร้อยละ 25.7-38.2 และสาร S ประมาณ 0.12-0.25. นอกจากนี้ จากการวิเคราะห์ค่า iodine no. และ methylene blue adsorption (ตารางที่ 2.2) พบว่ามีค่าค่าประมาณ 375-660 และ 37-71.5 มก./ก.คินพรวุ ตามลำดับ, ส่วนค่า pH อยู่ใน ช่วง 3.2-4.8 ซึ่งแสดงถึงความเป็นกรด. วท. ได้ทดลองลดความเป็นกรดของคินพรวุก่อนนำ มาผลิตถ่านกัมมันต์ โดยใช้สาร CaCO_3 และ Ca(OH)_2 ได้ผลดังรายงานในภาคผนวก 2 ซึ่ง แสดงว่าสารทั้งสองสามารถลดความเป็นกรดของคินพรวุได้จนถึง เป็นกลางเมื่อเพิ่มปริมาณมากขึ้น. และ วท. ยังได้ทดลองลดความเป็นกรดของถ่านกัมมันต์ซึ่งผลิตจากคินพรวุที่ยัง ไม่ได้ลดความเป็น กรด โดยใช้สารเคมี ได้แก่ Ca(OH)_2 , KOH และ NaOH ทั้งแสดงในภาคผนวก 2 เช่นกัน. อย่างไรก็ตาม วท. พบว่าการลดความเป็นกรดนี้ ไม่มีผลต่อคุณสมบัติอื่นของถ่านกัมมันต์นัก จึงได้ใช้ คินพรวุซึ่งไม่ได้ลดความเป็นกรดเป็นวัตถุดิบทั้งคันในการทดลองโดยทั่วไป.

วิธีการผลิตถ่านกัมมันต์ในห้องปฏิบัติการทาง วท. นั้น ใช้วิธีกระตุ้นด้วยสารเคมี ZnCl_2 และใช้วิธีกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวด โดยใช้ตัวแปรพร้อมคือ อุณหภูมิและเวลาการกระตุ้น. สำหรับการกระตุ้นด้วยสารเคมี ZnCl_2 นั้น มีการแปรอัตราส่วนของสารเคมี ZnCl_2 (ความเข้มข้น ร้อยละ 60) ต่อคินคั่ว. หลังจากนั้นจึงนำเอาถ่านกัมมันต์ที่ได้มาวิเคราะห์หาค่า iodine no., methylene blue adsorption, พื้นที่ผิวอนุภาค, proximate analyses, ความชื้น, ความหนาแน่น และ pH เป็นต้น. สำหรับถ่านที่กระตุ้นด้วยไอน้ำนั้น ได้รับการวิเคราะห์หา particle

size distribution คว้ย เนื่องจากต้องใช้ถ่านอัดเม็ดเมื่อกระตุ้น. นอกจากนี้ในการใช้งาน บางประเภทนั้นจำเป็นต้องใช้ถ่านเม็ดขนาดต่าง ๆ ตามความเหมาะสม.

ในระหว่างการทดลองนี้ ผู้ปฏิบัติการได้พบว่าความเข้มข้นของสารละลาย methylene blue นั้น มีผลต่อค่า methylene blue adsorption เป็นอย่างมาก, และจากเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ ก็ใช้ค่าความเข้มข้นของ methylene blue ต่าง ๆ กัน (Hassler 1987; JIS 1967). จึงได้ทดลองหาค่าความเข้มข้นของ methylene blue ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการหาค่า

methylene blue adsorption มีผลดังแสดงในภาคผนวก 3. จากผลการทดลองนี้พบว่า ถ้าใช้ความเข้มข้น 0.4 กรัม/ลิตร จะได้ค่า adsorption ต่ำมากกว่าค่าความเข้มข้น 0.8 และ 1.2 กรัม/ลิตร เมื่อใช้สารถ่านกัมมันต์ประมาณ 0.2 กรัม. ส่วนค่า adsorption ของความเข้มข้นสูงทั้งสองค่านั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจเนื่องมาจากว่าถ้าใช้สารละลายความเข้มข้นต่ำไป ถ่านกัมมันต์จะไม่สามารถดูดซับได้เต็มที่. เพื่อความเหมาะสมจึงใช้สารละลาย methylene blue ความเข้มข้น 0.8 กรัม/ลิตร ในการทดลองต่อไป.

3.1 ผลการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากคินฟูโดยวิธีกระตุ้นด้วยสารเคมี $ZnCl_2$

ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยสารเคมี $ZnCl_2$ นี้ มีค่าร้อยละของถ่านที่ผลิตได้ (per cent yield) อยู่ในช่วง 48.7-68.6 (ตารางที่ 2.6), และพบว่าถ่านที่มีค่า yield สูงนี้เป็นถ่านที่มีค่าเถ้าสูง ซึ่งมีคุณสมบัติไม่เหมาะแก่การทำถ่านกัมมันต์ ได้แก่ ถ่านซึ่งผลิตจากคินฟู C, D และ F ก็จะเห็นได้จากค่า iodine no., methylene blue adsorption และค่าพื้นที่ผิวอนุภาคของถ่านเหล่านี้จะมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับถ่านผลิตจากคินฟู A, B, E และ G. นอกจากนี้พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นหรือเวลานานขึ้น ค่า yield ก็ลดลง แต่ก็ไม่มากนักโดยเฉพาะเมื่อใช้เวลานานขึ้น ในสภาวะอุณหภูมิสูง $600^{\circ}C$.

ค่า iodine no. ของถ่าน (ตารางที่ 2.3) ซึ่งผลิตจากคินฟู C, D และ F มีค่า < 1000 มก./กรัมมาก, ส่วนถ่านกัมมันต์ผลิตจากคินฟู A, B, E และ G นั้นจะมีค่า iodine no. สูง กล่าวคือถ้ากระตุ้นที่อุณหภูมิ $400^{\circ}C$. จะมีค่าประมาณ 700-1200 มก./กรัม, และถ้ากระตุ้นที่ $600^{\circ}C$. จะมีค่าสูงระหว่าง 1200 - กว่า 1300 มก./กรัม ทั้งนี้โดยใช้เวลากระตุ้น อย่างน้อย 0.5 ชม.

สำหรับค่า methylene blue adsorption (ตารางที่ 2.4) นั้น พบว่าตัวอย่าง C, D และ F นั้น ส่วนใหญ่ให้ถ่านกัมมันต์ซึ่งมีค่า methylene blue adsorption ค่า รวมถึงตัวอย่างอื่น ๆ ซึ่งได้รับการกระตุ้นที่อุณหภูมิค่าคือที่ 400°ซ. ส่วนคินพรุซึ่งได้รับการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูง 600°ซ. และใช้สารละลาย ZnCl₂ ในอัตราส่วนที่สูง (1:4) จะให้ค่า methylene blue adsorption สูงถึงกว่า 300 มก./กรัม. อย่างไรก็ตาม ผู้ปฏิบัติการพบว่าค่า methylene blue adsorption นั้น แปรเปลี่ยนได้ง่าย และมีข้อผิดพลาดทำให้ค่าที่ได้ไม่สม่ำเสมอ. ในการทดสอบแต่ละครั้ง ผู้ปฏิบัติการต้องระมัดระวังข้อผิดพลาดต่าง ๆ เป็นอย่างมาก. อย่างไรก็ตาม จากผลการทดสอบค่า methylene blue นั้น พบว่าการกระตุ้นด้วย ZnCl₂ ที่อุณหภูมิ 400°ซ. นั้น ให้ผลไม่ค้ำนัก กล่าวคือค่า methylene blue อยู่ระหว่าง 100-200 มก./ก. แต่ถ้ากระตุ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น ค่าจะมากกว่า 200 มก./ก. โดยเฉพาะถ้ากระตุ้นเป็นเวลายาวนานขึ้น. เช่นเกี่ยวกับการทดสอบหาค่าพื้นที่ผิวอนุภาค (ตารางที่ 2.5) นั้น ตัวอย่าง C, D และ F จะมีค่าต่ำกว่า 800 ม²/ก. ตัวอย่างอื่นนั้นถ้ากระตุ้นที่ 400°ซ. จะได้ค่าพื้นที่ผิวต่ำกว่า 1,000 ม²/ก. แต่ถ้ากระตุ้นที่อุณหภูมิ 600°ซ. จะได้ค่าสูงกว่า 1,300 ม²/ก. จากการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยการกระตุ้นด้วยสารเคมี ZnCl₂ พบว่า ตัวอย่าง A, B, E และ G จะให้ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ดีที่สุดเมื่อกระตุ้นที่ 600°ซ. เป็นเวลา 0.5-1.5 ชม. โดยใช้อัตราส่วนของสารเคมี 1:4 ค่าต่าง ๆ ที่ได้จะอยู่ในช่วงต่อไปนี้:

Iodine no.	1,224-1,325	มก./ก.
Methylene blue adsorption	206- 357	มก./ก.
พื้นที่ผิวอนุภาค (B.E.T.)	1,178-1,568	ม. ² /ก.
ค่า yield (ร้อยละของคินพรุแห้ง)	48.7-54.2	

ค่า proximate analyses, ความชื้น, ความหนาแน่น และ pH ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ มีดังแสดงในตารางที่ 2.7 และพบว่าสารเหล่านี้มีค่า s ค้ำมาก ประมาณร้อยละ 0.04-0.06. ส่วนถ่าน A, B, E และ G ที่กระตุ้นที่ 600°ซ. เป็นเวลา 0.5-1.5 ชม. โดยใช้อัตราส่วนของสารเคมี 1:4 จะมีค่า fixed carbon อยู่ระหว่างร้อยละ 82-89, ค่าถ้ำร้อยละ 1.5-5.3, ค่าสารระเหยร้อยละ 9.3-12.8, ความหนาแน่นประมาณ 0.3-0.5 ก./ซีซี และ pH 2.1-3.2.

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ซึ่งผลิตจากคินพรวุ กับถ่านกัมมันต์ซึ่งผลิตขายในท้องตลาด (ดูตารางที่ 3.1) พบว่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ยกเว้นค่า pH ซึ่งขึ้นกับเทคนิคการผลิต.

จากผลการทดสอบหาค่า iodine no., methylene blue adsorption และค่าพื้นที่ผิวอนุภาคของถ่านกัมมันต์ วท. ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า iodine no. และค่าพื้นที่ผิวอนุภาค และความสัมพันธ์ระหว่างค่า methylene blue adsorption และค่าพื้นที่ผิวอนุภาค ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ. จากรูปจะพบว่าค่าเหล่านี้มีความสัมพันธ์แปรตามกัน. แต่เนื่องจากความแปรปรวนและข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ จึงไม่ได้ค่าความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงคืบ แต่ก็อาจใช้ค่าเหล่านี้แทนกันได้.

3.2 ผลการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากคินพรวุโดยวิธีกระตุ้นด้วยไอน้ำ

คินพรวุซึ่งกระตุ้นด้วยวิธีไอน้ำที่ต้องผ่านกระบวนการทำเป็นเม็ดขนาดใหญ่มากกว่า 4 mesh ทั้งนี้เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายและการพาไปของไอน้ำที่ผ่านคิน ทำให้เกิดการสูญเสียและการอุดตันของท่อไอน้ำ. นอกจากนี้เม็ดถ่านคินพรวุเหล่านี้จะต้องผ่านกระบวนการ carbonization ที่ 500°ซ. ประมาณ 1 ชม. ก่อนจึงนำไปกระตุ้นด้วยไอน้ำใน rotary kiln ต่อไป.

ตารางที่ 2.8 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลากระตุ้นถ่านคินพรวุด้วยไอน้ำ รวมถึงคินพรวุที่ผ่านกระบวนการ carbonization. จะพบว่าคินที่ผ่าน carbonization (yield ร้อยละ 45-52) มีค่า iodine no., methylene blue adsorption, และพื้นที่ผิวอนุภาคยังต่ำมาก, และเมื่อกระตุ้นด้วยไอน้ำแล้วจะมีค่าต่าง ๆ สูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อกระตุ้นที่อุณหภูมิ 900°ซ. เป็นเวลา 4 ชม. จะให้ค่าสูงสุด กล่าวคือ:

Iodine no.	1,216 มก./ก.
Methylene blue adsorption	296 มก./ก.
พื้นที่ผิวอนุภาค (B.E.T.)	881 ม ² /ก.

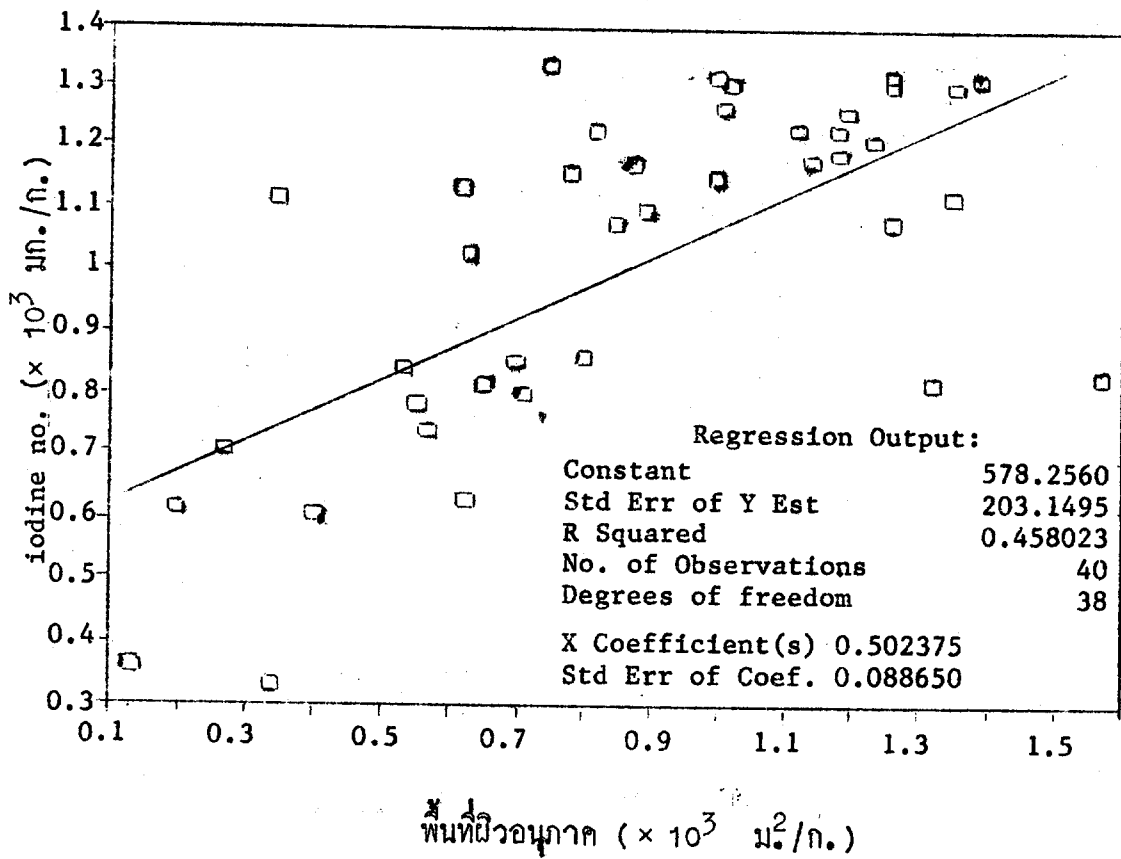
แต่ค่า yield จะต่ำมากเพียงร้อยละ 7.7 ของน้ำหนักคินพรวุแห้งเท่านั้น, ส่วนค่า pH สูงถึง 9.8 (ค่อนข้างคงที่เมื่อกระตุ้นด้วยไอน้ำที่ 900°ซ.) และค่าความหนาแน่นเพียง 0.363 ก./ซี.ซี. ซึ่งต่ำกว่าถ่านกระตุ้นด้วยสารเคมี ZnCl₂.

ตารางที่ 3.1. คุณสมบัติของน้ำมันซึ่งผลิตขายในตลาด

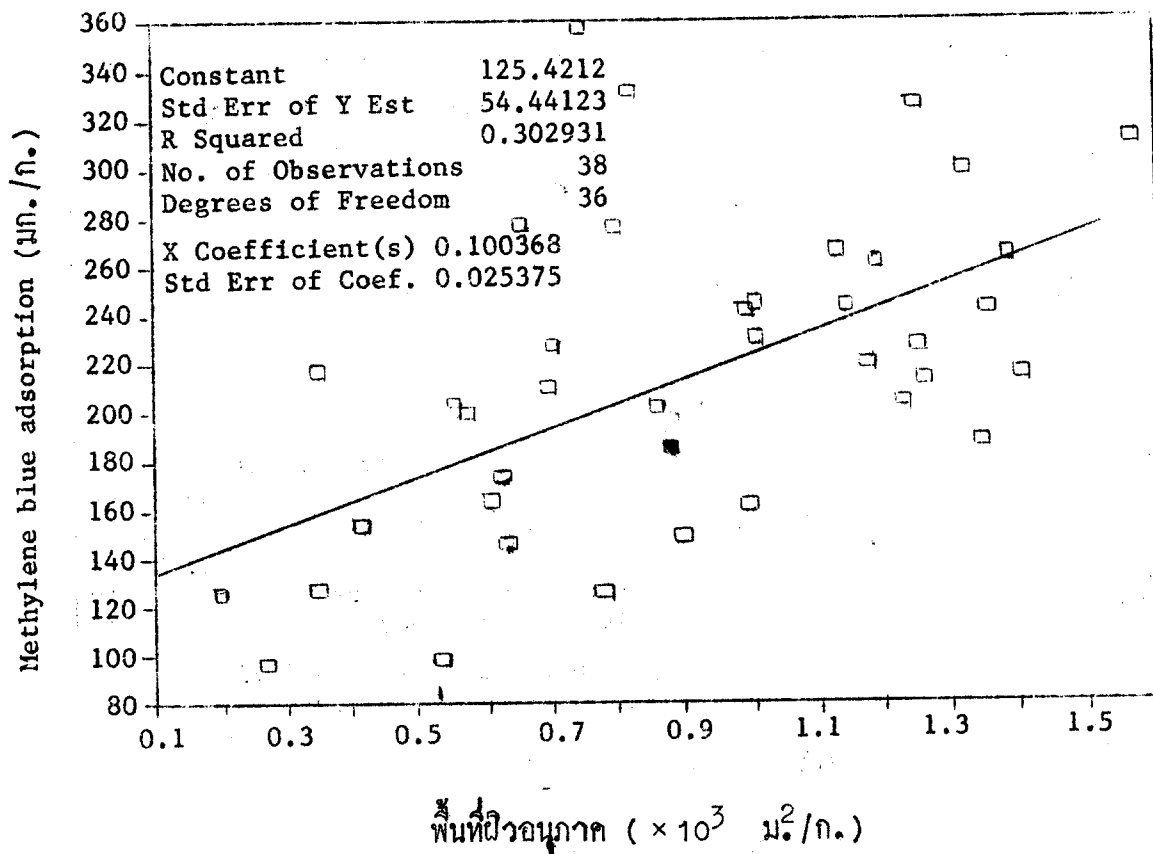
ชื่อและแหล่งของ น้ำมัน	Iodine no. (มก./ก.)		Methylene blue adsorption (มก./ก.)		ความหนาแน่น (ก./ซี.ซี.)		pH		สี พท.ผิวอากาศ (ม ² /ก.)	
	จาก เอกสาร	วิเคราะห์ โดย วท.	จาก เอกสาร	วิเคราะห์ โดย วท.	จาก เอกสาร	วิเคราะห์ โดย วท.	จาก เอกสาร	วิเคราะห์ โดย วท.	จาก เอกสาร	วิเคราะห์ โดย วท.
1. บริษัท Calgon Corp (ประเทศ ส.ร.อ.) - ชนิด CAL (เม็ด) (จากถ่านหินโดยโซไดนา) - ชนิด BPL (เม็ด) (จากถ่านหินโดยโซไดนา)	≥ 1,000	833	-	297	0.44	0.455	7.5	8.7	1,000- 1,100	1,034
	≥ 1,050	1,081	-	277	0.48	0.439	-	7.4	1,050- 1,150	973
2. บริษัท Futamura Chemical Industries Co. Ltd. (ประเทศญี่ปุ่น) - TAIKO - TAIKO KW (จากซีเดย์) - TAIKO PKW (จากซีเดย์)	-	1,155	-	324	-	0.542	4.0	4.1	-	1,196
	-	1,106	110 (มด./ก.)	305	-	0.643	5.8	3.7	-	900
	-	1,875	-	331	-	0.605	4.7	3.1	-	1,364

ตารางที่ 3.1. (ต่อ)

ชื่อและแหล่งของ ถ่านกัมมันต์	Iodine no. (มก./ก.)		Methylene blue adsorption (มก./ก.)		ความหนาแน่น (ก./ซี.ซี.)		PH		พื้นที่ผิวอนุภาค (ม ² /ก.)	
	จาก เอกสาร	วิเคราะห์ โดย วท. เอกสาร	จาก เอกสาร	วิเคราะห์ โดย วท. เอกสาร	จาก เอกสาร	วิเคราะห์ โดย วท. เอกสาร	จาก เอกสาร	วิเคราะห์ โดย วท. เอกสาร	จาก เอกสาร	วิเคราะห์ โดย วท. เอกสาร
3. บริษัท Takeda Chemical Industries Ltd. (ประเทศญี่ปุ่น)	-	1,046	-	338	-	0.544	4.6	5.5	-	637
- SHIRASAGI "CW-20" (จากถ่านไม่กระตุบโดยโซไดนา)	-	922	-	201	-	0.666	9.12	10	-	539
- SHIRASAGI "E-16" (จากถ่านในตกระตุบโดยโซไดนา)										
4. บริษัทอุทุมพรเคมีคอลจำกัด (ประเทศไทย)										
- ชนิดผง 325 เมช (จากกะลามะพร้าวโดยโซไดนา)	1,050	995	144	195	0.315	0.797	8.5	10	-	605
- ชนิดเม็ด (12 x 40) (จากกะลามะพร้าวโดยโซไดนา)	1,152	857	175	181	0.584	0.533	8.9	9.6	-	640



รูปที่ 3.1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า iodine no. และค่าพื้นที่ผิวอนุภาคของถ่านกัมมันต์.



รูปที่ 3.2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Methylene blue adsorption และค่าพื้นที่ผิวอนุภาคของถ่านกัมมันต์.

ค่า proximate analyses และความชื้นของถ่านมีแสดงในตารางที่ 2.9. พบว่าค่า fixed carbon ค่อนข้างคงที่ประมาณร้อยละ 89-92, ค่าสารระเหยร้อยละ 4.2-8.0, ค่าเถ้าร้อยละ 2.7-5.4, ส่วนค่า S นั้น น้อยกว่าร้อยละ 0.02. นอกจากนี้ตารางที่ 2.10 ยังแสดงถึงขนาดของเม็กลินพุดในสภาวะต่าง ๆ. พบว่าเม็กลินพุดทุกตัวมีขนาดเล็กลงภายหลังจากการ carbonization และการกระตุ้นด้วยไอน้ำ, โดยเฉพาะเมื่อใช้เวลายาวนานขึ้น เม็กลินพุดจะมีขนาดเล็กลงมากขึ้น. อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองดังกล่าว พอจะสรุปได้ว่า ถ่านลินพุดซึ่งได้จากการกระตุ้นด้วยไอน้ำมีคุณสมบัติ (iodine no., methylene blue adsorption และพื้นที่ผิวอนุภาค) ค่อนข้างดีกว่าถ่านซึ่งกระตุ้นด้วยสารเคมี $ZnCl_2$ นอกจากนี้ค่า yield ของถ่านกระตุ้นด้วยไอน้ำยังต่ำมากด้วย.

3.3 ผลการทดสอบการใช้ถ่านกัมมันต์ในการฟอกสีสารละลายกากน้ำตาล (molasses) และน้ำมันพืช

วท. ได้ทดลองใช้ถ่านลินพุดซึ่งผลิตได้และถ่านกัมมันต์ทางการค้ามาทดลองฟอกสีสารละลายกากน้ำตาล และน้ำมันพืช โดยใช้วิธีการดังสรุปในภาคผนวก 4 และได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.2.

จากตารางจะพบว่า ถ่านลินพุดซึ่งกระตุ้นด้วยสารเคมี $ZnCl_2$ โดยใช้อัตราส่วน 1:4 ที่อุณหภูมิ $600^{\circ}C$. เป็นเวลา 1 ชม. นั้น สามารถฟอกสีสารละลายกากน้ำตาลได้ดีเทียบเท่าหรือดีกว่าถ่านกัมมันต์บางชนิดในท้องตลาด. อย่างไรก็ตาม การฟอกสีน้ำมันพืชไม่คืบคั้น, แต่ก็มีถ่านกัมมันต์เชิงการค้าซึ่งฟอกสีน้ำมันพืชได้ดีพอใช้เพียงชนิดเดียวคือ TAIKO PKW. อย่างไรก็ตาม จากการทดลองฟอกสีน้ำมันพืชด้วยดินฟอกสีนั้นพบว่า ดินฟอกสีมีประสิทธิภาพในการฟอกสีน้ำมันพืชได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์มาก. นอกจากนี้ วท. ได้ทดลองใช้ถ่านลินพุดซึ่งผ่านกระบวนการลด pH โดยใช้ $Ca(OH)_2$ แล้วไปฟอกสีน้ำมันพืช แต่ก็พบว่าประสิทธิภาพการฟอกสีคงเดิม แม้ว่า pH ของน้ำมันหลังการฟอกจะเป็น 5 ก็ตาม.

ตารางที่ 3.2. ผลการทดลองใช้ถ่านกัมมันต์ฟอกสีสารละลายกากน้ำตาลและน้ำมันพืช

ตัวอย่างถ่านกัมมันต์	ค่าสีสารละลาย กากน้ำตาล (ใช้ถ่านร้อยละ 1)	ค่าสีน้ำมันพืช		pH น้ำมัน หลังการฟอกสี
		ใช้ถ่านร้อยละ 1	ใช้ถ่านร้อยละ 3	
<u>ก่อนการฟอกสี</u>	1.1R 5.0Y	1.0R 20Y	1.0R 20Y	5
<u>หลังการฟอกสี</u>				
G (1:2.5,600,0.5)	1.0R 3.2Y	1.0R 20Y	0.9R 20Y	-
G (1:2.5,600,1.0)	0.2R 1.8Y	0.9R 20Y	0.8R 20Y	-
G (1:4, 600,0.5)	0.2R 1.0Y	0.9R 20Y	0.4R 10Y	3.2
G (1:4, 600,1.0)	0.0R 0.3Y	0.8R 20Y	0.3R 10Y	1.9
G (900, 3)	0.5R 1.3Y	1.0R 20Y	0.9R 20Y	-
G (900, 4)	0.5R 0.9Y	1.0R 20Y	0.9R 18Y	-
TAIKO PKW	0.0R 0.4Y	0.9R 10Y	0.6R 22Y	-
SHIRASAGI "CW-20"	0.0R 0.1Y	0.8R 10Y	0.7R 10Y	-
อุทุมพร (ชนิดผง)	0.9R 3.0Y	1.0R 20Y	0.9R 20Y	-
Merck (A.R.grade)	0.2R 0.1Y	0.7R 20Y	-	6
กินฟอกสี	-	0.6R 5Y	0.0R 1.7Y	5

เนื่องจากถ่านกัมมันต์ในท้องตลาดนั้นมีหลายชั้นคุณภาพ และใช้กับสารต่าง ๆ ทั้งที่เป็นของเหลว, ก๊าซและไอต่าง ๆ ดังสรุปในข้อ 1.1.3, ถ่านเหล่านี้จะมีคุณสมบัติต่าง ๆ และมีความเหมาะสมใช้กับสารและงานต่าง ๆ ดังกล่าว. การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการใช้งานโดยทั่วไปจึงเป็นได้ยาก นอกจากจะทดลองนำมาใช้สารหรืองานโดยตรงจึงจะกล่าวได้ว่าถ่านกัมมันต์นั้นมีคุณสมบัติเหมาะสมแก่การใช้จริง ๆ. นอกจากนี้บางครั้งแม้ผู้ผลิตจะใช้วัตถุดิบและกระบวนการผลิตเดียวกัน แต่การควบคุมคุณภาพก็เป็นปัญหาทำให้ไม่สามารถผลิตถ่านกัมมันต์คุณสมบัติเหมือนเดิมได้ เนื่องจากปฏิกิริยาการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์นั้นเป็น heterogeneous reaction ซึ่งซับซ้อนและยุ่งยากเกินกว่าที่จะเข้าใจโดยใช้ทฤษฎีง่าย ๆ ได้ จึงก่อให้เกิดปัญหาในการออกแบบเครื่องมือ, การควบคุมสถานะการผลิต, ตลอดจนคุณภาพของถ่านกัมมันต์ซึ่งผลิตได้.

เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ควรจะทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมเพิ่มเติม รวมถึงการทดลองในขั้นต้นแบบด้วย เพื่อนำข้อมูลต่าง ๆ มาใช้ในการถ่ายทอดกระบวนการผลิตสู่ชั้นอุตสาหกรรมต่อไป. ทั้งนี้รวมถึงการประเมินผลทางเศรษฐกิจ, ปัญหาและอุปสรรคทั้งทางด้านเทคนิค และสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะเกิดจากอุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์จากหินฟอสฟอรัสสำหรับการทดลองในขั้นต้นแบบขนาดกำลังผลิต 50-100 กก. ถ่านกัมมันต์/ครั้งหรือต่อวัน. ตารางที่ 3.3 แสดงรายการเครื่องมือและขนาดของเครื่องมือสำคัญ ๆ เพื่อใช้ในการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้วิธีกระตุ้นด้วยสารเคมี $ZnCl_2$ ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับวัตถุดิบที่เป็นหินฟอส.

ตารางที่ 3.3. รายการเครื่องมือและอุปกรณ์ใช้ใน
โรงงานต้นแบบผลิตถ่านกัมมันต์จากคิงพวู ขนาด 50-100 กก. ถ่านกัมมันต์/วัน

ชื่ออุปกรณ์	ขนาดและวัสดุ	จำนวน	หมายเหตุ
1. Rotary dryer	เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ม. ยาว 3 ม. carbon steel บุด้วย stainless steel	1	รวม cyclone และ insulator
2. Screw mixer	เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 ม. ยาว 1.5 ม. carbon steel บุด้วยยาง	1	
3. Rotary dryer	เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ม. ยาว 3 ม. carbon steel บุด้วย อิฐทนไฟ	1	
4. Rotary kiln	เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ม. ยาว 3 ม. carbon steel บุด้วย อิฐทนไฟ	1	
5. Mixing tanks	เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 ม. สูง 2.5 ม.	3	
6. Filter press	พื้นที่กรอง 6 ม. ²	1	
7. Rotary dryer	เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.30 ม. ยาว 1.5 ม. carbon steel บุด้วย stainless steel	1	
8. Rod mill	อัตราส่วนการลดขนาด 50:1	2	
9. Vibrating screen	2 ชั้น 0.5 × 1 ม. ²	2	
10. อื่น ๆ:	- อุปกรณ์ท่อ และปั๊ม - อุปกรณ์ไฟฟ้า - อุปกรณ์ควบคุม		

4. คำขอบคุณ

คณะผู้ดำเนินงานโครงการฯ ขอขอบคุณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ซึ่งได้ให้ทดลองใช้ เครื่องมือ rotary kiln ตลอดจนร่วมมือในการทดลองการกระตุ้นด้านดินพริกด้วยไอน้ำ รวมถึง บริษัทอุทุมพรเคมีคอล จำกัด ซึ่งให้ข้อมูลและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานของโครงการฯ.

ในการทดลองนี้ คณะผู้ดำเนินงานได้รับตัวอย่างดินพริกพร้อมข้อมูลการวิเคราะห์ จาก สาขาวิจัยอุตสาหกรรมพลังงาน และความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ค่า proximate analyses รวมทั้งค่าอื่น ๆ จากห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ จึงใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย.

นอกจากนี้คณะผู้ดำเนินงานขอขอบพระคุณ นายสมิทธิ์ คำเพิ่มพูล และ นางอุบลศรี เขียวสกล ซึ่งกรุณาให้ความสนใจและสนับสนุนโครงการฯ พร้อมทั้งชี้แนะให้โครงการฯ ดำเนินงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี.

5. เอกสารอ้างอิง

- กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 1987. ถ่านกัมมันต์ (activated carbon). ข่าวกรมวิทยาศาสตร์บริการ. ฉบับที่ 107. มกราคม 2528. (กรุงเทพฯ.)
- กรมศุลกากร. 2525-2529. สถิติการนำเข้าและส่งออกของกรมศุลกากร. ปี 2525-2529. (กรุงเทพฯ.)
- กิจสวัสดิ์, อนุชิต. 2520. การศึกษาเรื่องการทำถ่านกัมมันต์จากแกลบโดยโซลิ่งคัลลอร์ไรต์ เป็นตัวกระตุ้น. กองการวิจัย, กรมวิทยาศาสตร์บริการ. พฤษภาคม 2520. (กรุงเทพฯ.)
- ธรรมรัตน์พคุณ, อุไรวรรณ. 2523. การศึกษาการทำถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำ. กองการวิจัย, กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กันยายน 2530. (กรุงเทพฯ.)
- บุญนิธิโกมลคีมทอง. 2530. "สมุนไพรชาวบ้าน". รวมความรู้จากข่าวสารสมุนไพรทั้งฉบับปี 2523-2525. พิมพ์ครั้งที่ 2. กุมภาพันธ์ 2530. (กรุงเทพฯ.)

- โรหิตสุข, ทวีศักดิ์. 2520. การศึกษาเรื่องถ่านดูดซับ (activated carbon). รายงานฉบับที่ 1. Study no. 3. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย. (กรุงเทพฯ.)
- วิภาคแพทย์, วิโรจน์. 2518. อุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีปฏิกิริยา (active carbon). อุตสาหกรรมสาร. ปีที่ 18 ฉบับที่ 3. มีนาคม 2518. (กรุงเทพฯ.)
- AMERICAN STANDARD OF TESTING MATERIALS. 192. Part 30, D-28, Activated carbon.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. 1974. AWWA standard for granular activated carbon, 1 st. ed, Jan, 28.
- BERL, E. 1938. "Formation and Properties of Activated Carbon." Trans. Faraday Soc., 16 th.ed, Vol. 34, pp. 1040-1056.
- FOREST PRODUCTS RESEARCH INSTITUTE. 1965. Activated charcoal - its preparation and application. Technical note, No. 63, January (Philippines.)
- FUCHSMAN, Charles H. 1980. "PEAT, Industrial Chemistry and Technology." (Academic Press, Inc.: London.)
- HASSLER, John W. 1987. "Activated Carbon." 1 st.ed. (Leonard Hill:London.)
- INDIAN STANDARDS INSTITUTION, 1956. Indian standard methods of sampling and test for activated carbon used for decolourizing vegetable oils and sugar solutions. September. (IS : 877-1956).
- JAPAN EXTERNAL TRADE ORGANIZATION (JETRO) 1983. Access to Japan's import market, activated carbon. No. 40, March. (Japan).
- JAPANESE STANDARDS ASSOCIATION. 1975. Japanese industrial standard testing method for granular activated carbon. (JIS K 1474-1975).
- JAPANESE STANDARDS ASSOCIATION. 1967. Japanese industrial standard testing method for powdered activated carbon. (JIS K 1470-1967).
- KIRK, R.E. and OTHMER, D.F. 1978. "Encyclopedia of Chemical Technology." 3 rd. ed., Vol 4. pp. 561-569 (The Interscience Encyclopedia Inc. : New York.)
- YEHASKEL, Albert. 1978. "Activated Carbon, Manufacture and Regeneration." (Noyes Data Corporation : New Jersey, U.S.A.)

ภาคผนวก 1

การทดสอบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

1. Iodine number

1.1 เครื่องมือ

- 1.1.1 เตาอบ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส
- 1.1.2 ขวดแก้วรูปกรวย ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 1.1.3 กระดาษกรองวักแมนเบอร์ 42 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร
- 1.1.4 กรวยกรอง
- 1.1.5 บีเปต ขนาด 10 และ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 1.1.6 บีเกอร์
- 1.1.7 บิวเรตต์
- 1.1.8 เครื่องคนแม่เหล็กไฟฟ้า

1.2 สารละลายและวิธีเตรียม

- 1.2.1 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ 5 โดยปริมาตร
ผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ความหนาแน่น 1.19 กรัมต่อลูกบาศก์-
เซนติเมตร จำนวน 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในน้ำ 95 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 1.2.2 สารละลายมาตรฐานไอโอดีน 0.1 นอร์มัล
ใช้ concentrated volume solution, sealed ampoule.
- 1.2.3 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล
ใช้ concentrated volume solution, sealed ampoule.
- 1.2.4 สารละลายน้ำแป้ง
ละลายแป้ง (soluble starch) 1 กรัมในน้ำเย็นให้อยู่ในลักษณะ
เหลวข้น เติมน้ำร้อนลงไป 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนอย่างรวดเร็ว และทำให้เย็นที่
อุณหภูมิห้อง.

1.3 วิธีวิเคราะห์

อบตัวอย่างถ่านกัมมันต์ ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเตลิกเคเตอร์ แล้วชั่ง 0.5 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วรูปกรวยขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร. เติมหกรกไฮโครคลอริก (ข้อ 1.2.1) จำนวน 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร. แก้วงขวดแก้วจนกระทั่งตัวอย่างเปียกทั่ว แล้วเติมนสารละลายมาตรฐานไอโอดีน (ข้อ 1.2.2) จำนวน 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร. คนด้วยเครื่องคนแม่เหล็กไฟฟ้า นาน 15 นาที. กรองสารละลายผ่านกรวยกรองโดยใช้กระดาษกรองวัคแมน เบอร์ 42 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร. ทิ้งสารละลายที่กรองได้ 20-30 ลูกบาศก์เซนติเมตรแรก, ส่วนสารละลายที่กรองได้ในช่วงหลัง ให้คนจนเข้ากัน แล้วใช้ปิเปตตูกมา 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำไปไทเทรตหาปริมาณไอโอดีนที่มากเกินพอ กับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต (ข้อ 2.1.3) โดยคนตลอดเวลาค้นด้วยเครื่องคนแม่เหล็กไฟฟ้า. เมื่อสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน ให้เติมนสารละลายน้ำแบ่ง (ข้อ 2.1.4) ประมาณ 1-2 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วไทเทรตต่อโดยหยดสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตอย่างช้า ๆ ที่ละหยดจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป. บันทึกปริมาณสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร.

1.4 วิธีคำนวณ

$$\text{Iodine Number, mg/g} = \frac{X}{m} D$$

$$\frac{X}{m} = \frac{A - (2.2 B \times \text{ปริมาณของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต})}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างถ่านกัมมันต์}}$$

$$C = \frac{N_2 \times \text{ปริมาณของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต}}{50}$$

$$\frac{X}{m} = \text{มิลลิกรัมของ ไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์}$$

$$N_1 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอดีน เป็นนอร์มัล}$$

$$N_2 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต เป็นนอร์มัล}$$

$$A = N_1 \times 12693.0$$

$$B = N_2 \times 126.93$$

C = ความเข้มข้นของสารละลายหลังการดูดซับ (Residual filtrate)

D = ค่าแก้ (Correction factor) การคำนวณที่ น.1

การวางที่ น.1 (Correction factor) สำหรับค่า iodine no.

Correction Factor D for Iodine Number Test

Residual Filtrate Normality C	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009
0.0080	1.1625	1.1613	1.1600	1.1575	1.1550	1.1538	1.1513	1.1500	1.1475	1.1463
0.0090	1.1438	1.1425	1.1400	1.1375	1.1363	1.1350	1.1325	1.1300	1.1288	1.1275
0.0100	1.1250	1.1238	1.1225	1.1213	1.1200	1.1175	1.1163	1.1150	1.1138	1.1113
0.0110	1.1100	1.1088	1.1075	1.1063	1.1038	1.1025	1.1000	1.0988	1.0975	1.0963
0.0120	1.0950	1.0938	1.0925	1.0900	1.0888	1.0875	1.0863	1.0850	1.0838	1.0825
0.0130	1.0800	1.0788	1.0775	1.0763	1.0750	1.0738	1.0725	1.0713	1.0700	1.0688
0.0140	1.0675	1.0663	1.0650	1.0625	1.0613	1.0600	1.0588	1.0575	1.0563	1.0550
0.0150	1.0538	1.0525	1.0513	1.0500	1.0488	1.0475	1.0463	1.0450	1.0438	1.0425
0.0160	1.0413	1.0400	1.0388	1.0375	1.0375	1.0363	1.0350	1.0333	1.0325	1.0313
0.0170	1.0300	1.0288	1.0275	1.0263	1.0250	1.0245	1.0238	1.0225	1.0208	1.0200
0.0180	1.0200	1.0188	1.0175	1.0163	1.0150	1.0144	1.0138	1.0125	1.0125	1.0113
0.0190	1.0100	1.0088	1.0075	1.0075	1.0063	1.0050	1.0050	1.0038	1.0025	1.0025
0.0200	1.0013	1.0000	1.0000	0.9988	0.9975	0.9975	0.9963	0.9950	0.9950	0.9938
0.0210	0.9938	0.9925	0.9925	0.9913	0.9900	0.9900	0.9888	0.9875	0.9875	0.9863
0.0220	0.9863	0.9850	0.9850	0.9838	0.9825	0.9825	0.9813	0.9813	0.9800	0.9788
0.0230	0.9788	0.9775	0.9775	0.9763	0.9763	0.9750	0.9750	0.9738	0.9738	0.9725
0.0240	0.9725	0.9708	0.9700	0.9700	0.9688	0.9688	0.9675	0.9675	0.9663	0.9663
0.0250	0.9650	0.9650	0.9638	0.9638	0.9625	0.9625	0.9613	0.9613	0.9606	0.9600
0.0260	0.9600	0.9588	0.9588	0.9575	0.9575	0.9563	0.9563	0.9550	0.9550	0.9538
0.0270	0.9538	0.9525	0.9525	0.9519	0.9513	0.9513	0.9506	0.9500	0.9500	0.9488
0.0280	0.9488	0.9475	0.9475	0.9463	0.9463	0.9463	0.9450	0.9450	0.9438	0.9438
0.0290	0.9425	0.9425	0.9425	0.9413	0.9413	0.9400	0.9400	0.9394	0.9388	0.9388
0.0300	0.9375	0.9375	0.9375	0.9363	0.9363	0.9363	0.9363	0.9350	0.9350	0.9346
0.0310	0.9333	0.9333	0.9325	0.9325	0.9325	0.9319	0.9313	0.9313	0.9300	0.9300
0.0320	0.9300	0.9294	0.9288	0.9288	0.9280	0.9275	0.9275	0.9275	0.9270	0.9270
0.0330	0.9263	0.9263	0.9257	0.9250	0.9250					

เอกสารอ้างอิง

ธรรมรัตน์พคุณ, อุไรวรรณ. 2523. การศึกษาการทำด่างกับมันต์จากด่างละลายมะพร้าว โดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำ. เอกสารทางวิชาการ, กองการวิจัย, กรมวิทยาศาสตร์บริการ. หน้า 11-12. (กรุงเทพฯ.)

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. 1974. AWWA Standard for Granular Activated Carbon. AWWA B 6 04-74. Denver, Colorado.

HASSLER, J.W. 1967. Activated Carbon. p. 329. (Chemical and Process Engineering Series. : Leonard Hill-London.)

2. การพอกสี Methylene Blue

2.1 เครื่องมือ

2.1.1 เตาอบ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

2.1.2 ขวดแก้วรูปกรวย ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.1.3 กระจกทรงวงวัดแมน เบอร์ 42 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร

2.1.4 กรวยกรอง

2.1.5 บีเกอร์

2.1.6 เครื่องคนแม่เหล็กไฟฟ้า

2.1.7 Spectrophotometer

- Beckman DB-G grating spectrophotometer ของ Beckman Instruments, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา

- Bauch & Lomb Spectronic 21 ประเทศเยอรมัน

2.2 สารละลายและวิธีเตรียม

2.2.1 สารละลาย methylene blue

อบ methylene blue ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเคลสิคเคเตอร์ แล้วนำมาละลายในน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้น 0.8 กรัมต่อ ลูกบาศก์เดซิเมตร หรือ 80 มิลลิกรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร (A).

2.3 วิธีสร้างกราฟสอบเทียบ

เตรียมสารละลาย methylene blue ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 0.1-0.8 มิลลิกรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร. โดยใช้สารละลาย methylene blue ตามข้อ 2.2.1 นำไปวัดสีด้วย spectrophotometer ที่ 663 mμ. อ่านค่า absorbance แล้วสร้างกราฟสอบเทียบระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของสารละลาย methylene blue.

2.4 วิธีวิเคราะห์

อบตัวอย่างถ่านกัมมันต์ ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง, ปล่อยให้เย็นในเคลสิคเคเตอร์ แล้วชั่ง 0.2 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วรูปกรวยขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร. เติมสารละลาย methylene blue (ข้อ 2.2.1) จำนวน 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร. คนด้วยเครื่องคนแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส. กรองส่วนผสมผ่านกรวยกรองโดยใช้กระดาษกรองวัดแมน เบอร์ 42 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร. นำส่วนที่กรองได้ไปวัดสีโดยใช้ spectrophotometer ที่ 663 mμ. อ่านค่า absorbance แล้วนำไปหาค่าความเข้มข้นของ methylene blue ที่เหลือจากการฟอกสีโดยใช้กราฟสอบเทียบของข้อ 2.3 (B).

2.5 วิธีคำนวณ

$$\text{Methylene blue test, mg/g} = \frac{A-B}{m}$$

A = ความเข้มข้นของสารละลาย methylene blue ก่อนถูกฟอกสี
จากข้อ 2.2.1 มีค่า 80 มิลลิกรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร.

- B = ความเข้มข้นของสารละลาย methylene blue ที่เหลือจากการฟอกสี
อ่านค่าจากกราฟสอบเทียบของข้อ 2.3.
- m = น้ำหนักของถ่านกัมมันต์เป็นกรัมที่ใช้ฟอกสีสารละลาย methylene blue
ความเข้มข้น 80 มิลลิเมตรต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 100
ลูกบาศก์เซนติเมตร.

เอกสารอ้างอิง

กิจสวัสดิ์, อนุชิต. 2520. การศึกษาเรื่องการทำถ่านกัมมันต์จากแกลบ โดยใช้ซิงค์คลอไรด์
เป็นตัวกระตุ้น. เอกสารทางวิชาการ, กรมวิทยาศาสตร์บริการ. หน้า 10-11.
(กรุงเทพฯ.)

HASSLER, J.W. 1967. Activated Carbon. p. 325-326. (Chemical and
Process. Engineering Series : Leonard Hill-London.)

3. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

3.1 เครื่องมือ

- 3.1.1 เตาอบ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส
- 3.1.2 บีเกอร์ ขนาด 100, 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 3.1.3 กระจกทรงวงวัดแมน เบอร์ 42 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร
- 3.1.4 กรวยกรอง
- 3.1.5 Hot plate
- 3.1.6 pH Meter, Metrohm glass electrode ของ Metrohm AG
ประเทศสวิสเซอร์แลนด์

3.2 วิธีทดลอง

อบตัวอย่างถ่านกัมมันต์ ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็น
ในเคสิคเคเตอร์ แล้วชั่ง 1 กรัม ใส่ลงในบีเกอร์ขนาด 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร. เติมน้ำกลั่น
100 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วต้มให้เดือดบน hot plate เป็นเวลา 10 นาที. กรองในขณะ
ร้อนโดยทิ้งส่วนที่กรองได้ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตรแรก ส่วนที่กรองได้หลังจากนั้นให้ทำให้เย็น
ลงมาที่อุณหภูมิห้องก่อน จึงวัด pH โดย pH meter.

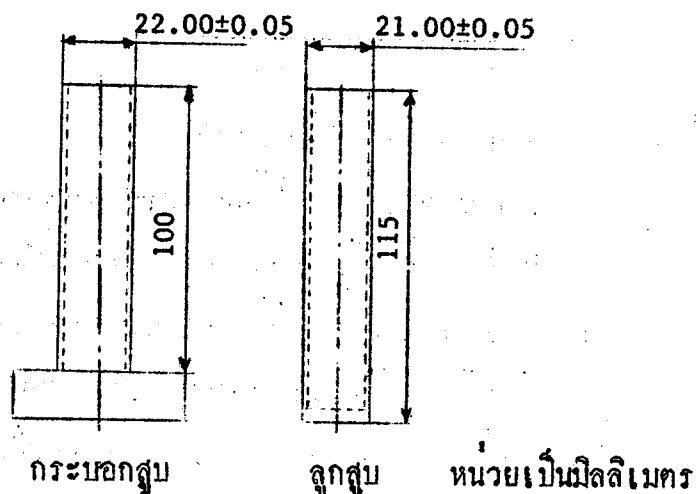
เอกสารอ้างอิง

INDIAN STANDARDS INSTITUTION. 1956. Indian standard methods of sampling and test for activated carbon used for decolourizing vegetable oils and sugar solution. IS:877-1956. (Delhi.)

4. ความหนาแน่นเชิงปริมาตร

4.1 เครื่องมือ

ประกอบด้วยกระบอกลูกสูบและลูกสูบทำด้วยโลหะ ดังแสดงในรูป ผ.1 กระบอกลูกสูบ มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 22.00 ± 0.05 มิลลิเมตร และมีความยาวภายใน 100 มิลลิเมตร ลูกสูบมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 21.00 ± 0.05 มิลลิเมตร ยาว 115 มิลลิเมตร และหนัก 190 กรัม.



รูปที่ ผ.1. กระบอกลูกสูบและลูกสูบ

4.2 วิธีทดสอบ

ใส่ลูกสูบลงในกระบอกสูบที่สะอาดและแห้ง ปล่อยให้ลูกสูบตกลงไปเองในกระบอกสูบ แล้ววัดความยาวของลูกสูบที่ยื่นออกมาจากกระบอกสูบให้ละเอียดถึง 0.01 เซนติเมตร. เอาลูกสูบออก ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 ถึง 5 กรัม ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนถึง 0.001 กรัม ค่อย ๆ เขย่าหรือกระทุ้งกระบอกสูบ เพื่อให้ตัวอย่างอัดกันแน่น. ใส่ลูกสูบในกระบอกสูบ แล้วใช้มือคั้นลูกสูบเบา ๆ จนรู้สึกว่าลูกสูบแตะตัวอย่าง แล้วหมุนลูกสูบหนึ่งรอบ หรือจนกระทั่งตัวอย่างอัดกันแน่นจนปริมาตรของตัวอย่างในกระบอกสูบคงที่. วัดความยาวของลูกสูบที่ยื่นออกมาจากกระบอกสูบให้ละเอียดถึง 0.01 เซนติเมตร.

4.3 วิธีคำนวณ

ความหนาแน่นเชิงปริมาตร
กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

$$= \frac{m}{(h_2 - h_1) \times 0.7854 d^2}$$

เมื่อ m คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ เป็นกรัม

h_2 คือ ความยาวของลูกสูบ ที่ยื่นออกมาจากกระบอกสูบ
เมื่อมีตัวอย่างอยู่ในกระบอกสูบ เป็นเซนติเมตร

h_1 คือ ความยาวของลูกสูบ ที่ยื่นออกมาจากกระบอกสูบ
เมื่อไม่มีตัวอย่างในกระบอกสูบ เป็นเซนติเมตร

d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของกระบอกสูบ เป็นเซนติเมตร

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2525. มาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแคลเซียมคาร์บอเนตสำหรับอุตสาหกรรมยาง. มอก. 402-2525.

(กรุงเทพฯ.)

5. Specific surface area (B.E.T. method)

5.1 เครื่องมือ

5.1.1 เตาอบ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

5.1.2 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ specific surface area ของของแข็ง โดยกระบวนการดูดซับไนโตรเจน area meter II ของ Ströhlein Instruments ประเทศเยอรมัน พร้อมอุปกรณ์ประกอบการวิเคราะห์ตามคำแนะนำในคู่มือการใช้เครื่องมือนี้.

5.2 หลักการวิเคราะห์

ของแข็งมีคุณสมบัติในการดูดซับโมเลกุลของก๊าซที่บริเวณพื้นผิว. ปริมาณของก๊าซที่ถูกดูดซับจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความกดดันซึ่งสามารถวัดได้และนำไปคำนวณค่า specific surface area ได้โดยใช้ Nomogram. วิธีการคือใช้ adsorption vessels แก้ว 2 ใบ ที่มีปริมาตรเท่ากัน โดยใบหนึ่งบรรจุตัวอย่างและอีกใบหนึ่งเป็นภาชนะเปล่า. ผ่านก๊าซไนโตรเจนธรรมดาเข้าไปในภาชนะทั้งสองภายใต้ความกดดันปกติที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งอาจควบคุมได้โดยแช่ภาชนะไว้ใน water bath. หลังจากนั้นทำให้ภาชนะทั้งสองเย็นจัดใน cold bath ที่บรรจุไนโตรเจนเหลวไว้. การดูดซับก๊าซไนโตรเจนบนพื้นผิวของตัวอย่างจะทำให้เกิด pressure difference ระหว่างภาชนะทั้งสองซึ่งวัดได้โดยใช้ differential manometer.

5.3 วิธีเตรียมตัวอย่าง

อบตัวอย่างถ่านกัมมันต์ ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง, ปล่อยให้เย็นในเคสสิคเคเตอร์ แล้วชั่ง 0.02-0.05 กรัม ใส่ลงใน adsorption vessel. วาง adsorption vessel ที่บรรจุตัวอย่างไว้ใน heating thermostat, อุณหภูมิของตัวอย่างที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในขณะที่ผ่านก๊าซไนโตรเจนธรรมดาที่ความกดดัน 760 mm เป็นเวลาประมาณ 45 นาที เพื่อขจัดโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจน. ดูดซับอยู่บนพื้นผิวของตัวอย่างก่อนทำการทดลอง.

5.4 วิธีวิเคราะห์

กติก adsorption vessels 2 ใบ เข้ากับเครื่องวัด pressure difference ที่มี differential manometer ประกอบอยู่, โดยภาชนะใบหนึ่งบรรจุตัวอย่าง (ข้อ 5.3) และอีกใบหนึ่งเป็นภาชนะเปล่า. ภาชนะทั้งสองแช่ไว้ใน water bath เพื่อควบคุมอุณหภูมิ. ผ่านก๊าซไนโตรเจนธรรมดาเข้าไปในภาชนะทั้งสองภายใต้ความกดดัน 760 mm เป็นเวลา 15 นาที. หลังจากนั้นทำให้ภาชนะทั้งสองเย็นจัดใน cold bath ที่บรรจุไนโตรเจนเหลวไว้, รอจน pressure difference ซึ่งอ่านได้จาก differential manometer มีค่าคงที่ (ประมาณ 10 นาที) ซึ่งอยู่ในช่วง 50-300 mm จึงอ่านค่าที่ได้ แล้วนำไปคำนวณ specific surface area ต่อไป.

5.5 วิธีคำนวณ

$$S_g = \frac{A \cdot \Delta h}{m}$$

S_g = Specific surface area (m^2/g)

A = Coefficient จาก Nomogram

Δh = Pressure difference on Manometer (mm)

m = น้ำหนักของตัวอย่าง (g)

เอกสารอ้างอิง

คู่มือการใช้ Area meter II ของ Ströhlein Instruments, Karl Kolb
Scientific Technical Supplies D-6 072 Dreieich,
West Germany. (undated).

ภาคผนวก 2

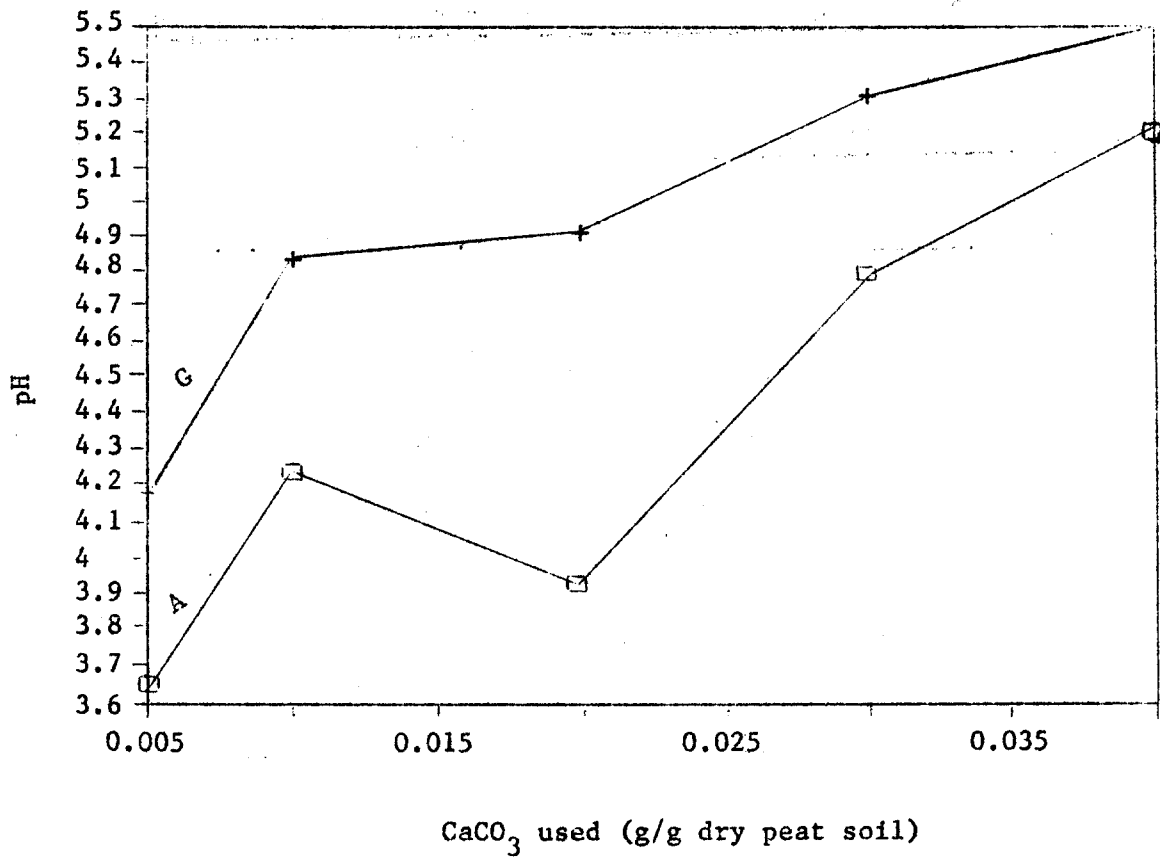
การทดลองลดความเป็นกรดของดินพรุและถ่านกัมมันต์ผลิตจากดินพรุ

1. การลดความเป็นกรดของดินพรุ ได้ทดลองโดยใช้สารเคมี CaCO_3 และ Ca(OH)_2 ดังนี้:

1.1 ใช้ CaCO_3 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ ผ.2 และรูปที่ ผ.2.

ตารางที่ ผ.2. การเปลี่ยนแปลงของ
pH ของดินพรุ เมื่อใช้ปริมาณ CaCO_3 ต่าง ๆ

ปริมาณ CaCO_3 ที่ใช้ (กรัม/กรัมของดินพรุที่แห้ง)	pH	
	ตัวอย่างดินพรุ	
	A	G
0.005	3.6	4.2
0.01	4.2	4.9
0.02	3.9	4.9
0.03	4.8	5.3
0.04	5.2	5.5

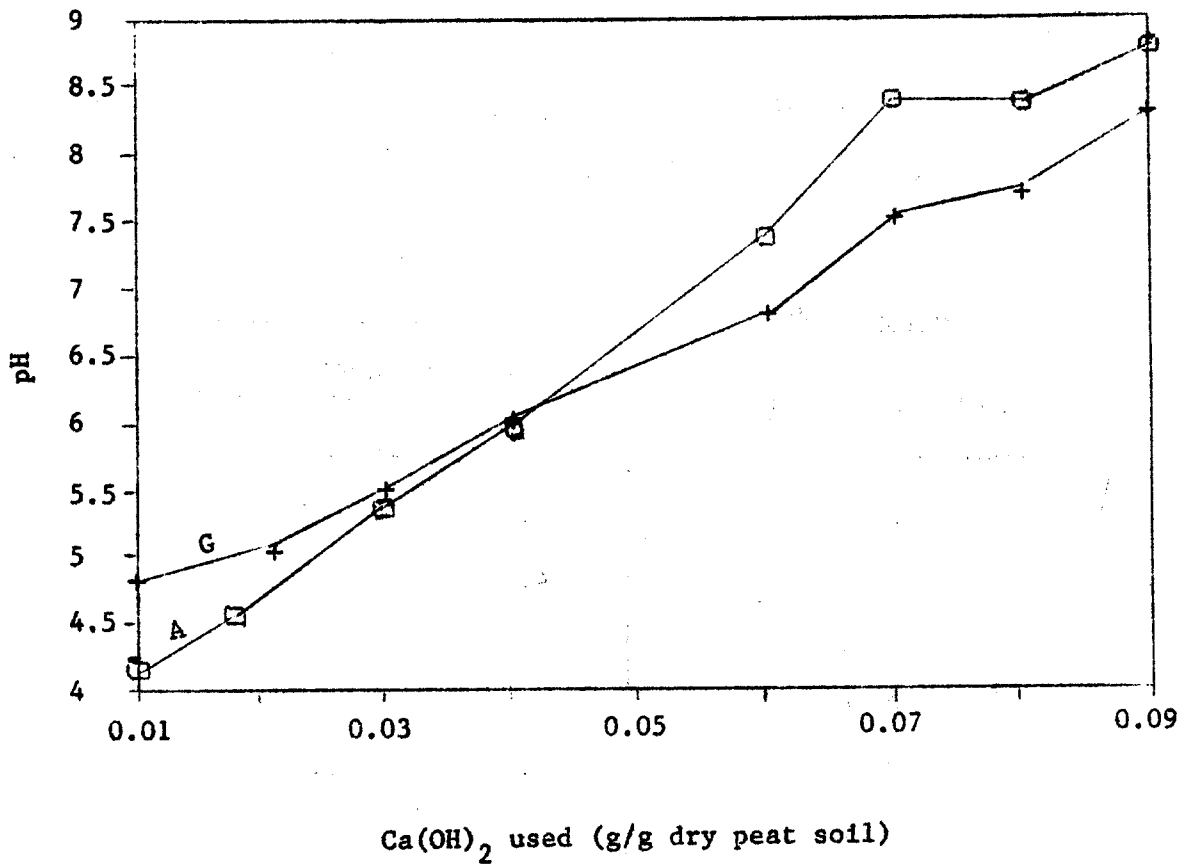


รูปที่ ๘.๒. การเปลี่ยนแปลงของ pH ของดินพรุ เมื่อใช้ปริมาณ CaCO₃ ต่าง ๆ

1.2 ใช้ Ca(OH)_2 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ ผ.3 และรูปที่ ผ.3.

ตารางที่ ผ.3. การเปลี่ยนแปลงของ
pH ของคินพรว เมื่อใช้ปริมาณ Ca(OH)_2 ต่าง ๆ

Ca(OH) ₂ ที่ใช้ (กรัม/กรัมของคินพรวแห้ง)	pH	
	ตัวอย่างคินพรว	
	A	G
0.01	4.1	4.8
0.02	4.7	5.1
0.03	5.4	5.5
0.04	6.0	6.0
0.06	7.4	6.8
0.07	8.4	7.5
0.08	8.4	7.7
0.09	8.7	8.3



รูปที่ ๓.3. การเปลี่ยนแปลงของ pH ของดินพรุ เมื่อใช้ปริมาณ Ca(OH)_2 ต่าง ๆ

2. การลดความเป็นกรดของถ่านกัมมันต์ผลิตจากกิ้นพรุ

หลังจากล้างถ่านที่ไคจนหมด $ZnCl_2$ แล้ว ให้เติมสารละลายต่าง 200 มล. กวนประมาณ 5 นาที จึงนำไปกรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจนค่า pH คงที่ แล้วนำไปอบแห้งที่ อุณหภูมิ 150 °ซ. ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ ผ.4.

ตารางที่ ผ.4. คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์หลังจากปรับ pH ด้วยสารละลายต่างต่าง ๆ

ตัวอย่างถ่าน	สารละลายต่าง	Iodine no. (มก./ก.)	Methylene blue adsorption (มก./ก.)	ความหนาแน่น (ก./ซี.ซี.)	pH
G(1:4,600,1.0)	KOH (alc) 0.5 N	1,324	230	0.373	4.2
G(1:4,600,1.0)	Ca(OH) ₂ เข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก	1,211	259	0.418	3.3
G(1:4,600,1.0)	NaOH เข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก	1,223	262	0.469	4.2
G(1:4,600,2.0)	Ca(OH) ₂ เข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก	1,229	243	0.387	4.3
G(1:4,600,2.0)	Ca(OH) ₂ เข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก	1,254	267	0.377	3.9
G(1:4,600,2.0)	NaOH เข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก	1,231	266	0.396	5.6

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บแสดงถึงสภาวะการทดลอง คือ อัตราส่วนของดิน
ต่อสารเคมี $ZnCl_2$ (เข้มข้นร้อยละ 60), อุณหภูมิ (°ซ.) และเวลา (ชม.)
ในการกระตุ้นตามลำดับ

ภาคผนวก 3

การหาปริมาณความเข้มข้น methylene blue

ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการหาค่า methylene blue adsorption

วิธีหาปริมาณความเข้มข้นของ methylene blue ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการหาค่า methylene blue adsorption ดังการทดสอบในภาคผนวก 1 นั้น ทำโดยแปรความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย เป็น 0.4, 0.8 และ 1.2 กรัม/ลิตร สารละลาย methylene blue และใช้สารละลายนี้ 100 มล. ในการทดสอบหาค่า adsorption ของถ่านกัมมันต์ ตามวิธีการทดสอบในภาคผนวก 1 และมีผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ ผ.5.

ตารางที่ ผ.5. ผลการทดลองหาปริมาณความเข้มข้น methylene blue ที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการหาค่า methylene blue adsorption

ความเข้มข้นของสารละลาย methylene blue (กรัม/ลิตร)	น้ำหนักถ่านกัมมันต์ชนิดผงของ บ.อุทุมพรฯ (กรัม)	น้ำหนัก methylene blue ในสารละลาย 100 มล. (กรัม)	Methylene blue adsorption (มก./ก.)
0.4	0.2299	0.0425	148
	0.2000	0.0400	142
	0.2000	0.0401	143
	0.2052	0.0418	160
	0.2000	0.0363	123*
	0.2000	0.0415	150*
0.8	0.2056	0.0814	211
	0.2000	0.0801	213
	0.1971	0.0831	219
	0.2000	0.0838	216*
1.2	0.2677	0.1263	210
	0.2000	0.1200	186
	0.2037	0.1257	249
	0.2000	0.1225	203*

* ค่า methylene blue adsorption ซึ่งหาได้โดยการใช้ค่าน้ำหนักเริ่มต้นของ methylene blue จากการวัดด้วยเครื่อง UV-spectrophotometer

ภาคผนวก 4

วิธีการทดลองพอกสีสารละลายกากน้ำตาล (molasses) และน้ำมันพืช

1. วิธีการทดลองพอกสีสารละลายกากน้ำตาล (molasses)

เครื่องมือ

- เครื่องชั่งอย่างละเอียด
- Lovibond tintometer และเซลล์แบบแสงผ่านขนาด 1 นิ้ว
- เตาอุ่นให้ความร้อน (heater) พร้อมเครื่องกวน
- บีเปต ขนาด 50 มล.
- บีเกอร์
- กรวยกรอง
- กระจกอะลูมิเนียม หรือ watch glass
- กระจกกรอง เบอร์ 42

สาร

- สารละลายกากน้ำตาล เข้มข้นร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก
- ผงถ่านกัมมันต์ที่อบแห้งแล้ว

วิธีทดลอง

- ชั่งถ่านกัมมันต์ที่อบแห้ง 0.5 กรัม ใส่ในบีเกอร์
- ใส่สารละลายกากน้ำตาลจำนวน 50 มล. ในบีเกอร์ที่เตรียมไว้
- อุ่นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 100-105°ซ. กวนทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที ใช้กระจกอะลูมิเนียม หรือ watch glass ปิดเพื่อกันน้ำระเหยออกไป
- กรองสารละลายผ่านกระจกกรอง
- นำสารละลายที่กรองได้ไปวัดสีด้วยเครื่อง Tintometer อ่านค่าเทียบกับสีสารละลายน้ำตาลก่อนพอก

2. วิธีการทดลองฟอกสีน้ำมันพืช

เครื่องมือ

- เครื่องชั่งอย่างละเอียด
- Lovibond tintometer และเซลล์แบบแสงผ่านขนาด 1 นิ้ว
- เตาอุ่นให้ความร้อน (heater) พร้อมเครื่องกวน
- บีเกอร์
- กรวยกรอง Buschner พร้อม suction flask
- กระจกกรอง เบอร์ 42

สาร

- น้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการ refine แล้ว แต่ยังไม่ได้ออกสี
- diatomaceous earth
- ผงถ่านกัมมันต์ที่อบแห้งแล้ว

วิธีทดลอง

- ชั่งถ่านกัมมันต์ที่อบแห้งแล้ว 1.0 หรือ 3.0 ก. แล้วแต่สภาวะการทดลองที่กำหนดไว้ในบีเกอร์
- เติมน้ำมันพืชลงในบีเกอร์ 100 ก.
- อุ่นน้ำมันให้ความร้อนจนถึง 100-105°C. กวนทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที
- เติม diatomaceous earth ประมาณ 3 ก.
- กรองน้ำมันด้วยกรวย Buschner
- นำน้ำมันที่กรองได้ไปวัดสีด้วยเครื่อง Tintometer อ่านค่าเปรียบเทียบกับสีน้ำมันพืชก่อนฟอก