

# การผลิตถ่านกัมมันต์ จากดินพู ในห้องปฏิบัติการ

เกศรา นุดาลัย บุญชัย คระภูลุมพชัย ทัศนีย์ เพ็ญจันทึก<sup>1</sup>  
กรรมการ สถาปิตานนท์ ศิลปชัย อรัญยานาค เพิ่มสุข นาทะ และ จิตต์ ศรีวรรณวิทัย<sup>2</sup>  
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย บางเขน กรุงเทพฯ 10900

## บทสรุป

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ได้นำดินพูจากพืชบุบราเจ้า จ.นราธิวาส มาทดลองผลิตถ่านกัมมันต์ในขั้นตอนปฏิบัติการ โดยใช้วิธีกราฟตุ้นด้วยสารเคมี  $ZnCl_2$  และวิธีกราฟตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งวด. ตัวแปรรวมซึ่งใช้ในการกราฟตุ้นก็คือ อุณหภูมิและเวลา. สำหรับการกราฟตุ้นด้วย  $ZnCl_2$  การแปรผันระหว่างของดินต่อสารเคมีด้วย คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้แก่ ค่า iodine no., methylene blue adsorption, พื้นที่ผิวน้ำ (B.E.T.), proximate analysis, ปริมาณ S, ความชื้น, ความหนาแน่นเชิงเรขาคณิต และ pH. สำหรับถ่านซึ่งกราฟตุ้นด้วยไอน้ำนั้น จะมีการวิเคราะห์หา particle size distribution ด้วย.

จากการทดลองดังกล่าวพบว่า ถ่านกัมมันต์ซึ่งผลิตจากดินพูที่มีค่า fixed carbon สูง ค่าเด็กต่ำ, และใช้อุณหภูมิเมื่อกราฟตุ้นด้วยสารเคมีอัตราส่วน 1:4 ที่ 600 °C และเวลามากกว่า 0.5 ชม. จะมีคุณสมบัติที่ยอดเยี่ยมที่สุดคือ ค่า iodine no. 1,200 กว่า 1,300 มก./ก., methylene blue adsorption 200 กว่า 300 มก./ก., พื้นที่ผิวน้ำ 1,200 กว่า 1,500 ตร.ม./ก. นอกจากนี้ยังพบว่า yield ของการกราฟตุ้นด้วยไอน้ำจะได้น้อยมากเพียงร้อยละ 8 เมื่อเทียบกับร้อยละ 49-54 ของ การกราฟตุ้นด้วย  $ZnCl_2$ .

ทว. ได้ทดลองนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ไปฟอกสีสารละลายน้ำตาล และน้ำมันพืชเบรย์เพื่อยับถ่านกัมมันต์ในห้องทดลอง และจัดทำรายการอุปทานมันและเครื่องมือเพื่อใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพูในห้องโรงงานต้นแบบขนาด 50-100 กก. ถ่านกัมมันต์/วัน โดยวิธีกราฟตุ้นด้วย  $ZnCl_2$ , เพื่อทราบข้อมูลคึกคักความเป็นไปได้ในเชิงพาณิช เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมในการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชั้นอุตสาหกรรมต่อไป.

## 1. บทนำ

### 1.1 อุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์

#### 1.1.1 วัตถุดิบ

จากการศึกษาพบว่า การผลิตถ่านกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรง หรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้. วัตถุดิบที่ใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ มักจะพิจารณาจากอินทรีย์วัตถุ (หมายถึงสารที่มีคาร์บอน และไออกเจน เป็นองค์ประกอบ) เป็นส่วนใหญ่ เช่น ชานอ้อย (bagasses), กระดูก, เลือด, กะลามะพร้าว, เมล็ดกาแฟ, ากา奴้ำตาล (molasses), แกลบ และไม้.

อินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ ตั้งแต่ล่าสุด สามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้:

- พวยเซลลูโลสที่มาจากการพืช เช่น แกลบ, กะลามะพร้าว, ขี้เลือย, ชานอ้อย, ซังข้าวโพด.
- พวยถ่านหิน เช่น ลิกไนต์, พีต (peat), บิทูมินัส (bituminous).
- วัตถุดิบที่มาจากการสั่ง เช่น กระดูก.

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ในปัจจุบัน “ถ่าน” นั้น พบว่าส่วนมากมักใช้ถ่านที่ได้จากการเผาอินทรีย์วัตถุ ซึ่งเราเรียกว่า “ถ่านสังเคราะห์” (artificial char) เป็นส่วนใหญ่, อาจใช้ถ่านที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น แกรไฟต์, แคนทร่าไซต์ ด้วย.

ถ่านที่ได้จากการเผาอินทรีย์วัตถุ (artificial char) ยังแบ่งออกตามอินทรีย์วัตถุที่นำมาใช้ได้ 2 ประเภทคือ:

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

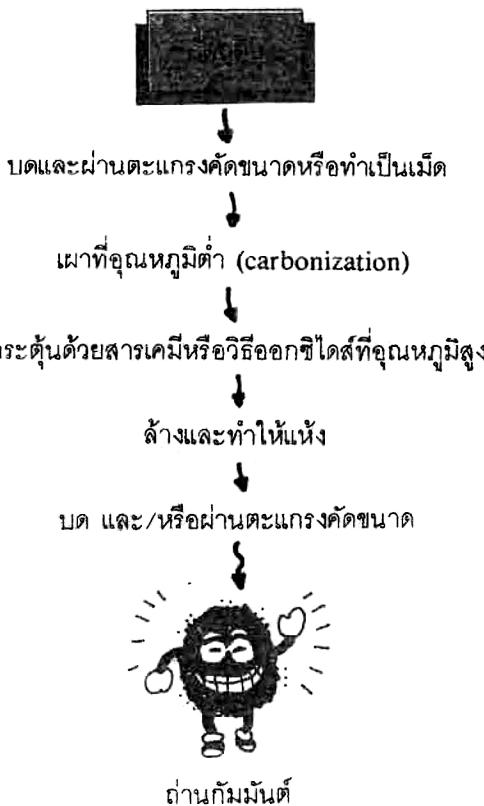
(2) **Soft artificial char** เช่น ถ่านไม้, ถ่านชานอ้อย, ถ่านแกลบ ถ่านหินน้ำมัน (oil shale char), ถ่านกากน้ำตาล (molasses char)(Berl 1938).

ถ่านหรือวัตถุอินทรีย์เหล่านี้ ยังไม่มีคุณสมบัติการดูดซับที่ดีแต่อย่างไร เราสามารถทำเป็นถ่านที่มีคุณสมบัติดูดซับดีขึ้น หรือที่เรียกว่า “ถ่านกัมมันต์” โดยใช้กระบวนการการกระตุ้น ด้วยวิธีหั่นทางเคมีและทางกายภาพต่อไป.

#### 1.1.2 กรรมวิธีการผลิตและอุปกรณ์

ในปัจจุบันกรรมวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์มีมากหลายหลัก วิธี ขึ้นอยู่กับว่าวัตถุดิบที่ใช้เป็นอะไร และต้องการถ่านกัมมันต์ที่

มีคุณสมบัติอย่างไร. กรรมวิธีโดยทั่วไปประกอบด้วย การเตรียมวัตถุดิบ ซึ่งรวมถึงการอบแห้ง, การบด, การทำเป็นเม็ด, การเผาที่อุณหภูมิต่ำ เป็นต้น. จากนั้นจึงนำไปกระตุ้นด้วยสารเคมีหรือสารออกซิไดส์ต่างๆ เพื่อทำเป็นถ่านกัมมันต์ กระบวนการการผลิตมีดังแสดงในรูปที่ 1.1.



รูปที่ 1.1. กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์.

เนื่องจากวิธีการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญของคุณสมบัติและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ รายงานนี้จะได้กล่าวเน้นถึงวิธีการกระตุ้นโดยละเอียดต่อไป.

การกระตุ้น (activation) นั้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว โดยทำให้สารมีรูพุนมากขึ้น และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสารอื่น ๆ ของถ่านกัมมันต์ อย่างไรก็ได้ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการกระตุ้นไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด. สาเหตุหนึ่งก็เนื่องมาจากวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากน้อยหลายวิธี. นอกจากนี้ประสิทธิภาพของการกระตุ้นยังขึ้นกับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบ รวมถึงวิธีการอื่น ๆ ก่อนการกระตุ้นด้วย. สารจำพวกถ่านหรือถ่านกัมมันต์นั้น จะเป็นสารจำพวก amorphous carbon แต่มีรูปร่างขณะของผลึกอยู่บ้าง เมื่อศึกษาด้วย X-ray diffraction จึงมีชื่อเรียกว่า crystallites. สาร amorphous

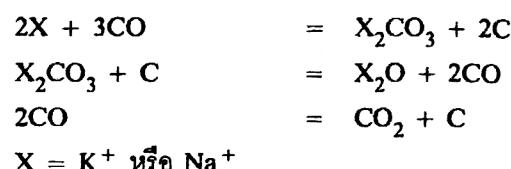
นี้ ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอน จัดเรียงอยู่ในรูป hexagonal lattice. โดยที่ไป crystallites เหล่านี้จะเปลี่ยนขนาดและรูปร่างตามอุณหภูมิที่เผา (carbonization) ดังแสดงในรูป 1.2. นอกจากนี้รูปร่างอะตอมของคาร์บอนยังเปลี่ยนตามส่วนประกอบและโครงสร้างของวัสดุดิบอีกด้วย. Hassler (1967) ได้รวมรวมข้อมูลและวิชาณปฎิกริยะระหว่างการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์โดยวิธีต่างๆ.

Berl (1938) ได้แบ่งวิธีการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ ดังนี้: (1) การกระตุ้นด้วยสารประกลบของโพแทสเซียม (K) หรือโซเดียม (Na). (2) การกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไดซ์ (oxidizing gas). (3) การกระตุ้นโดยใช้สารดูดน้ำ (dehydrating agent) ดังจะได้กล่าวต่อไป.

### (1) การกระตุ้นด้วยสารประกลบของ K หรือ Na

เมื่อให้ความร้อนแก้วัสดุดิบที่ต้องการทำเป็นถ่านกัมมันต์ ชั่งลงสมสารละลายที่มีอ่อนชองโพแทสเซียมหรือโซเดียม ( $K^+$  หรือ  $Na^+$ ), อิออนเหล่านี้จะแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างรั้นของผลึกแกรไฟฟ์. เมื่ออุณหภูมิสูงมากกว่า  $700^\circ\text{C}$ . ไม่เลटู ของ  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$  จะหลุดออก ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ตามต้องการ. จากการศึกษาพบว่าการใช้สารประกลบของ K เป็นตัวกระตุ้น จะให้ถ่านที่มีคุณภาพดีกว่าการใช้สารประกลบของ Na เป็นตัวกระตุ้น, และพบว่าโพแทสเซียมชัลไฟฟ์ ( $K_2S$ ) เป็นตัวกระตุ้นที่ดีที่สุดในกลุ่มตัวกระตุ้นชนิดนี้.

ปฏิกิริยาที่เกิดในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ มีดังนี้:

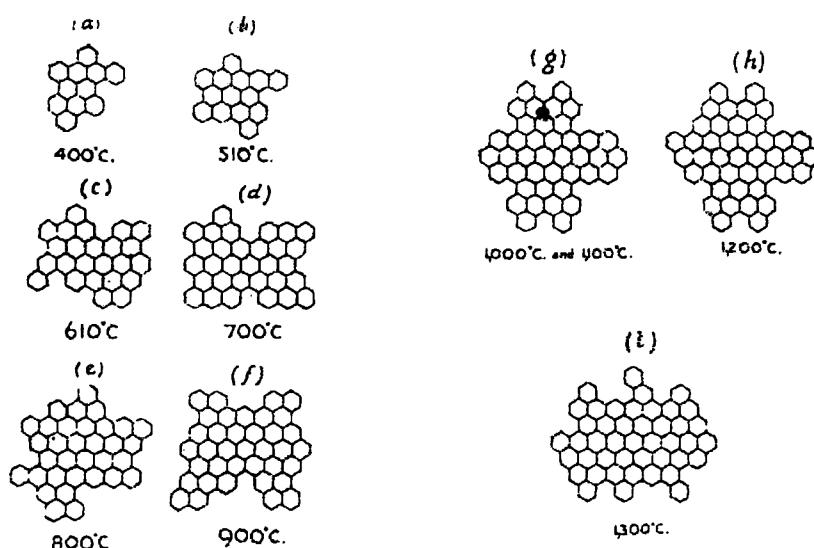


ในอุตสาหกรรมมีการนำสารประกลบเหล่านี้มาใช้บ้าง ได้แก่:

**ก. สารประกลบคาร์บอเนต** เช่น โพแทสเซียม คาร์บอเนต ( $K_2CO_3$ ) หรือ โซเดียมคาร์บอเนต ( $Na_2CO_3$ ) สารประกลบประเภทนี้ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตถ่าน กัมมันต์จากเลือด. วิธีผลิตทำได้โดย นำเลือดที่แห้งมา 8 ส่วน ผสมกับสารกระตุ้น 1 ส่วน, จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ  $800^\circ\text{C}$ . ในที่อันอากาศ. ทั้งนี้การใช้บริมาณสารกระตุ้นจะเปลี่ยนไปตามชนิดวัสดุที่ใช้ด้วย.

**บ. ต่าง caustic** เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $NaOH$ ) หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ( $KOH$ ). ในอุตสาหกรรมไม่นิยมใช้สารประเภทนี้ เพราะปฏิกิริยาที่เกิดค่อนข้างจะรุนแรง รวมทั้งมีผลทำลายภาชนะที่ใช้ด้วย.

**ค. ชัลไฟฟ์และโซเดียมไนเตรต** การใช้สารประกลบประเทกานี้ เป็นการประยุกต์จากการใช้สารจำพวกต่าง โดยทำให้ปฏิกิริยามีความรุนแรงน้อยลง, ด้วยว่าการใช้สารประกลบประเทกานี้ได้แก่การผลิตถ่านกัมมันต์จากชัลไฟฟ์ (raw dust) สามารถทำได้โดยผสมชัลไฟฟ์อยู่กับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ( $KCNS$ ) เข้มข้นร้อยละ 35, จากนั้นนำ



รูปที่ 1.2. การเปลี่ยนแปลงของการจัดเรียงของโครงสร้างของคาร์บอนและตอนทางอุณหภูมิที่เผา  
(Hassler 1967).

ไปเผาที่อุณหภูมิ 300 ถึง 350 °C. ในที่อับอากาศ แล้วเผาต่อให้อุณหภูมิสูงถึง 800 °C. ในบางครั้งถ้าต้องการเพิ่มความรุนแรงของปฏิกิริยา สามารถทำได้โดยใช้สารจำพวกด่างมาช่วย เช่น ใช้ถ่าน 100 ส่วน ผสมกับ K<sub>2</sub>S 15 ส่วน และ KOH 30 ส่วน, ทำให้แห้งแล้วนำไปเผาที่ 900 °C. ในที่อับอากาศ.

## (2) การกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไก๊ส (oxidizing gas)

แก๊สหรือไอที่ใช้ได้แก่ O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, ไอน้ำ, SO<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub> และไอกำมะถัน (สามชนิดหลังไม่เป็นที่นิยมใช้แล้ว).

ตัวแปรในการใช้แก๊สออกซิไก๊สเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ (Hassler 1967) มีดังนี้:

ก. คุณสมบัติทางเคมีและความขั้นของแก๊สออกซิไก๊สที่ใช้.

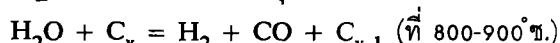
ข. อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา.

ค. ระยะเวลาของปฏิกิริยา.

ง. ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบในวัตถุดิบที่ใช้.

อุณหภูมิที่ใช้ไม่สามารถกำหนดได้แน่นอน แต่มักไม่เกิน 1,000 °C. เพราะถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่า 1,000 °C. จะทำให้อำนาจการดูดซึบของถ่านลดน้อยลง. อุณหภูมิที่ใช้ทั่วไปอยู่ในช่วง 800-900 °C. แต่ก็มีบางที่ใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 600 °C.

ปฏิกิริยาที่เกิดในการกระตุ้นมีดังนี้:



หรือ  $CO_2 + C_x = 2CO + C_{x-1}$  ( $\text{ที่ } 800-900 °C.$ )

หรือ  $O_2 + C_x = 2CO + C_{x-2}$  ( $\text{ที่ } 800-900 °C.$ )

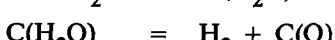
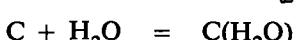
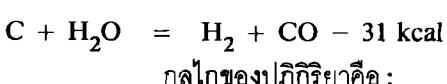
หรือ  $O_2 + C_x = CO_2 + C_{x-1}$  ( $\text{น้อยกว่า } 600 °C.$ )

การกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไก๊สเมื่อผลิตได้ 2 วิธี คือ:

ก. ทางอ้อม หมายถึงการใช้แก๊สเหล่านี้ผ่านเข้าไปในวัตถุดิบโดยตรง ที่ใช้มากที่สุดคือ ไอน้ำ นอกจากนั้นก็มีแก๊ส CO<sub>2</sub> โดยมีรายละเอียดดังนี้:

### ก.1 การกระตุ้นด้วยไอน้ำ

การใช้ไอน้ำในที่นี้หมายถึงไอน้ำร้อน (*superheated steam*) ปฏิกิริยาที่เกิดเป็นแบบดูดความร้อน (ธรรมรัตนพคุณ 2523) ดังสมการ:



H<sub>2</sub> และ CO ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะหลุดออกไป ทำให้เกิดรูพรุน แต่ CO ส่วนหนึ่งจะทำปฏิกิริยาให้ CO<sub>2</sub> และ C ดัง

สมการข้างล่าง:



การกระตุ้นด้วยไอน้ำมีข้อดีคือ ราคาถูกและไม่มีสารเคมีตกค้าง, แต่อุณหภูมิต้องสูงพอที่จะทำให้อัตราการออกซิเดช์เกิดอย่างรวดเร็ว. แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่า 1,000 °C. อำนวยการดูดซึบจะลดลง. จากการศึกษาพบว่าอำนาจการดูดซึบไอน้ำดี, พื้นดิน สามารถพัฒนาให้มากขึ้นโดยการเพิ่มอุณหภูมิได้ดี, แต่การดูดซึบพากากน้ำตาล (molasses) การเพิ่มอุณหภูมิจะมีผลต่อการดูดซึบหากน้ำตาลไม่มากนัก.

อุปกรณ์ที่สำคัญในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการตุ้นด้วยไอน้ำคือ เดอะเพนเบบหมุนได้ (rotary kiln) ซึ่งเป็นเตาเผาที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน เดอะเพนบีนมีส่วนสำคัญอยู่ 3 ส่วนคือ:

— แหล่งกำเนิดไอน้ำ เป็นส่วนที่เปลี่ยนน้ำที่เป็นของเหลวให้กลายเป็นไอน้ำ.

— ตัวเครื่อง ซึ่งประกอบด้วย ท่อบรรจุสาร, 摩托อร์หมุน, ทัวร์อุณหภูมิ และเครื่องควบแน่น.

— แหล่งให้ความร้อน เพื่อให้ไอน้ำที่ผ่านเข้ามาในตัวเครื่องกลายเป็นไอน้ำอีกครั้ง.

### ก.2 การกระตุ้นด้วยแก๊ส CO<sub>2</sub> (Hassler 1967)

อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 800-900 °C. วัตถุดิบที่ใช้ควรเผาเป็นถ่านเสียก่อน ส่วนวิธีการผลิตนั้น คล้ายกับการกระตุ้นด้วยไอน้ำ.

ก. ทางอ้อม หมายถึงการใช้สารเคมีชนิดใดชนิดหนึ่ง ซึ่งเมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิในการกระตุ้นแล้วจะปล่อยแก๊สออกซิไก๊สออกมาน. สารเคมีดังกล่าวได้แก่ ทินญูน (CaCO<sub>3</sub>) ซึ่งถูกเผาที่อุณหภูมิประมาณ 800-1,000 °C. จะให้แก๊ส CO<sub>2</sub>.

สำหรับกระบวนการผลิตด้วยวิธีการนี้ได้แก่:

### ก.1 กระบวนการใช้สารโดโลไมต์ (dolomite process) (Hassler 1967)

วิธีการผลิตถ่านกัมมันต์จากลิกไนต์โดยใช้โดโลไมต์ (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) ทำโดยใช้ผงโดโลไมต์ 1 ส่วน ผสมกับผงลิกไนต์ที่ผสมน้ำแข็งสูง ทำให้แห้งแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 ถึง 900 °C. ในที่อับอากาศ. แก๊ส CO<sub>2</sub> ที่ออกมายังจากการเผาโดโลไมต์จะกระตุ้นถ่านลิกไนต์, จากนั้นแยกออก CaO และ MgO ออกจากถ่านกัมมันต์.

### ก.2 กระบวนการใช้สารซัลไฟต์ (sulfate process) (Hassler 1967)

สารประกอบซัลไฟต์จะถูกเปลี่ยนเป็นซัลไฟต์ ซึ่งเป็นสารที่ทำให้แก๊สต่าง ๆ หลุดออกจากผิวcarbonyl.

### (3) การกระตุ้นโดยไนสารคูคันน่า (dehydrating agent)

สารคูคันน่าที่ใช้ส่วนมากเป็นเกลือโลหะคลอไรด์ เช่น  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{ZnCl}_2$ . นอกจากนี้ ยังพบว่ามีการใช้กรดฟอฟอริก ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) และกรดขั้วฟิวเริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ด้วย.

วิธีการนี้นิยมใช้กับวัตถุดินที่มีโครงสร้างที่ละเอียด เช่น ถ่านดินพุ, เบล็อกล้ำ และชิ้นเล็กๆ.

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (ราว 500° $\text{C}$ . สำหรับ  $\text{ZnCl}_2$  และ 1,000° $\text{C}$ . สำหรับกรด  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) ไม่เกิดขึ้นน้ำจะหลุดออก จากเซลล์โลสและลิกนิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของยูในวัตถุดิน.

ถ้าการกระตุ้นโดย  $\text{ZnCl}_2$  ใช้อุณหภูมิไม่สูงนัก จะทำให้อุณหภูมิคงอยู่ไม่สามารถดักจับตัวกันเป็นผลึกขนาดใหญ่ ขึ้นได้. อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิที่เหมาะสมสมถ้วนด้านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย  $\text{ZnCl}_2$  จะมีรูปรุนแรงมาก เพราะที่อุณหภูมินั้น  $\text{ZnCl}_2$  จะละลายน้ำมันดิน (bituminous) ซึ่งถ่านกัมมันต์ดูดซับอยู่มากไป และถ่านที่ได้จัดเป็น acid carbon.

สำหรับในที่นี้จะกล่าวเพียงการใช้  $\text{ZnCl}_2$  และกรด  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ซึ่งใช้กันอย่างกว้างขวางเท่านั้น.

#### ก. การผลิตถ่านกัมมันต์โดยไนสารคูคันน่า $\text{ZnCl}_2$ เป็นตัวกระตุ้น (Hassler 1967)

$\text{ZnCl}_2$  เป็นสารเคมีที่มีความสามารถในการกัดกร่อนโลหะได้ดี, มีน้ำหนักไม่เกิน 136.28 เป็นของแข็งสีขาว, ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.91 จุดลดลงเหลวเท่ากับ 275° $\text{C}$ . จุดเดือด 756° $\text{C}$ .

$\text{ZnCl}_2$  ที่ใช้อยู่ในรูปของสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง, อัตราส่วนที่ใช้คือ สารละลาย  $\text{ZnCl}_2$  เข้มข้นประมาณ 0.5 ถึง 4 ส่วน ต่อน้ำหนักของวัตถุดินที่แห้ง 1 ส่วน. บางครั้งอาจมีการเติมกรด  $\text{HCl}$  หรือกรด  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ลงไปเล็กน้อย จากนั้นนำไปเผาในที่อับอากาศซึ่งมีอุณหภูมิสูงประมาณ 600 ถึง 700° $\text{C}$ . แต่ถ้าหากมีผู้ใช้อุณหภูมิต่ำเพียง 400° $\text{C}$ . และอาจสูงถึง 900° $\text{C}$ .

ถ่านที่ได้จำเป็นต้องนำไปล้างด้วยน้ำและกรด  $\text{HCl}$  เจือจาง เพื่อเอา  $\text{ZnCl}_2$  ที่เหลือและสาร basic zinc chlorides ที่เกิดในปฏิกิริยาออกไประหว่าง  $\text{ZnCl}_2$  ที่ใช้แล้วสามารถนำมายังไนสารคูคันน่าได้ดี. จากการศึกษาพบว่าการใช้ปริมาณ  $\text{ZnCl}_2$  เพิ่มขึ้น จะช่วยเพิ่มคุณภาพของถ่านกัมมันต์ให้ดีขึ้น.

ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย  $\text{ZnCl}_2$  มีดังนี้:

– ผสมวัตถุดินที่แห้งกับสารละลาย  $\text{ZnCl}_2$  เข้มข้นด้วยปริมาณที่เหมาะสม

– คลุกเคล้าให้เข้ากัน

– นำไปอบที่ 110° $\text{C}$ . เพื่อทำให้ของผสมแห้ง

- นำไปเผาที่อุณหภูมิสูงและอับอากาศ
- นำถ่านที่ได้ไปล้างด้วยน้ำร้อน และกรด  $\text{HCl}$  เม็ดหินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
- นำถ่านที่ได้ไปอบให้แห้ง อุปกรณ์ที่มีปัญหานำในการผลิตคือ ภาชนะที่ใช้ทำปฏิกิริยา เพราะจะต้องใช้ภาชนะที่ทนความร้อนได้สูง และต้องทนต่อการกัดกร่อนของ  $\text{ZnCl}_2$  ได้ดี.

#### บ. การผลิตถ่านกัมมันต์โดยไนสารคูคูคันน่า $\text{H}_3\text{PO}_4$ เป็นตัวกระตุ้น (Hassler 1967)

กระบวนการผลิตนี้ อาจใช้กรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  แทนได้ แต่คุณภาพถ่านกัมมันต์ที่ได้จะต้องกว่า.

ตัวอย่างการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีนี้ เช่น การผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพุ หรือซีเลี่ยน วิธีทำคือผสมดินพุหรือซีเลี่ยนด้วยสารละลายกรด  $\text{H}_3\text{PO}_4$  25 ถึง 30° $\text{Bé}$  แล้วนำสารผสมที่ได้ไปอบให้แห้ง และเผาที่อุณหภูมิ 400-600° $\text{C}$ . ในเดียวบนหมุนได้. กระบวนการกระตุ้นเกิดจากการดูดซึมน้ำของกรด  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ซึ่งคล้ายกับกระบวนการกระตุ้นโดยใช้  $\text{ZnCl}_2$ . ถ่านกัมมันต์ที่ได้ควรนำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 800-1,000° $\text{C}$ . อีกประมาณ 2-8 ชั่วโมงจะออกซิได้ส์คาร์บอน, กรด  $\text{H}_3\text{PO}_4$  สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก.

นอกจากนี้กรด  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ยังใช้เป็นสารช่วยในการกระตุ้นได้อีกด้วย เช่น หลังจากการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยไนสารคูคูคันน่า จะนำถ่านที่ได้ไปแช่กรด  $\text{H}_3\text{PO}_4$  เข้มข้น ร้อยละ 2 ถึง 25 เพื่อช่วยให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีคุณสมบัติดีขึ้น.

ข้อมูลเพิ่มเติมในเรื่องการผลิตถ่านกัมมันต์ดูได้จากเอกสารของ Yehaskel (1978).

#### 1.1.3 การใช้ประโยชน์และการนำเข้าผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์

FPRI (1965) ได้แบ่งการใช้ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ออกเป็น 2 ประเภทคือ:

(1) ประเภทใช้กับของเหลว (liquid phase carbon) อุตสาหกรรมที่นำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในสารละลายหรือในของเหลว ได้แก่:

– อุตสาหกรรมน้ำตาล ใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น.

– อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค นอกจากใช้ในการฟอกสีแล้ว ยังใช้ในการแยกເຂົາສູ່ແລະເປົ້ອ-ອົກໃຫຍ່ຕອງຈາກນ้ำมันและไขมันได้ด้วย.

– อุตสาหกรรมอาหาร ใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นและฟอกสีของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งดีกว่าการใช้สารเคมีนิcidine

เพาะไม้เป็นอันตรายและไม่เกิดปฏิกิริยา กับผลิตภัณฑ์อาหาร.

— อุตสาหกรรมเครื่องดื่มและของออล เซ่น ไวน์, วิสกี้ มักใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อชุดกลิ่นที่ไม่ต้องการ ทำให้เครื่องดื่มที่ได้มีรสชาติดีขึ้น.

— อุตสาหกรรมเคมีและยา ถ่านกัมมันต์ใช้ในการผลิตสารเคมีและยาหลายชนิด เช่น acetanilide, atabrine, caffeine, glyceline, calcium ferrocyanide, sodium acetate, citric acid และ streptomycin.

ในต่างประเทศมีการทดลองใช้ถ่านรักษาโรคโดยตรง แล้ว (มูลนิธิโภมลีคีมท้อง 2530) เช่น แพทย์ชาวอังกฤษนิยมใช้ถ่านเพื่อรักษาอาการอักเสบจากการติดเชื้อ, ในผู้รักษาใช้ผงถ่านเพื่อชัดสารพิษ, ส่วนนักวิทยาศาสตร์ของสหราชอาณาจักรใช้ผงถ่านเพื่อยับยั่งแบคทีเรียในกระเพาะอาหาร หรือใช้คุกเชื้อแบบที่เรียกว่าเป็นตัวผลิตแก๊สในลำไส้ ตลอดจนบรรเทาอาการท้องเดินจากการรับประทานอาหารที่เป็นพิษด้วย.

— อุตสาหกรรมการทำน้ำให้บริสุทธิ์ โดยใช้เป็นตัวคุกกลิ่นและฟอกสี.

— อุตสาหกรรมการแยกสารที่ต้องการ เช่น การแยกทองเหลืองจากการสกัดจากแร่ด้วยวิธีไฮยาในด์, การแยกไฮเดรนออกจากราก petroleum oil-well brines (น้ำเกลือที่เกิดในหลุมน้ำมัน พบรากในประเทศไทย) ตลอดจนการผลิตวิตามินและยาระโนดอีกหลายชนิด.

— Catalytic process ถ่านจะทำหน้าที่เป็นตัวพาสารเร่ง (catalyst carrier) ในปฏิกิริยาที่มีการใช้สารเร่งหลายชนิด รวมทั้งทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของตัวเร่งให้ดีขึ้นด้วย.



## (2) ประเภทที่ใช้ในการกูดแก๊สและไก (gas phase carbon) ใช้ในอุตสาหกรรมต่อไปนี้ :

— อุตสาหกรรมทำน้ำจากป้องกันแก๊สพิษ ทั้งที่ใช้ในการทหารและที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้เพาะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแก๊สพิษและไข่ของสารอินทรีย์ได้.

— การนำไฮโรเนียมของตัวทำละลายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่. ถ่านกัมมันต์จะดูดซับไฮโรเนียมล้ำน้ำที่อุณหภูมิห้อง และจะหายออกที่ความตันของไฮโรเนย์ต่าๆ.

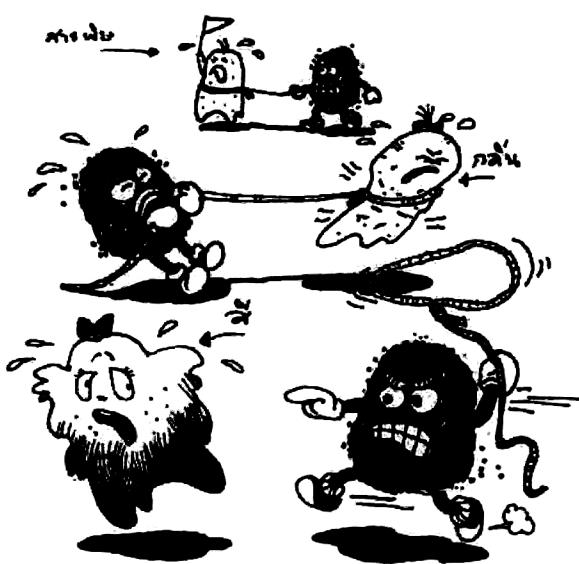
— อุตสาหกรรมปรับอากาศ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดมลพิษในอากาศต่างๆ เช่น ควันบุหรี่ได้อย่างดี, ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน และอะเซทิลีน.

— อุตสาหกรรมบุหรี่ โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นกันกรองของบุหรี่.

นอกจากนี้ยังมีการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ อย่างกว้างขวาง. สำหรับประเทศไทยนั้น ปัจจุบันมีโรงงานผลิตถ่านกัมมันต์จากคลາมະพรัว ๑ โรงเรือน โรงงานอุทุมพรเคมีคอล จ.ชลบุรี โดยผลิตถ่านกัมมันต์ออกจำหน่ายในประเทศไทยและส่งออกต่างประเทศด้วย. อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบัน ก็ยังคงมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ในปริมาณที่สูง เมื่อจากนั้นตัดคุณภาพแตกต่างจากที่ผลิตได้ภายในประเทศไทยและปริมาณใช้ภายในประเทศไทยยังสูงมาก.

ตารางที่ 1.1, รูปที่ 1.3 และ 1.4 แสดงถึงปริมาณและมูลค่าการนำเข้าของถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศ. รูปที่ 1.5 แสดงถึงแนวโน้มราคานำเข้าของถ่านกัมมันต์, โดยเฉลี่ยปริมาณนำเข้าและราคain ในระยะเวลา 2525-2529 ประมาณ 2,000 ตันต่อปี และ 20 บาทต่อ กก. ตามลำดับ. นอกจากนี้ยังมีตลาดในต่างประเทศที่ต้องการผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์อีกด้วยแห่ง ได้แก่ ญี่ปุ่น, เยอรมนี เป็นต้น โดยเฉพาะญี่ปุ่นมีแนวโน้มการนำเข้าสูงขึ้น ตั้งแต่ในรูปที่ 1.6 โดยส่วนใหญ่นำเข้าจากฟิลิปปินส์ ซึ่งกำลังมีญี่นาการเมืองภายในก่อให้เกิดคุกสรคทางการผลิตญี่ปุ่นจึงต้องแสวงหาการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากประเทศไทยอีกต่อไป.

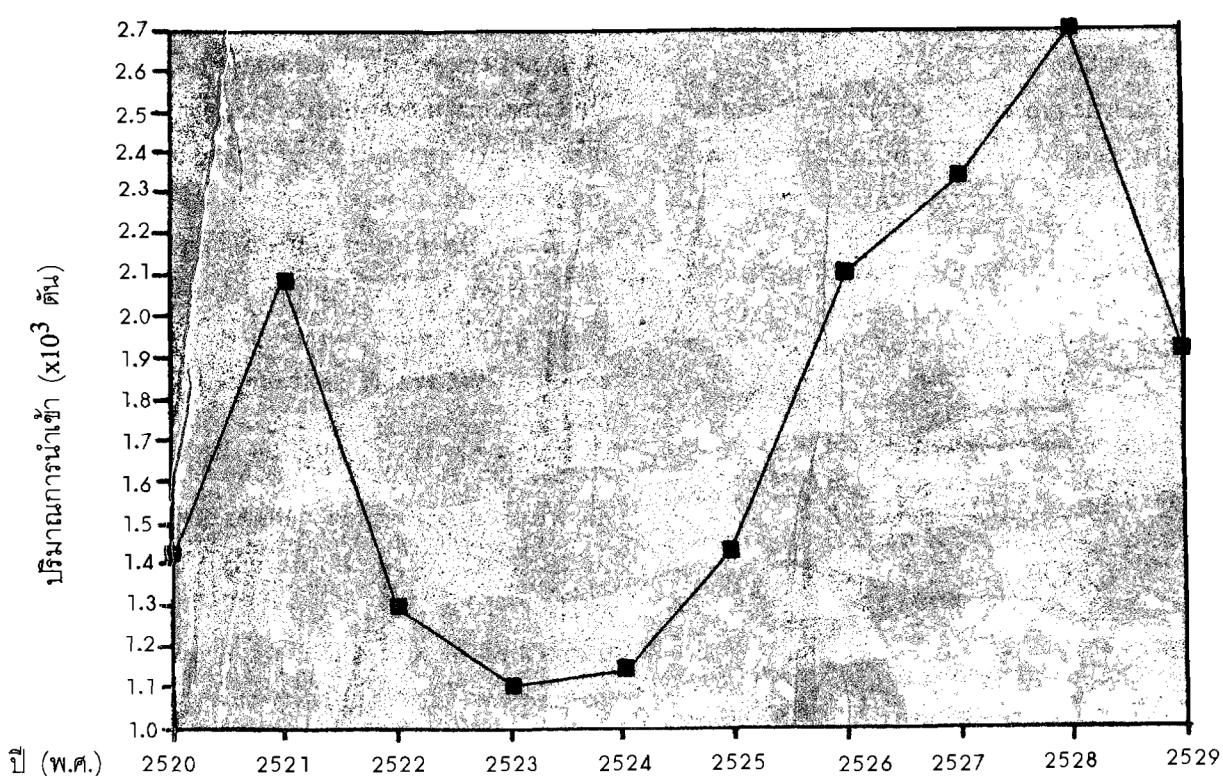
ในปี 2520 ว.ท. ได้ศึกษาและจัดทำรายงานเรื่องถ่านคุกซับ หรือถ่านกัมมันต์ โดยเน้นเรื่องคุณภาพในประเทศไทย และการตลาดรวมถึงแนวโน้มในการจัดตั้งโรงงานผลิตถ่านคุกในประเทศไทย (ในพิเศษ 2520).



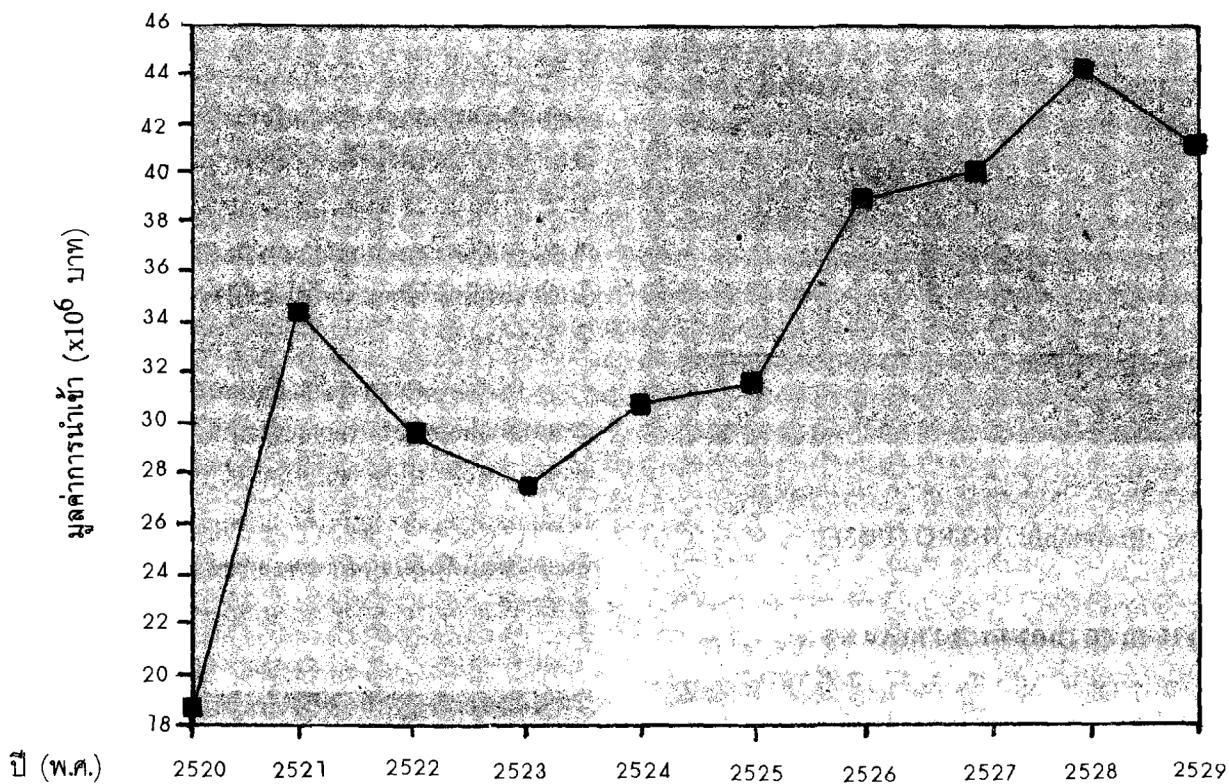
ตารางที่ 1.1. ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าด่านกัมมันต์ของประเทศไทย.

พ.ศ.	ปริมาณการนำเข้า (ตัน)	มูลค่าการนำเข้า (บาท)	ราคเฉลี่ย (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

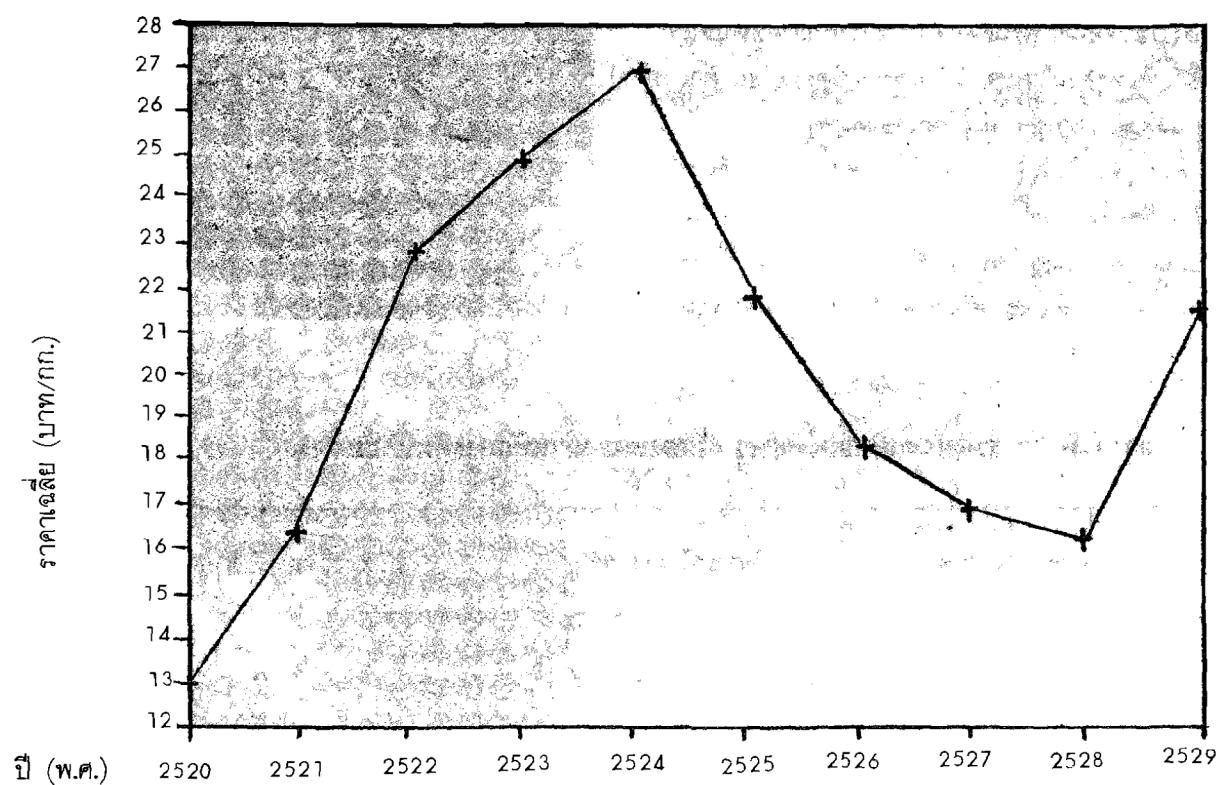
ที่มา : รายงานข้อมูลการค้า



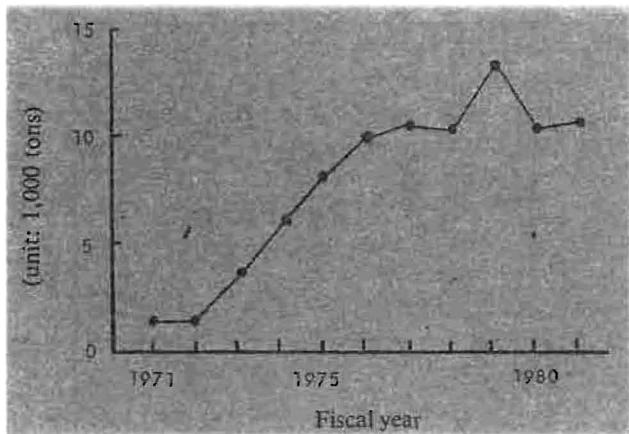
รูปที่ 1.3. ปริมาณการนำเข้าด่านกัมมันต์ของประเทศไทย.



รูปที่ 1.4. มูลค่าการนำเข้าต่างกันมันท์ออกประเทศไทย.



รูปที่ 1.5. ราคาวัสดุของถ่านกัมมันท์ที่ปั้นนำเข้าจากต่างประเทศ.



รูปที่ 1.6. สถิติการนำเข้าผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ของประเทศไทยปี JETRO (1983).

## 1.2 การผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพุ

ดินพุ (peat soils) คือ ดินอินทรีย์ที่เกิดจากการผุพัง ทับถมของชาตพืชเป็นเวลาช้านาน โดยยังคงอยู่ไม่หมด และมักเป็นดินที่ค่อนข้างเป็นกรด โดยมีค่า pH อยู่ระหว่าง 3-7.5 เนื่องจากมีปริมาณกำมะถัน, นอกจากนี้ยังขาดธาตุอาหาร จึงทำให้ใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรมได้ไม่เต็มที่. ส่วนประกอบของดินพุมีแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่และ ความลึก, ดินพุส่วนใหญ่มีน้ำมากกว่าร้อยละ 80. ตารางที่ 1.2 แสดงตัวอย่างส่วนประกอบของดินพุ.

ดินพุส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเชื้อเพลิง และเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ถ่านกัมมันต์, peat coke (ใช้ในอุตสาหกรรมลดลุ่งโลหะ), ชีฟั่งจากดินพุ และยีสต์จาก hydrolysate ของดินพุ. สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตถ่าน

กัมมันต์จากดินพุ ได้เริ่มในประเทศแคนาดา (Fuchsman 1980) กล่าวคือ ในประเทศเนเธอร์แลนด์ มีการนำดินพุมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ประมาณปีละ 2-3 หมื่นตันต่อปี. รองลงมาได้แก่ ประเทศไอร์แลนด์มีอัตราการผลิต 1,500 ตัน/ปี. ประเทศฟินแลนด์ แม้จะมีการศึกษาเรื่องนี้อยู่แต่ก็ยังไม่มีการนำไปผลิตในระดับอุตสาหกรรม, และในประเทศรัสเซีย ในส่วนแรกนิยมใช้ถ่านจากไม้ แต่ปัจจุบันก็เริ่มใช้ดินพุและลิกไนต์บ้างแล้ว.

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีคุณสมบัติที่ต่างกัน บางครั้งถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการใช้งานหนึ่ง อาจจะไม่เหมาะสมสำหรับที่จะเอาไปใช้อีกงานหนึ่งก็ได้ เช่น ถ่านกัมมันต์ที่ใช้เพื่อแยกสารฟีโนอลจากน้ำได้ดี แต่พบว่านำไปใช้ในการฟอกสีน้ำตาลดีไม่ดี. คุณภาพของถ่านกัมมันต์ขึ้นกับปริมาณพื้นที่ผิวซึ่งสามารถแสดงอำนาจดูดซับได้ หรือที่เรียกว่า "active surface".



ตารางที่ 1.2. ส่วนประกอบของดินพุ (ว้อยละของน้ำหนักสารอินทรีย์แห้ง).

รายการประกอบ	ดินพุชนิดสลายตัวต่ำ	ดินพุชนิดสลายตัวสูง
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
ชัลเฟอร์	0.1-0.2	0.1-0.3, 0.2-0.5

ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากดินพูร์ที่ยังไม่สลายตัว (unmolded peat) ที่ 700 °C. เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ B.E.T. พบว่า พื้นที่ผิวต่อประมาณ 282 ตร.ม./กรัม, แต่ถ้าใช้ไฟที่สลายตัว ดีแล้ว (molded peat) จะได้ถ่านที่มีพื้นที่ผิวสูงตั้งแต่ 400-1,500 ตร.ม./กรัม (Fuchsman 1980).

การผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพูร์สามารถใช้อุปกรณ์ตู้เผาไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 900 ถึง 1,100 °C. ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 900 °C. อัตราการเพิ่มพื้นที่ผิวจะช้ามากจนไม่คุ้มทุนการผลิต. อย่างไรก็ตาม ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่า 1,100 °C. ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดเฉพาะพื้นที่ผิวส่วนนอกของอนุภาค ซึ่งเป็นสาเหตุให้ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ได้น้อยลง โดยไม่มีผลในการเพิ่มพื้นที่ผิวแต่อย่างใด.

เตาที่ใช้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำ สามารถใช้ทั้งแบบเดาเผาหมุน (rotary kilns) และแบบ Herreschoff multiple hearth kilns.

สำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพูร์โดยใช้สารเคมี ทำได้โดยดินพูร์ที่อุณหภูมิประมาณ 300 ถึง 500 °C. แล้วนำไปผสมกับสารละลายเคมี เช่น  $ZnCl_2$ ,  $H_3PO_4$ ,  $H_2SO_4$  หรือ  $K_2S$ . จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 400-800 °C. (Fuchsman 1980). Reilly และ O'Donoghue (1941) เสนอว่าการกระตุนด้วย  $ZnCl_2$  ควรใช้อุณหภูมิในช่วง 400-800 °C. การผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพูร์โดยการใช้กรด  $H_3PO_4$  ควรใช้อุณหภูมิสูงถึง 1,000 °C. และกลั่นเข้าสารฟอกฟ้อร์สออกไบเดวาย.



### 1.3 คุณสมบัติและการทดสอบถ่านกัมมันต์

#### 1.3.1 ชนิดและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

ชนิดของถ่านกัมมันต์ สามารถแบ่งออกโดยใช้หลักต่าง ๆ มากมาย ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของตัวเอง. ตัวอย่างการแบ่งชนิดของถ่านกัมมันต์ได้แก่ :

#### ก. แบ่งตามชนิดของตัวกระตุน (กรมวิทยาศาสตร์รับราชการ 2528)

**ก.1 Chemical activated carbon** ถ่านกัมมันต์นี้ใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุน เช่น  $ZnCl_2$ ,  $H_3PO_4$  ถ่านพากนีมักเป็นถ่านที่มีขนาดของรูพูรุนใหญ่.

**ก.2 Physical activated carbon** คือถ่านที่ใช้แก๊สออกซิเดส เป็นตัวกระตุน เช่น ไอน้ำ,  $CO_2$  ถ่านพากนีมีขนาดของรูพูรุนเล็ก นิยมใช้ในการดูดแก๊สและไออกไซด์.

#### บ. แบ่งตามขนาดของรูพูรุนบนผิวของถ่านกัมมันต์ (Fuchsman 1980)

**บ.1 Micro pores** เป็นถ่านกัมมันต์ที่รักษาของรูพูรุนประมาณ 1.5 nm มักนำไปใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการดูดซับแก๊สและไออกไซด์.

**บ.2 Transitional pores** เป็นถ่านกัมมันต์ที่รักษาของรูพูรุนประมาณ 1.5 ถึง 100 nm มักนำไปใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา catalytic reaction.

**บ.3 Macro pores** เป็นถ่านกัมมันต์ที่รักษาของรูพูรุนมากกว่า 100 nm มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสีและกำจัดเชื้อ.

#### ค. แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ที่ได้ (FPRI 1965)

**ค.1 ความหนาแน่นคำ** ถ่านประเทานี้มักใช้ประโยชน์ในสภาวะที่เป็นสารละลาย เช่น พอกสีน้ำติดลบ หรือการทำน้ำให้บริสุทธิ์.

**ค.2 ความหนาแน่นสูง** ถ่านประเทานี้ใช้ในการดูดแก๊สหรือไออกไซด์.

#### ง. แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูด (Berl 1938)

**ง.1 Gas adsorbents** หมายถึงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดแก๊สพิษ, กลิ่น และไอของสารอินทรีย์ ส่วนมากเป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุนถ่านประเทา hard artificial char.

**ง.2 Colour adsorbents** หมายถึงถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นตัวฟอกสี ส่วนมากเป็นถ่านกัมมันต์ที่เกิดจากการเผาถ่านประเทา soft artificial char.

**3.3 Metal adsorbents** หมายถึงถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นตัวแยกพิวากให้เหลาต่างๆ เช่น ถ่านที่ใช้ในการแยกทอง, เงิน, แพลทินัม จากแร่. นอกจากนี้ยังมีแบ่งตามสภาพที่ใช้ เช่น liquid-phase carbon, gas-phase carbon (Kirk and Othmer 1978).

### 1.3.2 มาตรฐานและวิธีการทดสอบ

มาตรฐานและวิธีการทดสอบถ่านกัมมันต์มีอยู่มาก หลายและแตกต่างกันในแต่ละประเทศ ดังจะได้กล่าวต่อไปนี้ :

**(1) มาตรฐานของ AWWA (American Water Works Association)** ได้กำหนดคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ ชนิดเม็ดที่ต้องทดสอบคือ :

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

สำหรับถ่านที่เป็นผง AWWA กำหนดคุณสมบัติที่ต้องทดสอบคือ :

- 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**

กำหนดคุณสมบัติที่ต้องทดสอบของถ่านกัมมันต์ (ASTM, PART 30,-1982) ได้ดังนี้ :

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

**(3) มาตรฐานและการทดสอบถ่านกัมมันต์** ของประเทศไทย 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) มาตรฐานและการทดสอบถ่านกัมมันต์ที่ใช้ฟอกสีน้ำมันพืชและน้ำตาลของประเทศไทยเดียวกับกำหนดคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องทดสอบ (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

สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับการทดสอบคุณสมบัติตาม มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบนี้ ดูได้ในภาคผนวกที่ 1.

## 2. การทดลองผลิตถ่านกัมมันต์ จากดินพู

### 2.1 วิธีการกระตุนโดยใช้สารเคมี $ZnCl_2$

#### 2.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

##### — สารเคมี

(1) สารละลายน้ำ  $ZnCl_2$  ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก เตรียมโดยละลาย  $ZnCl_2$  (A.R. GRADE) ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับให้ได้ความถ่วงจำเพาะ  $60^\circ Bé$ .

(2) สารละลายน้ำกราฟฟิล์เม้นร้อยละ 10 โดยน้ำมาร์.

##### — อุปกรณ์

(1) เครื่องซึ่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่งของ Mettler.

(2) Porcelain crucible และ graphite crucible.

(3) แท่งคานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8.5 มม. และกระบอกหัวขด 250 มล.

(4) Hydrometer ช่วงความถ่วงจำเพาะ 1.000-2.000.

(5) Hot plate.

(6) ตู้อบ MEMMERT ช่วงอุณหภูมิ 0-250°C.

(7) เตาเผา CARBOLITE (England) type ESF 12/23. ช่วงอุณหภูมิ 0-1,200°C.

(8) เตสิกเคเตอร์.

(9) กระดาษกรองวัตถุ เมอร์ 42.

(10) อุปกรณ์การกรองแบบสูญญากาศ.

#### 2.1.2 สภาวะและผลการทดลอง

##### วิธีการทดลองมีดังนี้ :

— นำดินที่ได้มาทำให้แห้ง โดยผึ่งแดดหรืออบที่  $80^\circ\text{C}$ . จนแห้งบดได้.

— บดดินรวมทั้งรากไม้ให้ละเอียดจนสามารถผ่าน sieve ขนาด 60 เมชได้.

— นำดินที่บดละเอียดแล้วไปอบที่  $110^\circ\text{C}$ . จนน้ำหนักคงที่ แล้วทิ้งให้เย็นในเตสิกเคเตอร์.

— ชั่งดินให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน แล้วใส่ใน crucible.

— เติมสารละลายน้ำ  $ZnCl_2$  ตามที่กำหนดไว้.

— ผสมดินและสารละลายน้ำเข้ากัน จากนั้นนำไป digest ที่  $110^\circ\text{C}$ . เป็นเวลา 1 ชม.

— นำไปเผาในท่ออบอากาศ (โดยปิดฝา crucible) ที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนดให้.

— นำถ่านที่ได้ไปล้างด้วยน้ำร้อน (ในช่วงนี้ถ่านจะจับกันเป็นก้อนแข็ง ดังนั้น จึงต้องใช้เท่งคนขานด้วยไฟเพื่อบดให้ถ่านเล็กลง) 4 ครั้ง และกรองผ่านกระดาษกรองด้วยระบบสูญญากาศ.

— ล้างถ่านด้วยกรด HCl เข้มข้นร้อยละ 10 จำนวน 2 ครั้ง เพื่อลดละลายพลาสติกซึ่งข้อที่ไม่สามารถหล่อกราฟฟิล์เม้นได้.

— ล้างถ่านด้วยน้ำร้อนอีกครั้ง จนแน่ใจว่าหมด HCl แล้ว จะสังเกตว่า ช่วงนี้ถ่านจะแตกหักก่อนเร็ว และสารละลายน้ำจะใส ถ้านำสารละลายน้ำมาทดสอบด้วยกระดาษ Litmus จะให้ pH ในช่วง 7.

เมื่อ ในการนี้ที่ต้องการใช้ถ่างล้างถ่านเพื่อลดความเป็นกรดให้ทำได้ในช่วงนี้.

— นำถ่านที่ได้ไปอบแห้งที่  $150^\circ\text{C}$ . ประมาณ 6-7 ชม. แล้วทิ้งให้เย็นในเตสิกเคเตอร์.

— ชั่งน้ำหนักถ่าน และคำนวนหาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ได้เป็นร้อยละของน้ำหนักดิบแห้ง.

— นำถ่านที่ได้ไปบดและผ่าน sieve 60 เมช แล้วนำไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติต่างๆ.

ในการทดลองกำหนดตัวแปรในการผลิตถ่านกัมมันต์ไว้ดังนี้ :

— อัตราส่วนของน้ำหนักดินพูและต่อน้ำหนักสารละลายน้ำ  $ZnCl_2$  (ร้อยละ 60) โดยกำหนดเป็น 1:2.5 และ 1:4.

— อุณหภูมิการเผาที่  $400$  และ  $600^\circ\text{C}$ .

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

ตัวอย่างดินพูซึ่งนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นทั้งหมด 6 ตัวอย่างนั้น นำมารวบรวม ช.บ. ขนาด 7.5 ราชวิถี มีรายละเอียดสถานที่เก็บและความลึก รวมทั้งส่วนประกอบตั้งแสดงในตารางที่ 2.1. จากตารางจะเห็นว่าตินเหล่านี้มีค่า fixed carbon สูงเกินร้อยละ 30, ยกเว้นติน C, D และ F ซึ่งมีค่า fixed carbon ค่อนข้างต่ำ และค่าเถ้า (ash) นั้น สูงมาก (เกินร้อยละ 25) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วไม่มีคุณสมบัติจะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบผลิตถ่านกัมมันต์ เนื่องจากวัตถุดิบที่มีเถ้าสูงนั้นจะให้ผลผลิตซึ่งมีคุณภาพต่ำ ดังจะได้แสดงในผลการทดลองต่อไป. สำหรับสาร S นั้น พบร่วมมีค่าค่อนข้างต่ำคือ น้อยกว่าร้อยละ 0.25.



ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของตัวอย่างดินพูเหล่านี้ ก่อนนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ได้แก่ค่า iodine no., methylene blue adsorption, ความหนาแน่นและ pH. ดินเหล่านี้ จะมีค่า iodine no. ต่ำกว่า 500 mg./g. และค่า methylene blue adsorption ต่ำกว่า 50 mg./g., ยกเว้นตัวอย่าง G และ H ซึ่งมีค่า methylene blue adsorption สูงมากถึง 186 และ 123 mg./g. ตามลำดับ. ส่วน pH ของดินซึ่งยังไม่ได้ผ่านกระบวนการเลย มีค่าประมาณ 3.2-4.8 โดยส่วนใหญ่มี

ค่าต่ำกว่า 4 แสดงถึงความเป็นกรดจัดของดินพู.

ตารางที่ 2.3, 2.4, 2.5 และ 2.6 แสดงถึงผลของการแบร์ค่าอัตราส่วนของน้ำหนักดินต่อน้ำหนัก  $ZnCl_2$  (ร้อยละ 60), อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการกรองตุ้น ต่อค่า iodine no., methylene blue adsorption, พื้นที่ผิวนูภาค และค่าร้อยละของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ (% yield) ตามลำดับ. รายละเอียดของคุณสมบัตินี้ ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีแสดงในตารางที่ 2.7.

**ตารางที่ 2.1. ตัวอย่างดินพูและค่า proximate analyses ของดิน ที่ใช้ในการทดลอง.**

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

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



ตารางที่ 2.2. คุณสมบัติของตัวอย่างดินพูก่อนนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์.

ตัวอย่างดินพู	Iodine no. (มก./ก.)	Methylene blue adsorption (มก./ก.)	ความหมาดแน่น (ก./มล.)	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 :  $ZnCl_2$ , อุณหภูมิและเวลาการกรองตื้น  
ที่มีต่อค่า iodine no. ของถ่านกัมมันต์.

Iodine no. (มก./ก.)	อัตราส่วน ดิน : $ZnCl_2$ (ร้อยละ 60)																				
	1:25								1:4												
ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)																				
	400				600				400				600								
	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	—	—	—	—	—	—	1,286	—	—	1,309	—	1,168	—	1,302	—	1,295	1,341	1,292	—	—	
B	—	—	1,013	995	—	1,170	1,181	1,098	1,322	1,194	—	1,155	920	1,148	—	1,224	1,254	1,225	—	—	
C	—	—	—	—	—	—	797	—	—	876	—	—	—	—	—	—	860	—	839	—	—
D	—	—	—	—	—	—	626	—	—	500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
E	—	—	—	—	—	—	1,176	—	—	782	—	—	—	—	—	—	1,276	1,268	1,325	—	—
F	—	—	—	—	—	—	843	—	—	737	—	—	—	—	—	—	809	—	823	—	—
G	—	1,132	—	1,018	—	—	1,315	—	1,265	—	705	1,090	844	1,075	—	1,310	1,309	1,226	1,077	(1,202)	(1,213)

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงคุณสมบัติของถ่านที่ผลิตขึ้นซ้ำครั้ง เพื่อปืนยันข้อมูล.

ตารางที่ 2.4. ผลของการแปรค่าอัตราส่วนของดิน :  $\text{ZnCl}_2$ ,  
อุณหภูมิและเวลาการกรตะตัน ที่มีต่อค่า methylene blue adsorption ของด่านกัมมันต์.

Methylene blue adsorption (มก./ก.)  ตัวอย่าง	อัตราส่วน ดิน : $\text{ZnCl}_2$ (ร้อยละ 60)																				
	1:2.5								1:4												
อุณหภูมิ (°ช.)																					
400		600								400				600							
เวลา (ช.ม.)																					
	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	264	208	—	
																	(202)			(210)	

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงคุณสมบัติของถ่านที่ผลิตขึ้นอีกครั้ง เพื่อยืนยันข้อมูล.

ตารางที่ 2.5. ผลของการแปรค่าอัตราส่วนของดิน :  $\text{ZnCl}_2$ ,  
อุณหภูมิและเวลาการกรตะตัน ที่มีต่อค่าพื้นที่ผิวอนุภาคของด่านกัมมันต์.

พื้นที่ผิว อนุภาค (B.E.T.) (ตร.ม./ก.)  ตัวอย่าง	อัตราส่วน ดิน : $\text{ZnCl}_2$ (ร้อยละ 60)																				
	1:2.5								1:4												
อุณหภูมิ (°ช.)																					
400		600								400				600							
เวลา (ช.ม.)																					
	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	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,384	—	876	—	1,005	—	1,351	—	1,346	—	—	
B	—	—	—	—	—	1,176	—	—	—	—	—	777	—	989	—	1,178	1,185	1,250	—	—	
C	—	—	—	—	—	699	—	—	—	—	—	—	—	—	—	791	—	815	—	—	
D	—	—	—	—	—	623	—	—	—	407	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
E	—	—	—	—	—	1,139	—	—	—	551	—	—	—	—	—	—	—	—	1,568	—	—
F	—	—	—	—	—	695	—	—	—	571	—	—	—	—	—	650	—	746	—	—	
G	—	614	—	624	—	992	—	—	1,001	—	261	890	525	848	—	1,251	—	1,317	1,125	—	
																	(1,227)			(1,256)	

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงคุณสมบัติของถ่านที่ผลิตขึ้นอีกครั้ง เพื่อยืนยันข้อมูล.

**ตารางที่ 2.6. ผลของการแบรค่าอัตราส่วนของดิน : ZnCl<sub>2</sub>,  
อุณหภูมิและเวลาการกรองตื้น ที่มีต่อค่าร้อยละของด่านกัมมันต์ที่ผลิตได้.**

ด้านกัมมันต์ ที่ผลิตได้ (ร้อยละ ของน้ำหนัก ดินแห้ง)	อัตราส่วน ดิน : ZnCl <sub>2</sub> (ร้อยละ 60)																			
	1:25										1:4									
	อุณหภูมิ (°C)																			
	400					600					400					600				
ด้าวอย่าง	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	—	—	—	—	—	—	54.8	—	—	50.1	—	56.6	—	54.3	—	51.0	48.7	51.7	—	—
B	—	—	58.4	58.6	—	56.6	56.3	62.4	52.2	50.9	—	56.7	58.9	56.0	—	53.4	50.7	52.7	—	—
C	—	—	—	—	—	—	62.4	—	—	56.9	—	—	—	—	—	59.4	—	58.9	—	—
D	—	—	—	—	—	—	67.2	—	—	66.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
E	—	—	—	—	—	—	53.4	—	—	49.6	—	—	—	—	—	52.2	53.5	49.7	—	—
F	—	—	—	—	—	—	64.5	—	—	68.6	—	—	—	—	—	63.7	—	61.2	—	—
G	—	64.3	—	56.6	—	—	57.8	—	57.3	—	59.1	56.2	57.6	54.9	—	52.5	49.4	54.2	56.9	—
																(51.6)		(51.5)		

หมายเหตุ : ด้าวเลาในวงลีบหมายถึงคุณสมบัติของด่านที่ผลิตซ้ำอีกครั้ง เพื่อเป็นยันต์มูล.

**ตารางที่ 2.7. รายละเอียด proximate analyses  
ของด่านกัมมันต์ที่ทดลองผลิต โดยใช้สารเคมี ZnCl<sub>2</sub> กรองตื้น.**

ด้าวอย่างและสภาพ การทดลอง	ความชื้น (ร้อยละ)	Proximate analyses (ร้อยละ, dry basis)				ความ หนาแน่น (ก./มล.)	pH
		สารระเหย	ถ้า	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

**ตารางที่ 2.7 (ต่อ)**

ตัวอย่างและสมการ	ความชื้น	Proximate analyses (ร้อยละ, dry basis)				ความ หนาแน่น (ก./มล.)	pH
		สารระเหย	น้ำ	Fixed carbon	S		
การทดลอง	(ร้อยละ)						
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
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 : ตัวเลขในวงล็บแสดงถึงส่วนของสารที่ต้องการตัดออก คือ อัตราส่วนของคินต่อสารเคมี  $ZnCl_2$  (เข้มข้นร้อยละ 60),  
อุณหภูมิ (°C) และเวลา (ชม.) ในการกรองด้วยตามลำดับ

## 2.2 วิธีการกระตุนโดยไม่ไอ้น้ำ

### 2.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

#### — วัสดุ

แบ่งมันสำปะหลังชนิดอย่างดี ตราเจดีย์

#### — อุปกรณ์

(1) บล็อกพลาสติกรูปกลม และช้อนสำหรับอัดดินพรุให้เป็นเม็ด ขนาด 4 เมซ.

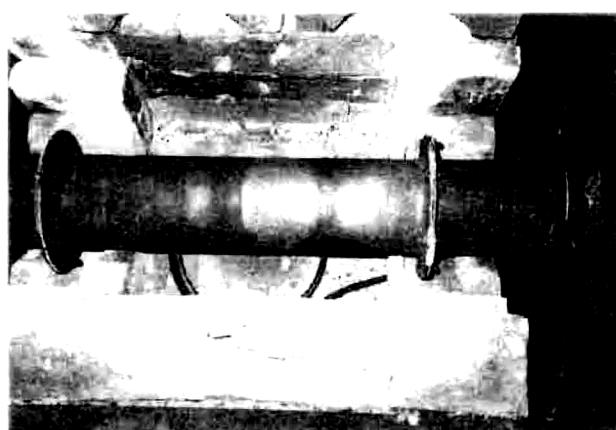
(2) ชุดกรอก (mortar).

(3) ตู้อบ “MEMMERT” ช่วงอุณหภูมิ 0-250 °C.

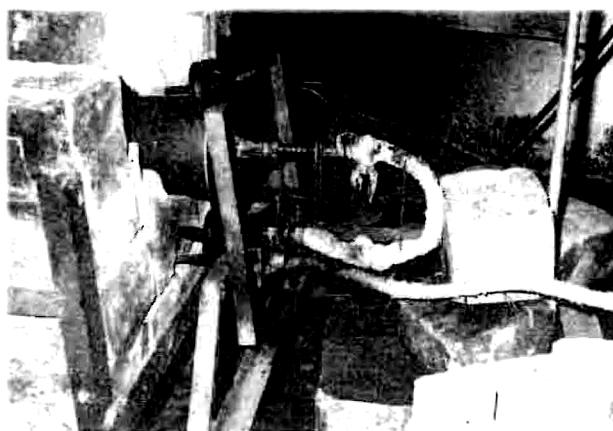
(4) เตาเผา “CARBOLITE” (England) type ESF 12/23 ช่วงอุณหภูมิ 0-1,200 °C.

(5) Graphite crucible และ porcelain crucible.

(6) Rotary kiln ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. และความยาว 35 ซม. (เฉพาะที่บารุงวัตถุดิบ) สามารถอัดดินพรุได้ประมาณ 0.3-0.7 กก. พร้อมด้วยอุปกรณ์ผลิตไอน้ำยิง匣ดซึ่งใช้วิธีการผ่านไอน้ำอีมตัวไปยังชุด漉ทองแดงร้อนตามอุณหภูมิที่ต้องการ. อุปกรณ์ชุด rotary kiln ที่ วท. ใช้นี้เป็นของกองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ ตั้งแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2.



รูปที่ 2.1. ท่อเตาเผาถ่านดินพรุขนาดห้องปฏิบัติการ.



รูปที่ 2.2. ห้อส่งฝ่านไอน้ำเข้าเตาเผา.

### 2.2.2 สภาวะและผลการทดลอง

วิธีการทดลองมีดังนี้:

#### ก. การเตรียมถ่านเม็ดดินพรุ

— นำดินที่ได้มาทำให้แห้ง โดยผึ่งแดดหรืออบที่ 80 °C. จนแห้งบดได้.

— บดดินรวมทั้งรากไม้ให้ละเอียดจนสามารถผ่าน sieve ขนาด 60 เมซ.

— นำดินที่บดละเอียดแล้วไปอบที่ 110 °C. จนน้ำหนักคงที่ แล้วทิ้งให้เย็นใน เดซิเกเตอร์

— เตรียมน้ำแบ่งสุกจากแบ่งมันสำปะหลัง (แบ่ง 15 ก. ในน้ำ 390 มล. แล้วคุณน้ำแบ่งสุกดี).

— ผสมดินและน้ำแบ่งสุก โดยใช้น้ำหนักแบ่งแห้งละ 5 ของน้ำหนักดินพรุแห้ง.

— อัดดินพรุผสมแบ่งในบล็อกรูปกลมของภาชนะเป็นเม็ด.

— นำเม็ดดินพรุไปอบแห้งที่ 110 °C. และเผาต่อที่ 500 °C. ประมาณ 1 ชม. ใน crucible ซึ่งปิดฝ่า แล้วทิ้งให้เย็นใน crucible.

#### บ. การกระตุนด้วยไอน้ำ

— ชั่งน้ำหนักเม็ดถ่านดินพรุ ประมาณ 300 ก. บรรจุในห่อเตาเผาไอน้ำ.

— ผ่านไอน้ำความดัน 20 ปอนด์/ตร.นิ้ว แล้วจุดไฟเผาจากแก๊ส เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิภายในเตาสูงตามที่กำหนด.

— ปิดไฟเผาเมื่อครบเวลากำหนด.

— ปิดห่อไอน้ำ.

— ตั้งท่อเทามไอน้ำเย็น แล้วจึงนำออกมาดีถ่านดินพรุออกจาก.

— ชั่งน้ำหนักถ่าน และคำนวนหาปริมาณห้าบริมาณถ่านกัมมันต์ที่ได้.

— นำถ่านไปบดและผ่าน sieve 60 เมซ แล้วนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ.

ตัวแปรซึ่งใช้ในการทดลองการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำ คือ:

— อุณหภูมิการเผา ที่ 800 และ 900 °C.

— เวลาการเผา ที่ 1, 2, 3 และ 4 ชม.

ตัวอย่างดินพรุซึ่งนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการทดลอง คือ ดินพรุบางจากตัวอย่าง G ซึ่งมีคุณสมบัติตั้งแสดงในตาราง 2.1 และ 2.2.

ตารางที่ 2.8 แสดงถึงผลของการทดลองด้วยไอน้ำที่มีต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์ ได้แก่ iodine no., methylene blue adsorption, พื้นที่ผิวน้ำภาค, ปริมาณ yield หรือถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้เป็นค่าร้อยละของน้ำหนักดินพรุ, ความหนาแน่นและ pH

พร้อมทั้งแสดงค่าคุณสมบัติของถ่านดินพู ซึ่งผ่านการเผาที่ 500 °C. เป็นเวลา 1 ชั่วโมง. แต่ก่อนการกระตุนด้วยไอน้ำ.

ตารางที่ 2.9 แสดงรายละเอียดของ proximate

analyses ของถ่านกัมมันต์ ซึ่งกระตุนโดยใช้ไอน้ำ.

ตารางที่ 2.10 แสดงขนาด particle size distribution ของเม็ดดินพูก่อนและหลังผ่านกระบวนการทดลองต่าง ๆ.

### ตารางที่ 2.8. ผลของอุณหภูมิและเวลาการกระตุน ถ่านดินพูด้วยไอน้ำ ที่มีค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์.

คุณสมบัติ	ถ่านดินพูก่อน กระตุนด้วยไอน้ำ (หลังจากเผา ที่ 500 °C. เป็นเวลา 1 ชั่วโมง.)	อุณหภูมิ (°C.)					
		800		900			
		เวลา (ชั่วโมง.)					
		1	2	1	2	3	4
Iodine no. (มก./ก.)	327	575	704	919	1,060	1,142	1,216
Methylene blue adsorption (มก./ก.)	112	89	113	96	161	250	296
พื้นที่ผิวน้ำภาค (B.E.T.) (ตร.ม./ก.)	139	378	464	612	707	831	881
Yield (ร้อยละของน้ำหนัก ดินพูแห้ง)	45-52	31.0	19.6	26.1	20.7	9.2	7.7
ความหนาแน่น (ก./มล.)	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. รายละเอียด proximate analyses ของถ่านกัมมันต์ ที่ทดลองผลิตโดยใช้ไอน้ำกระตุน.

ตัวอย่างและสภาวะ การทดลอง	ความชื้น (ร้อยละ)	Proximate analyses (ร้อยละ, dry basis)			
		สารระเหย	เนื้า	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 (°C.) และเวลา (ชั่วโมง) ในกระบวนการกระตุนหรือเผาตามลำดับ.

ตารางที่ 2.10. Particle size distribution ของเม็ดถ่านดินพูที่สภาวะต่าง ๆ.

ตัวอย่างและสภาพการทดลอง	ค่าร้อยละ			
	+ 4 เมช	4-8 เมช	8-16 เมช	16 เมช
G (หลังอัดเม็ดอบแห้งที่ 110° ช.)	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 (° ช.) และเวลา (ชม.) ในการกรองดูดซึ่งกันน้ำ

### 3. วิธีการนับและวิเคราะห์

วท. ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพูในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ตัวอย่างจากพรูบารเจาะ จ.นราธิวาส ซึ่งสาขาวิจัยอุตสาหกรรมการผลั้งงานนำมาจากจุดต่าง ๆ ในบริเวณพรูบารเจาะ (ตัวอย่าง A – F) และทางสาขาวิจัยอุตสาหกรรมเคมี ได้เป็นตัวอย่างเพิ่มเติมในภายหลังในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งตัวอย่าง B (ตัวอย่าง G) ดังแสดงค่า proximate analyses ในตารางที่ 2.1. ดินพูเหล่านี้เมื่อขูดขึ้นมาจะมีความชื้นค่อนข้างสูง, กวาร์อยละ 90 ต้องตากให้แห้งหรือนำไปอบแห้ง. ถ้าหากทิ้งไว้ (air dried) จะได้ดินพูความชื้นประมาณร้อยละ 6-11. สำหรับค่าสารประกอบอื่น ๆ (เมื่อวิเคราะห์ dry basis) ได้แก่ สารระเหย (volatile matter) มีประมาณร้อยละ 38.8-64.1, เก้ามีร้อยละ 1.3-39.2, ถ่านคงตัว (fixed carbon) มีร้อยละ 25.7-38.2 และสาร S ประมาณ 0.12-0.25. นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ค่า iodine no. และ methylene blue adsorption (ตารางที่ 2.2) พบว่ามีค่าต่ำประมาณ 375-660 และ 37-71.5 mg./g. ดินพูตามลำดับ, ส่วนค่า pH อยู่ในช่วง 3.2-4.8 ซึ่งแสดงถึงความเป็นกรด. วท. ได้ทดลองลดความเป็นกรดของดินพูก่อนนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ โดยใช้สาร  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ได้ผลดังรายงานในภาคผนวก 2 ซึ่งแสดงว่าสารทั้งสอง

สามารถลดความเป็นกรดของดินพูได้จนถึงเป็นกลางเมื่อเพิ่มปริมาณมากขึ้น. และ วท. ยังได้ทดลองลดความเป็นกรดของถ่านกัมมันต์ซึ่งผลิตจากดินพูที่ยังไม่ได้ลดความเป็นกรด โดยใช้สารเคมี ไดเกอร์  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{KOH}$  และ  $\text{NaOH}$  ดังแสดงในภาคผนวก 2 เช่นกัน. อย่างไรก็ดี วท. พบร่วมกัน ลดความเป็นกรดนี้ ไม่มีผลต่อกุณสมบัติอื่นของถ่านกัมมันต์นัก จึงได้ใช้ดินพูซึ่งไม่ได้ลดความเป็นกรดเป็นวัตถุดูดตั้งต้นในการทดลองโดยทั่วไป.

วิธีการผลิตถ่านกัมมันต์ในห้องปฏิบัติการของ วท. นั้น ใช้วิธีกรองด้วยสารเคมี  $\text{ZnCl}_2$  และใช้วิธีกรองด้วยไอน้ำยิ่งบวด โดยใช้ตัวแปรร่วมคือ อุณหภูมิและเวลาการกรองตัว. สำหรับการกรองด้วยสารเคมี  $\text{ZnCl}_2$  นั้น มีการแปรอัตราส่วนของสารเคมี  $\text{ZnCl}_2$  (ความเข้มข้นร้อยละ 60) ต่อдинด้วย. หลังจากนั้นจึงนำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาวิเคราะห์หาค่า iodine no., methylene blue adsorption, พื้นที่ผิวอนุภาค, proximate analyses, ความชื้น, ความหนาแน่น และ pH เป็นต้น. สำหรับถ่านที่กรองด้วยไอน้ำนั้น ได้รับการวิเคราะห์หา particle size distribution ด้วย เนื่องจากต้องใช้ถ่านอัดเม็ดเมื่อกรองตัว. นอกจากนี้ในการใช้งานบางประเภทนั้นจำเป็นต้องใช้ถ่านเม็ดขนาดต่าง ๆ ตามความเหมาะสม.

ในระหว่างการทดลองนี้ ผู้ปฏิบัติการได้พบว่าความเข้มข้นของสารละลาย methylene blue นั้น มีผลต่อค่า methylene blue adsorption เป็นอย่างมาก, และจากเอกสาร

ถ้าใช้ค่าความเข้มข้นของ methylene blue ต่าง ๆ กัน (Hassler 1987; JIS 1967). จึงได้ทดสอบหาค่าความเข้มข้นของ methylene blue ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการหาค่า methylene blue adsorption มีผลดังแสดงในภาคผนวก 3. จากผลการทดสอบนี้พบว่า ถ้าใช้ความเข้มข้น 0.1 กรัม/ลิตร จะได้ค่า adsorption ต่ำมากกว่าค่าความเข้มข้น 0.8 และ 1.2 กรัม/ลิตร เมื่อใช้สารถ่านกัมมันต์ประมาณ 0.2 กรัม. ส่วนค่า adsorption ของความเข้มข้นสูง ทั้งสองค่านั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจเนื่องจากว่าถ้าใช้สารละลายความเข้มข้นต่ำไป ถ่านกัมมันต์จะไม่สามารถดูดซับได้เต็มที่. เพื่อความเหมาะสมจึงใช้สารละลาย methylene blue ความเข้มข้น 0.8 กรัม/ลิตร ใน การทดสอบต่อไป.

### 3.1 ผลการทดสอบผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพูรุโดยวิธีกราดตื้นด้วยสารเคมี $ZnCl_2$

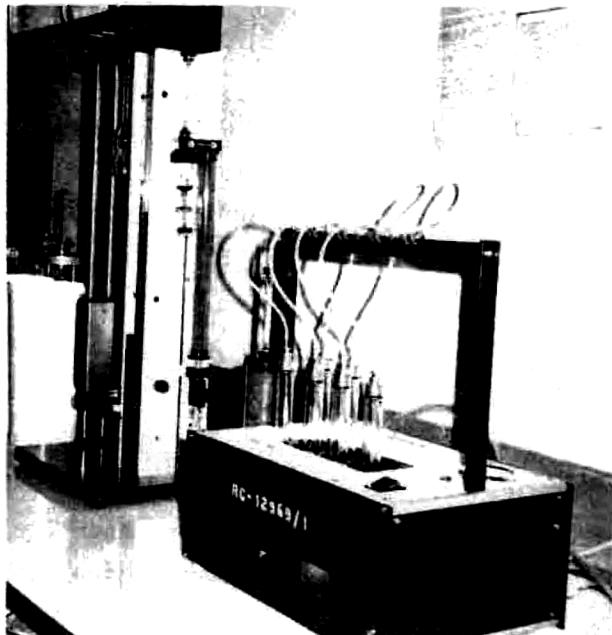
ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกราดตื้นด้วยสารเคมี  $ZnCl_2$  นั้น มีค่าร้อยละของถ่านที่ผลิตได้ (per cent yield) อยู่ในช่วง 48.7-68.6 (ตารางที่ 2.6), และพบว่าถ่านที่มีค่า yield สูงนี้ เป็นถ่านที่มีค่าถ้าสูง ซึ่งมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมแก่การทำถ่านกัมมันต์ ได้แก่ ถ่านซึ่งผลิตจากดินพูรุ C, D และ F ตั้ง จะเห็นได้จากค่า iodine no., methylene blue adsorption และค่าพื้นที่ผิวอนุภาคของถ่านเหล่านี้จะมีค่าต่ำข้างต่ำเมื่อเทียบกับถ่านผลิตจากดินพูรุ A, B, E และ G. นอกจากนี้ พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นหรือเวลานานขึ้น ค่า yield ก็จะลดลง แต่ก็ไม่มากนักโดยเฉพาะเมื่อใช้เวลานานขึ้น ในสภาวะอุณหภูมิสูง 600 °C.

ค่า iodine no. ของถ่าน (ตารางที่ 2.3) ซึ่งผลิตจากดินพูรุ C, D และ F มีค่า < 1,000 มก./กรัมมาก, ส่วนถ่านกัมมันต์ผลิตจากดินพูรุ A, B, E และ G นั้นจะมีค่า iodine no. สูง กล่าวคือถ้ากราดตื้นที่อุณหภูมิ 400 °C. จะมีค่าประมาณ 700-1,200 มก./กรัม, และถ้ากราดตื้นที่ 600 °C. จะมีค่าสูง ระหว่าง 1,200 – กว่า 1,300 มก./กรัม ทั้งนี้โดยใช้เวลากราดตื้นอย่างน้อย 0.5 ชม.

สำหรับค่า methylene blue adsorption (ตารางที่ 2.4) นั้น พบร่วมกับถ่าน C, D และ F นั้น ส่วนใหญ่ให้ถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีค่า methylene blue adsorption ต่ำ รวมถึงถ่ายร่อง อื่น ๆ ซึ่งได้รับการกราดตื้นที่อุณหภูมิต่ำคือที่ 400 °C. ส่วนดินพูรุที่ได้รับการกราดตื้นที่อุณหภูมิสูง 600 °C. และใช้สารละลาย  $ZnCl_2$  ในอัตราส่วนที่สูง (1:4) จะให้ค่า methylene blue adsorption สูงถึงกว่า 300 มก./กรัม. อย่างไรก็ดี ผู้ปฏิบัติการพบว่าค่า methylene blue adsorption นั้น แปรเปลี่ยนได้ง่าย และมีข้อผิดพลาดทำให้ค่าที่ได้ไม่สม่ำเสมอ.

ในการทดสอบแต่ละครั้ง ผู้ปฏิบัติการต้องระมัดระวังข้อผิดพลาดต่าง ๆ เป็นอย่างมาก. อย่างไรก็ดี จากการทดสอบค่า methylene blue นั้น พบว่าการกราดตื้นด้วย  $ZnCl_2$  ที่อุณหภูมิ 400 °C. นั้น ให้ผลไม่ดีนัก กล่าวคือค่า methylene blue อยู่ระหว่าง 100-200 มก./ก. แต่ถ้ากราดตื้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น ค่าจะมากกว่า 200 มก./ก. โดยเฉพาะถ้ากราดตื้นเป็นเวลานานขึ้น. เช่นเดียวกับการทดสอบหาค่าพื้นที่ผิวอนุภาค (ตารางที่ 2.5) นั้น ถ้าย่าง C, D และ F จะมีค่าต่ำกว่า 800 ตร.ม./ก. ถ้าย่างอื่นนั้นถ้ากราดตื้นที่ 400 °C. จะได้ค่าพื้นที่ผิวต่ำกว่า 1,000 ตร.ม./ก. แต่หากกราดตื้นที่ อุณหภูมิ 600 °C. จะได้ค่าสูงกว่า 1,300 ตร.ม./ก. จากการทดสอบผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยสารเคมี  $ZnCl_2$  พบว่า ถ้าย่าง A, B, E และ G จะให้ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ดีที่สุดเมื่อกราดตื้นที่ 600 °C. 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 ตร.ม./ก.
ค่า yield (ร้อยละของดินพูรุแห้ง)	48.7-54.2



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

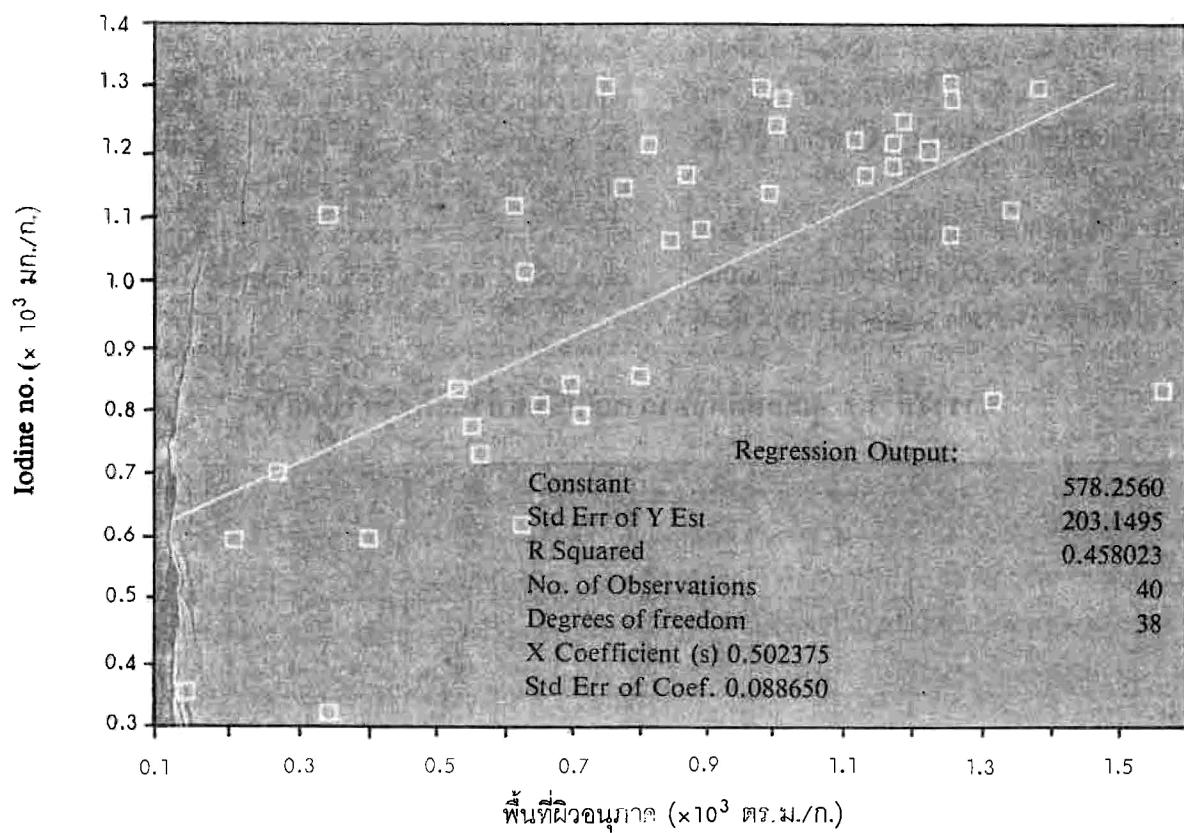
เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ชี้ผลิตจากคินพู กับถ่านกัมมันต์ชี้ผลิตขายในท้องตลาด (คุณารงที่ 3.1) พบว่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ยกเว้นค่า pH ซึ่งขึ้นกับเทคนิคการผลิต.

จากการทดสอบหาค่า iodine no., methylene blue adsorption และค่าพื้นที่ผิวน้ำของถ่านกัมมันต์ กว. ได้หากความสัมพันธ์ระหว่างค่า iodine no. และค่าพื้นที่

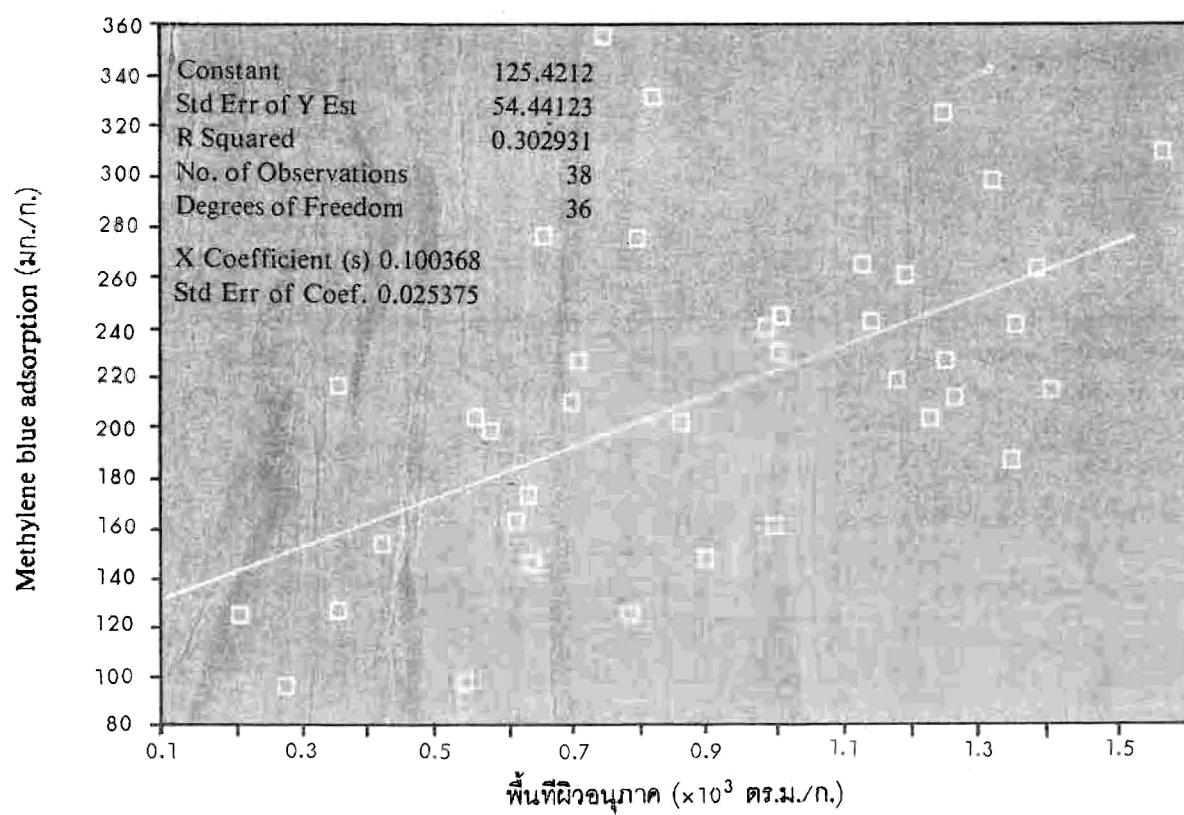
ผิวน้ำ และความสัมพันธ์ระหว่างค่า methylene blue adsorption และค่าพื้นที่ผิวน้ำดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ. จากรูปจะพบว่าค่าเหล่านี้มีความสัมพันธ์แบบตามกัน. แต่เนื่องจากความแปรปรวนและข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ จึงไม่ได้ค่าความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงดังนัก แต่ก็อาจใช้ค่าเหล่านี้แทนกันได้.

**ตารางที่ 3.1. คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ชี้ผลิตขายในตลาด.**

ชื่อและแหล่งของถ่านกัมมันต์	Iodine no. (มก./ก.)		Methylene blue adsorption (มก./ก.)		ความหนาแน่น (ก./มล.)		pH		พื้นที่ผิวน้ำ (ตร.ม./ก.)	
	จาก เอกสาร โดย วท.	วิเคราะห์ โดย วท.	จาก เอกสาร โดย วท.	วิเคราะห์ โดย วท.	จาก เอกสาร โดย วท.	วิเคราะห์ โดย วท.	จาก เอกสาร โดย วท.	วิเคราะห์ โดย วท.	จาก เอกสาร โดย วท.	วิเคราะห์ โดย วท.
1. บริษัท Calgon Corp (ประเทศไทย สร.อ.) - ชนิด CAL (เม็ด) (จากถ่านหินโดยใช้ไอน้ำ) - ชนิด BPL (เม็ด) (จากถ่านหินโดยใช้ไอน้ำ)	≥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. (ประเทศไทย) - TAIKO - TAIKO KW (จากวัสดุเดียว) - TAIKO PKW (จากวัสดุเดียว)	-	1,155	-	324	-	0.542	4.0	4.1	-	1,196
	-	1,106	110 (มล./ก.)	305	-	0.643	5.8	3.7	-	900
	-	1,875	-	331	-	0.605	4.7	3.1	-	1,364
3. บริษัท Takeda Chemical Industries Ltd. (ประเทศไทย) - SHIRASAGI "CW-20" (จากถ่านไม้กระดุนโดยใช้ไอน้ำ) - SHIRASAGI "E-16" (จากถ่านไม้กระดุนโดยใช้ไอน้ำ)	-	1,046	-	338	-	0.544	4.6	5.5	-	637
	-	922	-	201	-	0.666	9.12	10	-	539
4. บริษัทอุทุมพรเคมีคอล จำกัด (ประเทศไทย) - ชนิดผง <325 เมช (จากถ่านไม้กระดุนโดยใช้ไอน้ำ) - ชนิดเม็ด (12x40) (จากถ่านไม้กระดุนโดยใช้ไอน้ำ)	1,050	995	144	195	0.315	0.797	8.5	10	-	605
	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.

### 3.2 ผลการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพูโดยวิธีกราดด้วยไอน้ำ

ดินพูซึ่งการดูดด้วยไอน้ำที่ต้องผ่านกระบวนการการทำเป็นเม็ดขนาดใหญ่กว่า 4 mesh ทั้งนี้ เพื่อป้องกันการหุ้งกระหายและการพาไปของไอน้ำที่พ่นผ่านดิน ทำให้เกิดการสูญเสียและการอุดตันของท่อไอน้ำ. นอกจากนี้เม็ดถ่านดินพูเหล่านี้จะต้องผ่านกระบวนการ carbonization ที่ 500 °C. ประมาณ 1 ชม. ก่อน จึงนำไปกราดด้วยไอน้ำใน rotary kiln ต่อไป.

ตารางที่ 2.8 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาการกราดด้วยไอน้ำรวมถึงดินพูที่ผ่านกระบวนการ carbonization. จะพบว่าดินที่ผ่าน carbonization (yield ร้อยละ 45-52) มีค่า iodine no., methylene blue adsorption, และพื้นที่ผิวอนุภาคยังต่ำมาก, และเมื่อกราดด้วยไอน้ำแล้วจะมีค่าต่าง ๆ สูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อกราดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 °C. เป็นเวลา 4 ชม. จะให้ค่าสูงสุด กล่าวคือ :

Iodine no. 1,216 mg./g.

Methylene blue adsorption 296 mg./g.

พื้นที่ผิวอนุภาค (B.E.T.) 881 ตร.ม./g.

แต่ค่า yield จะต่ำมากเพียงร้อยละ 7.7 ของหนักดินพูแห้งเท่านั้น, ส่วนต่า pH สูงถึง 9.8 (ค่อนข้างคงที่เมื่อกราดด้วยไอน้ำที่ 900 °C.) และค่าความหนาแน่นเพียง

ตารางที่ 3.2. ผลการทดลองใช้ถ่านกัมมันต์ฟอกสีสารละลายกาแกน้ำตาล (molasses) และน้ำมันพีบ

0.363 g./ml. ซึ่งต่ำกว่าถ่านกราดด้วยสารเคมี  $ZnCl_2$ .

ค่า proximate analyses และความชื้นของถ่านมีแสดงในตารางที่ 2.9. พบว่าค่า fixed carbon ค่อนข้างคงที่ประมาณร้อยละ 89-92, ค่าสารระเหยร้อยละ 4.2-8.0, ค่าเด็ก้าร้อยละ 2.7-5.4, ส่วนค่า S นั้น น้อยกว่าร้อยละ 0.02. นอกจากนี้ต่างจากที่ 2.10 ยังแสดงเรื่องนาดของเม็ดดินพูในสภาพต่าง ๆ. พบว่าเม็ดดินพูหลดตัวมีขนาดเล็กลงภายหลังผ่านการ carbonization และการกราดด้วยไอน้ำ, โดยเฉพาะเมื่อใช้เวลาข้างานชั้น เม็ดดินพูที่มีขนาดเล็กลงมากขึ้น. อย่างไรก็ได้ จากผลการทดลองดังกล่าว พอกจะสรุปได้ว่า ถ่านดินพูซึ่งได้จากการกราดด้วยไอน้ำมีคุณสมบัติ (iodine no., methylene blue adsorption และพื้นที่ผิวอนุภาค) ด้อยกว่าถ่านซึ่งกราดด้วยสารเคมี  $ZnCl_2$  นอกจากนี้ค่า yield ของถ่านกราดด้วยไอน้ำยังต่ำมากด้วย.

### 3.3 ผลการทดลองการใช้ถ่านกัมมันต์ในการฟอกสีสารละลายกาแกน้ำตาล (molasses) และน้ำมันพีบ

ว. ได้ทดลองใช้ถ่านดินพูซึ่งผลิตได้และถ่านกัมมันต์ทางการค้ามาทดลองฟอกสีสารละลายกาแกน้ำตาล และน้ำมันพีบ โดยใช้วิธีการตั้งศูนย์ในภาชนะกว้าง 4 และได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.2.

ตัวอย่างถ่านกัมมันต์	ค่าสีสารละลาย กาแกน้ำตาล (ใช้ถ่านร้อยละ 1)	ค่าสีน้ำมันพีบ		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	0.0R 0.1Y	0.8R 10Y	0.7R 10Y	-
“CW-20”				
อุฐมพร (ชนิดผง)	0.9R 3.0Y	1.0R 20Y	0.9R 20Y	-
Merck (A.R. grade)	0.2R 0.1Y	0.7R 20Y	-	6
ดินฟอกสี	-	0.6R 5Y	0.0R 1.7Y	5

**ตารางที่ 3.3. รายการเครื่องมือและอุปกรณ์ใช้ใน  
โรงงานต้นแบบผลิตต่านกัมมันต์จากดินพู ขนาด 50-100 กก. ต่านกัมมันต์/วัน.**

ชื่ออุปกรณ์	ขนาดและวัสดุ	จำนวน	หมายเหตุ
1. Rotary dryer	เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ม. ยาว 3 ม. carbon steel บุ้ด้วย stainless steel	1	ร่วม cyclone และ insulator
2. Screw mixer	เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 ม. ยาว 1.5 ม. carbon steel บุ้ด้วยยาง	1	
3. Rotary dryer	เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ม. ยาว 3 ม. carbon steel บุ้ด้วย อิฐทนไฟ	1	
4. Rotary kiln	เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ม. ยาว 3 ม. carbon steel บุ้ด้วย อิฐทนไฟ	1	
5. Mixing tanks	เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 ม. สูง 2.5 ม.	3	
6. Filter press.	พื้นที่กรอง 6 ตร.ม.	1	
7. Rotary dryer	เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.30 ม. ยาว 1.5 ม. carbon steel บุ้ด้วย stainless steel	1	
8. Rod mill	อัตราส่วนการลดขนาด 50:1	2	
9. Vibrating screen	2 ชิ้น 0.5x1 ตร.ม.	2	
10. อื่น ๆ :	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อุปกรณ์ท่อ และปั๊ม</li> <li>- อุปกรณ์ไฟฟ้า</li> <li>- อุปกรณ์ควบคุม</li> </ul>		

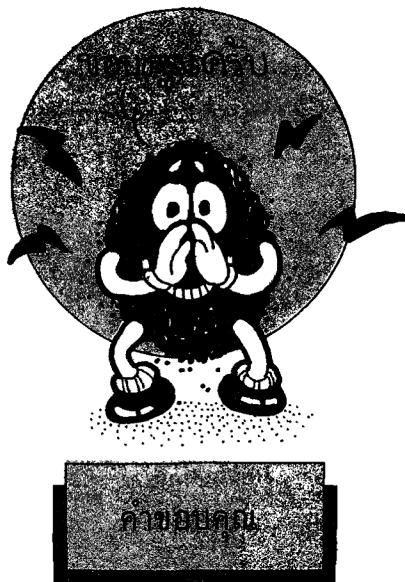
จากการจะพบว่า ต่านกัมมันต์ชั่งกระดุนด้วยสารเคมี  $ZnCl_2$  โดยใช้อัตราส่วน 1:4 ที่อุณหภูมิ 600 °C. เป็นเวลา 1 ชม. นั้น สามารถฟอกสีสารละลายทางการก้าวต้าลได้ดีเทียบเท่าหรือดีกว่าต่านกัมมันต์บางชนิดในท้องตลาด. อย่างไรก็ได้ การฟอกสีน้ำมันพีซีไม่ดีนัก, แต่ก็มีต่านกัมมันต์เชิงการค้าชั่งฟอกสีน้ำมันพีซีได้พอใช้เพียงชนิดเดียวคือ TAIKO PKW.

อย่างไรก็ได้ จากการทดลองฟอกสีน้ำมันพีซีด้วยดินฟอกสีน้ำ พบว่า ดินฟอกสีมีประสิทธิภาพในการฟอกสีน้ำมันพีซีได้ดี กว่าต่านกัมมันต์มาก. นอกจากนี้ วท. ได้ทดลองใช้ต่านกัมมันต์ชั่งกระบวนการลด pH โดยใช้  $Ca(OH)_2$  และไปฟอกสีน้ำมันพีซี แต่ก็พบว่าประสิทธิภาพการฟอกสีคงเดิม แม้ว่า pH ของน้ำมันหลังการฟอกจะเป็น 5 ก็ตาม.

เนื่องจากถ่านกัมมันต์ในท้องตลาดนั้นมีหลายชั้นคุณภาพ และใช้กับสารต่าง ๆ ทั้งที่เป็นของเหลว, แก๊สและไอต่อảng ดังสรุปในข้อ 1.1.3, ถ่านเหล่านี้จะมีคุณสมบัติต่าง ๆ และมีความเหมาะสมในการใช้กับสารและงานต่าง ๆ ดังกล่าว. การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการใช้งานโดยทั่วไปจึงเป็นได้ยาก นอกจากจะทดลองนำมาใช้กับสารหรืองานโดยตรงจึงจะกล่าวได้ว่า ถ่านกัมมันต์นั้นมีคุณสมบัติเหมาะสมแก่การใช้จริง ๆ. นอกจากนี้บางครั้งแม้ผู้ผลิตจะใช้วัดถูกดีและกระบวนการผลิตเดียวกัน แต่การควบคุมคุณภาพก็เป็นปัญหาทำให้ไม่สามารถผลิตถ่านกัมมันต์คุณสมบัติเหมือนเดิมได้ เมื่อจากปฏิกิริยาการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์นั้นเป็น heterogeneous reaction ซึ่งขับข้อนและยุ่งยากเกินกว่าที่จะเข้าใจโดยใช้ทฤษฎีง่าย ๆ ได้ จึงก่อให้เกิดปัญหาในการออกแบบเครื่องมือ,

การควบคุมสภาวะการผลิต, ตลอดจนคุณภาพของถ่านกัมมันต์ ซึ่งผลิตได้.

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



คณะผู้ดำเนินงานโครงการฯ ขอขอบคุณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ซึ่งได้ให้ทดลองใช้เครื่องมือ rotary kiln ตลอดจนร่วมมือในการทดลองการกระตุ้นถ่านดินพุ่ลด้วยไอน้ำ รวมถึง บริษัทอุทุมพรเคมีคอล จำกัด ซึ่งให้ข้อมูลและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานของโครงการฯ.

ในการทดลองนี้ คณะผู้ดำเนินงานได้รับตัวอย่างดินพุ่ลพร้อมข้อมูลการวิเคราะห์ จากสาขาวิชายุตสาหกรรมการผลิตงาน และความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ค่า proximate analyses รวมทั้งค่าอื่น ๆ จากห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ จึงครรชขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย.

นอกจากนี้คณะผู้ดำเนินงานขอขอบพระคุณ นายสมิทธิ์ คำเพิ่มพูน และ นางอุบลศรี เชี่ยวสกุล ซึ่งกรุณาให้ความสนใจและสนับสนุน พร้อมทั้งชี้แนะให้โครงการดำเนินงานสำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี.



- กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 1987. ถ่านกัมมันต์ (activated carbon). ข่าวกรมวิทยาศาสตร์บริการ. ฉบับที่ 107.  
มกราคม 2528. กรุงเทพฯ.
- กรมศุลกากร. 2525-2529. สถิติการนำเข้าและส่งออกของกรมศุลกากร. ปี 2525-2529. กรุงเทพฯ.
- กิจสวัสดิ์, อనุชิต. 2520. การศึกษาเรื่องการทำถ่านกัมมันต์จากกลบโดยใช้ซิงค์คลอยไรด์เป็นตัวกระตุ้น. กอง  
การวิจัย, กรมวิทยาศาสตร์บริการ. พฤหัสบดี 2520. กรุงเทพฯ.
- ธรรมรัตนพคุณ, อุ่รวรรณ. 2523. การศึกษาการทำถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำ.  
กองการวิจัย, กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กันยายน 2530. กรุงเทพฯ.
- มูลนิธิโภมลีมทอง. 2530. สมุนไพรชาวบ้าน. รวมความรู้จากผู้เชี่ยวชาญสมุนไพรตั้งแต่ปี 2523-2525. พิมพ์  
ครั้งที่ 2. กุมภาพันธ์ 2530. กรุงเทพฯ.
- โรหิตสุข, ทวีศักดิ์. 2520. การศึกษาเรื่องถ่านดูดซับ (activated carbon). รายงานฉบับที่ 1. Study no. 3.  
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.
- วิภาตแพทร์, วีโรจน์. 2518. ยุทธศาสตร์การผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีปฏิกิริยา (active carbon). ยุทธศาสตร์การ.  
ปีที่ 18 ฉบับที่ 3. มีนาคม 2518. กรุงเทพฯ.
- American Standard of Testing Materials. 1982. 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, C. H. 1980. PEAT, Industrial Chemistry and Technology. Academic Press, Inc.:  
London.
- Hassler, J. W. 1987. Activated Carbon. 1st. 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. 1967. Japanese industrial standard testing method for powdered  
activated carbon. (JIS K 1470-1967).
- Japanese Standards Association. 1975. Japanese industrial standard testing method for granular  
activated carbon. (JIS K 1474-1975).
- 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.
- Reilly, J. and O'Donoghue, J.R. 1941. Sci. Proc. R. Dublin Soc. 22 : 367-377. Materials
- Yehaskel, A. 1978. Activated Carbon, Manufacture and Regeneration. Noyes Data Corporation:  
New Jersey, U.S.A.

## การวัดอินดีโนมเบอร์

### 1. Iodine number

#### 1.1 เครื่องมือ

1.1.1 เทาอบ อุณหภูมิ 110 °ช.

1.1.2 ขวดแก้วปูกรวย ขนาด 250 มล.

1.1.3 กระดาษกรองวัตแม่นเบอร์ 42 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มม.

1.1.4 gravimeter

1.1.5 ปีเปต ขนาด 10 และ 50 มล.

1.1.6 นีกอร์

1.1.7 บิวเรตเตอร์

1.1.8 เครื่องคนแยกหลักไฟฟ้า

#### 1.2 สารละลายและวิธีเตรียม

1.2.1 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ 5 โดยปริมาตรผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ความหนาแน่น 1.19 กรัมต่อมล. จำนวน 5 มล. ในน้ำ 95 มล.

1.2.2 สารละลายน้ำโซเดียมไฮಡอกซิล 0.1 นอร์มัล ใช้ concentrated volume solution, sealed ampoule.

1.2.3 สารละลายน้ำโซเดียมไฮโดรเจนฟอฟฟิท 0.1

นอร์มัล ใช้ concentrated volume solution, sealed ampoule.

#### 1.2.4 สารละลายน้ำเบ็ง

ละลายน้ำ (soluble starch) 1 กรัมในน้ำเย็น

ให้อยู่ในลักษณะเหลวข้น เติมน้ำร้อนลงไป 100 มล. คนอย่างรวดเร็ว และทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง.

#### 1.3 วิธีวิเคราะห์

อบตัวอย่างถ่านกัมมันต์ ที่ 110 °ช. เป็นเวลา 3 ชม. ปล่อยให้เย็นในเดสิกเกเตอร์ แล้วหั่น 0.5 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วปูกรวยขนาด 250 มล. เติมกรดไฮโดรคลอริก (ข้อ 1.2.1) จำนวน 10 มล. แก้วงขวดแก้วจนกระทั้งตัวอย่างเปียกทั่วแล้วเติมสารละลายน้ำโซเดียมไฮดรอกซิล ไฟฟ้านาน 15 นาที. กรองสารละลายน้ำผ่านกรวยกรองโดยใช้กระดาษกรองวัตแม่นเบอร์ 42 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มม. ทิ้งสารละลายน้ำที่กรองได้ 20-30 มล.แรก, ส่วนสารละลายน้ำที่กรองได้ในช่วงหลัง ให้คนจนเข้ากันแล้วนำไปเปปดคุณภาพ 50 มล. นำไปไห้เทรททับบริมาน ไอโอดีนที่มากเกินพอกับสารละลายน้ำโซเดียมไฮโดรเจนฟอฟฟิท (ข้อ 2.1.3) โดยคนตลอดเวลาด้วยเครื่องคนแยกหลักไฟฟ้า เมื่อสารละลายน้ำเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน ให้เติมสารละลายน้ำเบ็ง (ข้อ 2.1.4) ประมาณ 1-2 มล. เพื่อเป็นอินดิเกเตอร์ แล้วไห้เทรทต่อโดยหยดสารละลายน้ำโซเดียมไฮดรอกซิล ไฟฟ้านาน 10 นาที ทิ้งหยดจนกระทั้งสีน้ำเงินหายไป. บันทึกปริมาณสารละลายน้ำโซเดียมไฮดรอกซิลที่นำไปมล.

#### 1.4 วิธีคำนวน

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

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

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

$$\frac{X}{m} = \text{ผลิตภัณฑ์ของไอโอดีนที่ถูกดูดซึบต่อภาระของถ่านกัมมันต์}$$

$$N_1 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายน้ำโซเดียมไฮดรอกซิล ไห้ไว้ในนอร์มัล เป็นนอร์มัล}$$

$$N_2 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายน้ำโซเดียมไฮดรอกซิล ไห้ไว้ในซัลเฟต เป็นนอร์มัล}$$

$$A = N_1 \times 12693.0$$

$$C = \text{ความเข้มข้นของสารละลายน้ำโซเดียมไฮดรอกซิล (residual filtrate)}$$

$$B = N_2 \times 126.93$$

$$D = \text{ค่าแก้ (correction factor) ตามตารางที่ ๘. ๑}$$



**ตารางที่ ผ.1. Correction factor สำหรับค่า iodine no.**

Residual filtrate normality <b>C</b>	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	<b>0.0006</b>	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**

ธรรมรัตนพุดน, อุไรวรรณ. 2523. การศึกษาการทำถ่านกัมมันต์จากถ่านกระดาษพืช 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. การฟอกสี Methylene Blue

### 2.1 เครื่องมือ

- 2.1.1 เตาอบ อุณหภูมิ 110 °ช.
- 2.1.2 ขวดแก้วรูปกรวย ขนาด 250 มล.
- 2.1.3 กระดาษกรองวัตถุเมน เบอร์ 42 ขนาดเล็บผ่าศูนย์กลาง 150 มม.
- 2.1.4 กรวยกรอง
- 2.1.5 นีเกอร์
- 2.1.6 เครื่องคนแม่เหล็กไฟฟ้า
- 2.1.7 Spectrophotometer

- Beckman DB-G grating spectrophotometer ของ Beckman Instruments, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา
- Bauch & Lomb Spectronic 21, ประเทศเยอรมนี

### 2.2 สารละลายและวิธีเตรียม

#### 2.2.1 สารละลาย methylene blue

อบ methylene blue ที่ 110 °ช. เป็นเวลา 3 ชม. ปล่อยให้เย็นในเดซิเกಟอร์ แล้วนำมามาลัยในน้ำกลันให้ได้ความเข้มข้น 0.8 กรัมต่อมล. หรือ 80 มก.ต่อ 100 มล. (A).

#### 2.3 วิธีสร้างกราฟส่วนเทียบ

เตรียมสารละลาย methylene blue ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 0.1-0.8 มก.ต่อ 100 มล. โดยใช้สารละลาย methylene blue ตามข้อ 2.2.1 นำไปวัดด้วย spectrophotometer ที่ 663 mμ. อ่านค่า absorbance แล้วสร้างกราฟ

### เอกสารอ้างอิง

กิตสวัสดิ์, อนุชิต. 2520. การศึกษาเรื่องการทำถ่านกัมมันต์จากแกลบ โดยใช้ชีคคลอไรด์เป็นตัวกระตุ้น. เอกสารทางวิชาการ, กรมวิทยาศาสตร์บริการ. หน้า 10-11. กรุงเทพฯ.

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

ลองเทียบระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของสารละลาย methylene blue.

### 2.4 วิธีวิเคราะห์

อบถ้าอย่างถ่านกัมมันต์ที่ 110 °ช. เป็นเวลา 3 ชม., ปล่อยให้เย็นในเดซิเกಟอร์ แล้วหั่น 0.2 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วรูปกรวยขนาด 250 มล. เติมสารละลาย methylene blue (ข้อ 2.2.1) จำนวน 100 มล. คนด้วยเครื่องคนแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิประมาณ 25 °ช. กรองส่วนผสมผ่านกรวยกรองโดยใช้กระดาษกรองวัตถุเมน เบอร์ 42 ขนาดเล็บผ่าศูนย์กลาง 150 มม. นำส่วนที่กรองได้ไปวัดด้วยใช้ spectrophotometer ที่ 663 mμ. อ่านค่า absorbance แล้วนำไปหาค่าความเข้มข้นของ methylene blue ที่เหลือจากการฟอกสีโดยใช้กราฟส่วนเทียบท่องข้อ 2.3 (B).

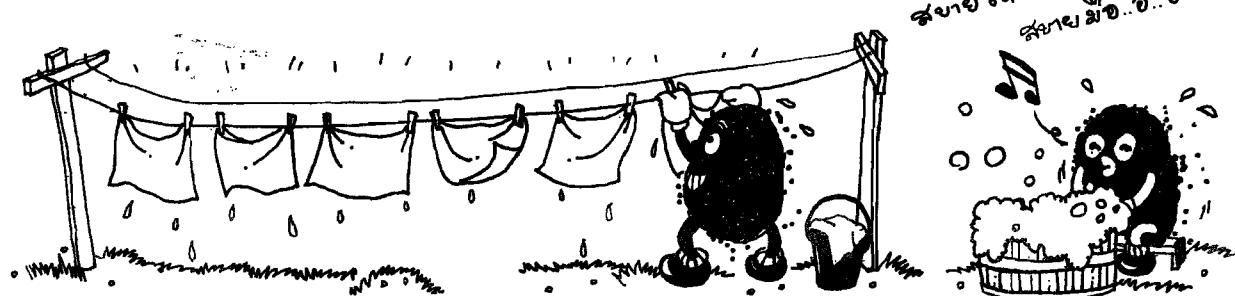
### 2.5 วิธีคำนวณ

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

A = ความเข้มข้นของสารละลาย methylene blue ก่อนถูกฟอกสี จากข้อ 2.2.1 มีค่า 80 มก. ต่อ 100 มล.

B = ความเข้มข้นของสารละลาย methylene blue ที่เหลือจากการฟอกสี อ่านค่าจากกราฟส่วนเทียบท่องข้อ 2.3.

m = น้ำหนักของถ่านกัมมันต์เป็นกรัมที่ใช้ฟอกสีสารละลาย methylene blue ความเข้มข้น 80 มก.ต่อ 100 มล. จำนวน 100 ㎖.



### 3. ความเป็นกรดด่าง (pH)

#### 3.1 เครื่องมือ

- 3.1.1 เทาอบ อุณหภูมิ 110 °ช.
- 3.1.2 บีเกอร์ ขนาด 100, 200 มล.
- 3.1.3 กระดาษกรองวัตต์แมน เบอร์ 42 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มม.
- 3.1.4 กรวยกรอง
- 3.1.5 Hot plate

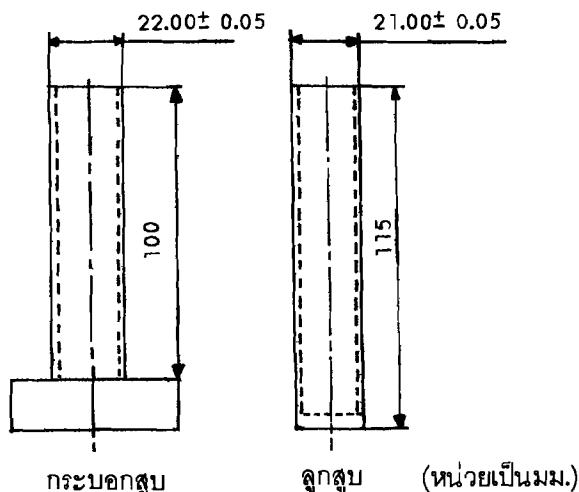
#### เอกสารอ้างอิง

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

ประกอบด้วยกระบอกสูบและลูกสูบทำด้วยโลหะ ดังแสดงในรูป ผ.1 กระบอกสูบ มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 22.00 ± 0.05 มม. และมีความยาวภายใน 100 มม. ลูกสูบมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในออก 21.00 ± 0.05 มม. ยาว 115 มม. และหนัก 190 กรัม.



รูปที่ ผ.1. กระบอกสูบและลูกสูบ.

#### 4.2 วิธีทดสอบ

ใส่ลูกสูบลงในกระบอกสูบที่สะอาดแล้วแห้ง ปล่อยให้ลูกสูบตกลงไปกองในกระบอกสูบ แล้ววัดความยาวของ

#### 3.1.6 pH meter, Metrohm glass electrode ของ Metrohm AG ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

#### 3.2 วิธีทดลอง

อบตัวอย่างถ่านกัมมันต์ ที่ 110 °ช. เป็นเวลา 3 ชม. ปล่อยให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ แล้วซับ 1 กรัม ใส่ลงในบีเกอร์ ขนาด 200 มล. เติมน้ำกลิ่น 100 มล. แล้วต้มให้เดือดบน hot plate เป็นเวลา 10 นาที. กรองในขณะร้อนโดยทิ้งส่วนที่กรองได้ 20 มล. แล้ว ส่วนที่กรองได้หลังจากนั้นให้ทำให้เย็นลงมาที่อุณหภูมิห้องก่อน จึงวัด pH โดย pH meter.

ลูกสูบที่ยืนอุกามาณอกกระบอกสูบให้ละเอียดถึง 0.01 ซม. เอาลูกสูบออก ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 ถึง 5 กรัม ที่กรอบน้ำหนักแม่นอนถึง 0.001 กรัม ค่อยๆ เขย่าหรือกระหุ้งกระบอกสูบ เพื่อให้ตัวอย่างอัดกันแน่น. ใส่ลูกสูบในกระบอกสูบ แล้ว ให้มือดันลูกสูบเบาๆ จนรู้สึกว่าลูกสูบแตะตัวอย่าง แล้วหมุนลูกสูบหนึ่งรอบ หรืออุนกระหุ้งตัวอย่างอัดกันแน่นจนปริมาตรของตัวอย่างในกระบอกสูบคงที่. วัดความยาวของลูกสูบที่ยืนอุกามาณอกกระบอกสูบให้ละเอียดถึง 0.01 ซม.

#### 4.3 วิธีคำนวณ

##### ความหนาแน่นเชิงปริมาตร

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

เมื่อ  $m$  คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ เป็นกรัม

$h_2$  คือ ความยาวของลูกสูบ ที่ยืนอุกามาณอกกระบอกสูบ เมื่อมีตัวอย่างอยู่ในกระบอกสูบ เป็นซม.

$h_1$  คือ ความยาวของลูกสูบ ที่ยืนอุกามาณอกกระบอกสูบ เมื่อไม่มีตัวอย่างในกระบอกสูบ เป็นซม.

$d$  คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของกระบอกสูบ เป็นซม.

## ເລກສ່າງອ້າງອີງ

ສໍານັກນາມຕຽບຮູບຜົດກັນທຸລຸດສາທາກການ ກະທຽວອຸດສາທາກການ. 2525. ນາທຽບຮູບຜົດກັນທຸລຸດສາທາກການແຄລເບີມ  
ການບອນເນດສໍານັບຄຸດສາທາກການຍາງ. ມອກ. 402-2525. ກູງເຖິງ.

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

#### 5.1 ເຄື່ອງມືອ

5.1.1 ເຫັນ ອຸນຫກູມ 110 °C.

5.1.2 ເຄື່ອງມືອສໍານັບຄຸດເຄຣາໜ້າ specific surface area ຂອງຂອງແຈ້ງ ໂດຍກະບວນກາຮູດຫັບໃນໂຕຣເຈນ area meter II ຂອງ Ströhlein Instruments ປະເທດເຍອຣົມນີ ພຣັນມອຄູປ່ກຣນ ປະກອບກາຮົວເຄຣາໜ້າຕາມຄໍແນະນຳໃນຄູ່ມືອ ກາຣໃຊ້ເຄື່ອງມືອນີ້.

#### 5.2 ທັດກາຮົວເຄຣາໜ້າ

ຂອງເບັງມີຄຸນສົມບັດໃນກາຮູດຫັບໄມ້ເລຸດຂອງແກ້ສ ທີ່ປະເລີນພື້ນຝົວ. ປົມານັນຂອງແກ້ສທີ່ຄຸດຫັບຈະກ່ອໃຫ້ເກີດກາເປີ່ມແປລງຂອງການກົດດັນເຊື່ອສາມາດວັດໄດ້ແລະນຳໄປຄໍານວນຄ່າ specific surface area ໄດ້ໃຫຍ້ໃຊ້ Nomogram. ວິທີກາຮົວເຄຣາໜ້າໃຊ້ adsorption vessels ແກ້ວ 2 ໃນ ທີ່ມີມີມາຕະເທກັນໄດ້ໃນໜຶ່ງນຶ່ງນຽມ ແລະ ອົກໃນໜຶ່ງນຶ່ງນຽມ ດັ່ງນີ້ແມ່ນການແປລ່າ. ການນະທັງສອງແຈ້ງໄວ້ໃນ water bath ເພື່ອກວບຄຸນອຸນຫກູມ. ຜ່ານແກ້ສໃນໂຕຣເຈນອຮມດາລັງໄປໃນການນະທັງສອງກາຍໃຫ້ການກົດດັນປັດທີ່ອຸນຫກູມທີ່ອ້າງ ຫຼຶ້ງອາຈາກວຸມດີໃດຢ່າງການນະທັງສອງກາຍໄດ້ການກົດດັນປັດທີ່ອຸນຫກູມທີ່ອ້າງ ຫຼຶ້ງອາຈາກວຸມດີໃດຢ່າງການນະທັງສອງເຢັນຈັດໃນ cold bath ທີ່ບຽງໃນໂຕຣເຈນແລວໄວ້. ອອຈນ pressure difference ສື່ງອ່ານໄດ້ຈາກ differential manometer ມີຄ່າຄົງທີ່ (ປະມານ 10 ນາທີ) ສື່ງອ່ານໃນຂ່າງ 50-300 mm ຈຶ່ງອ່ານຄ່າທີ່ໄດ້ ແລ້ວນຳໄປຄໍານວນ specific surface area ຕ່ອໄປ.

#### 5.3 ວິທີເຕີຍມີຕົວຢ່າງ

ອັບຕົວຢ່າງດ່ານກົມມັນທີ່ 110 °C. ເປັນເວລາ 3 ຊົນ, ປລ່ອຍໃຫ້ເຢັນໃນເດີກເຄເຕອຣ ແລ້ວຂໍ້ 0.02-0.05 ກຣມ ໃສ່ລັງ

ໃນ adsorption vessel. ວາງ adsorption vessel ທີ່ບຽງຕົວຢ່າງໄວ້ນີ້ລັງໃນ heating thermostat, ອຸນຕົວຢ່າງທີ່ອຸນຫກູມ 150 °C. ໃນຂະນະທີ່ໄປແກ້ສໃນໂຕຣເຈນອຮມດາທີ່ກວາມກົດດັນ 760 mm ເປັນເວລາປະມານ 45 ນາທີ ເພື່ອຈັດໄມ້ເລຸດໆ ຢູ່ອັນແກ້ສໃນໂຕຣເຈນ. ດູດຫັບອູ້ບູນພື້ນຝົວຂອງຕົວຢ່າງກ່ອນທຳກາງທົດຄອງ.

#### 5.4 ວິທີເຄຣາໜ້າ

ຕິດ adsorption vessels 2 ໃນ ເຫັນຕົວຢ່າງວັດ pressure difference ທີ່ມີ differential manometer ປະກອບອູ້, ໂດຍມາຮັນໃນໜຶ່ງນຽມຕົວຢ່າງ (ຫຼັບ 5.3) ແລະ ອົກໃນໜຶ່ງນຶ່ງນຽມເປົ່າໄວ້ໃນ water bath ເພື່ອກວບຄຸນອຸນຫກູມ. ຜ່ານແກ້ສໃນໂຕຣເຈນອຮມດາລັງໄປໃນການນະທັງສອງກາຍໃຫ້ການກົດດັນ 760 mm ເປັນເວລາ 15 ນາທີ. ລັດຈາກນັ້ນທຳໃຫ້ການນະທັງສອງເຢັນຈັດໃນ cold bath ທີ່ບຽງໃນໂຕຣເຈນແລວໄວ້. ອອຈນ pressure difference ສື່ງອ່ານໄດ້ຈາກ differential manometer ມີຄ່າຄົງທີ່ (ປະມານ 10 ນາທີ) ສື່ງອ່ານໃນຂ່າງ 50-300 mm ຈຶ່ງອ່ານຄ່າທີ່ໄດ້ ແລ້ວນຳໄປຄໍານວນ specific surface area ຕ່ອໄປ.

#### 5.5 ວິທີຄໍານວນ

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

Sg = Specific surface area ( $m^2/g$ )

A = Coefficient ຈາກ Nomogram

$\Delta h$  = Pressure difference on manometer (mm)

m = ນໍ້າໜັກຂອງຕົວຢ່າງ (g)

## ເລກສ່າງອ້າງອີງ

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

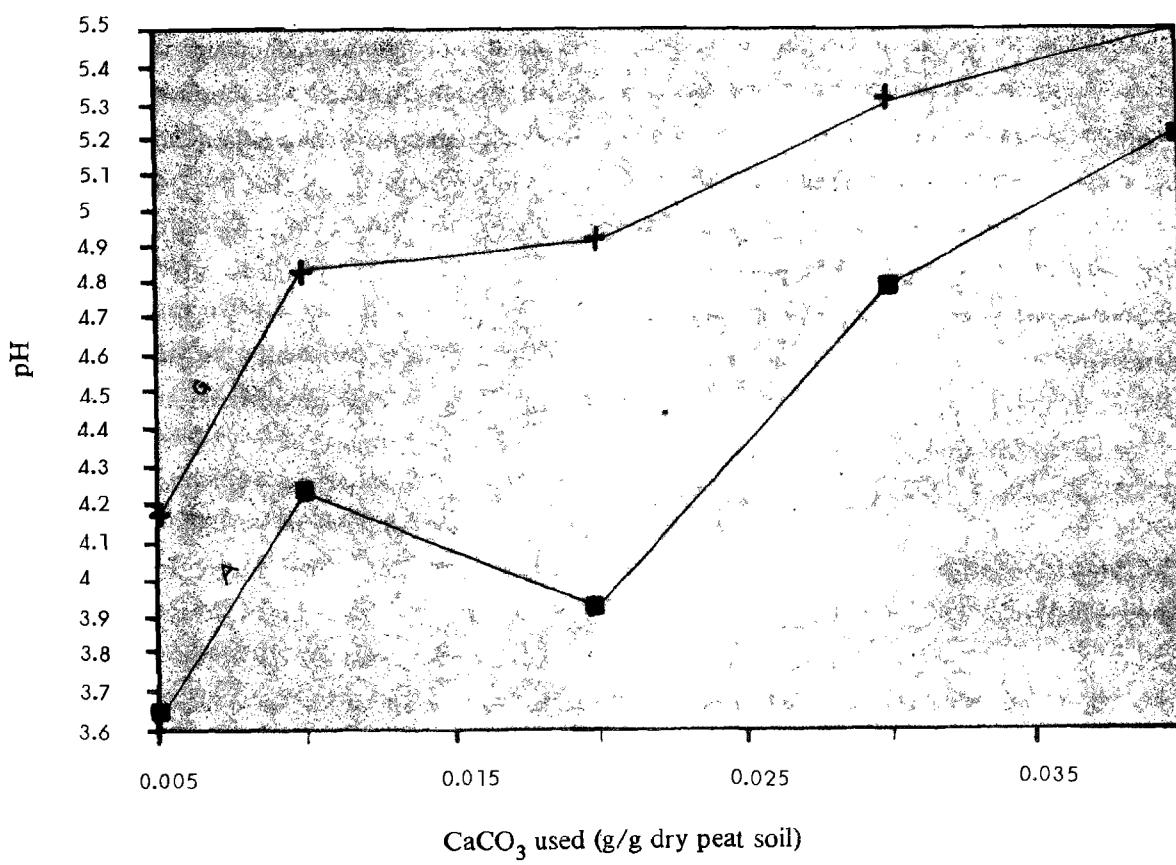
**ภาคผนวก 2**  
**การทดสอบคุณภาพเป็นกรดของดินพรุและตัวอย่างที่ผลิตจากดินพรุ**

1. การลดความเป็นกรดของดินพรุ ได้ทดลองโดยใช้สารเคมี  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{Ca(OH)}_2$  ดังนี้:

1.1 ใช้  $\text{CaCO}_3$  ได้ผลดังแสดงในตารางที่ ผ.2 และรูปที่ ผ.2.

**ตารางที่ ผ.2. การเปลี่ยนแปลงของ pH ของดินพรุ เมื่อใช้ปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  ต่าง ๆ.**

ปริมาณ $\text{CaCO}_3$ ที่ใช้ (กรัม/กรัมของดินพรุที่แห้ง)	pH	
	ตัวอย่างที่ดินพรุ	
	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

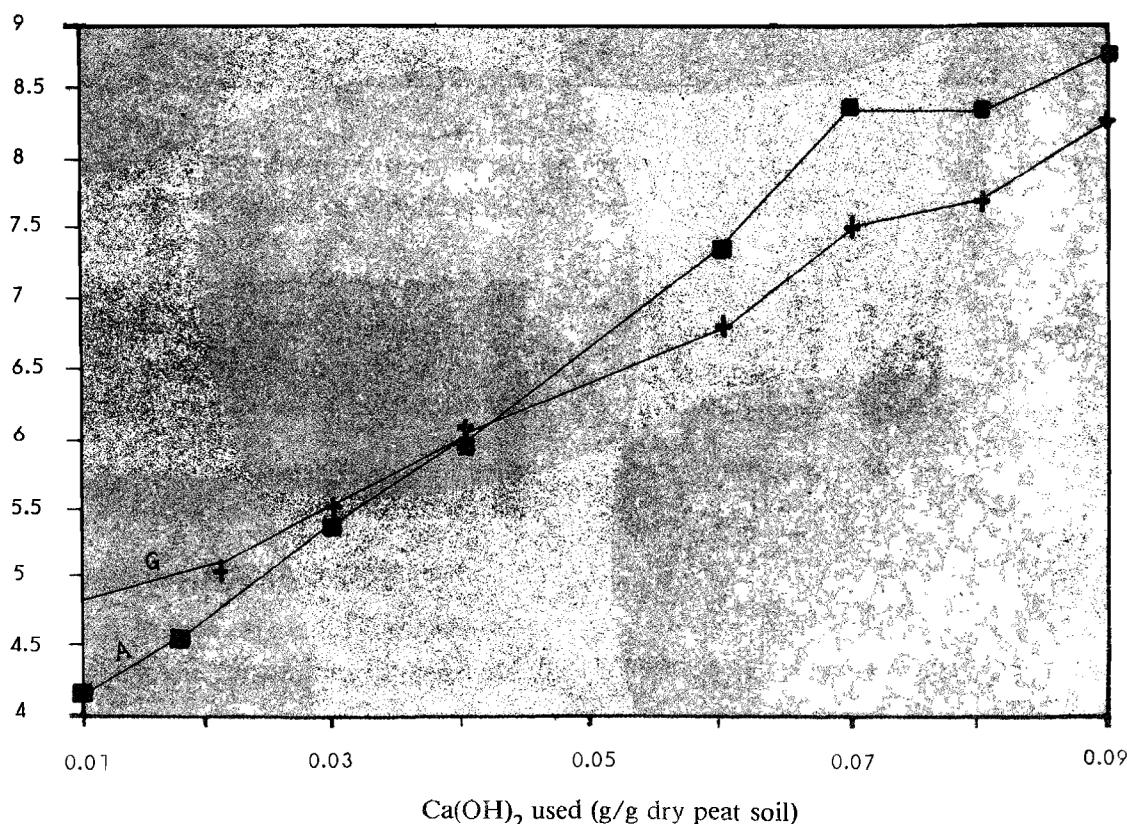


**รูปที่ ผ.2. การเปลี่ยนแปลงของ pH ของดินพรุ เมื่อใช้ปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  ต่าง ๆ.**

1.2 ใช้  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ได้ผลดังแสดงในตารางที่ ผ.3 และรูปที่ ผ.3.

**ตารางที่ ผ.3. การเปลี่ยนแปลงของ  
pH ของดินพุ เมื่อใช้ปริมาณ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ต่าง ๆ.**

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ ที่ใช้ (กรัม/กรัมของดินพุแห้ง)	pH	
	ตัวอย่างที่ดินพุ	
	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 ผ.3. การเปลี่ยนแปลงของ pH ของดินพุ เมื่อใช้ปริมาณ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ต่าง ๆ

## 2. การทดสอบความเป็นกรดของถ่านกัมมันต์ผลิตจากดินพุ

หลังจากล้างถ่านที่ได้จนหมด  $ZnCl_2$  แล้ว ให้เติม

สารละลายด่าง 200 มล. กวนประมาณ 5 นาที จึงนำไปกรองและล้างด้วยน้ำกลันจนค่า pH คงที่ แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ  $150^{\circ}\text{C}$ . ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ ผ.4.

ตารางที่ ผ.4. คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์หลังจากปั้น pH ด้วยสารละลายด่างต่าง ๆ.

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

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บแสดงถึงสภาวะการทดลอง คือ อัตราส่วนของดินต่อสารเคมี  $ZnCl_2$  (เข้มข้นร้อยละ 60), อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) และเวลา (ช.ม.) ในการกรตะตู้ตามลำดับ.



ภาคผนวก 3  
การทดสอบความเข้มข้นของ methylene blue  
ที่นำไปทดสอบในภาระน้ำเสีย

methylene blue adsorption

วิธีหาระบิมานความเข้มข้นของ methylene blue ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการหาค่า methylene blue adsorption ดังการทดสอบในภาคผนวก 1 นั้น ทำโดยแบ่งความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย เป็น 0.4, 0.8 และ 1.2 กรัม/ลิตร สารละลาย methylene blue และไขสารละลายนี้ 100 มล. ใน การทดสอบหาค่า adsorption ของถ่านกัมมันต์ ตามวิธีการทดสอบในภาคผนวก 1 และมีผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ ผ.5.

**ตารางที่ ผ.5. ผลการทดลองพาริณาณความเข้มข้น methylene blue ที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการพิจารณา methylene blue adsorption.**

ความเข้มข้นของสารละลายน้ำหนักถ่านกัมมันต์ชั้นดังของ บ.อุทุมพรฯ (กรัม/ลิตร)	น้ำหนักถ่านกัมมันต์ชั้นดังของ บ.อุทุมพรฯ (กรัม)	น้ำหนัก methylene blue ในสารละลายน้ำหนัก 100 มล. (กรัม)	Methylene blue adsorption (มก./กรัม)
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.

**การทดลอง 4  
วิธีการทดลองฟอกสีสารละลายน้ำตาล (molasses) ด้วยน้ำมันพืช**

**1. วิธีการทดลองฟอกสีสารละลายน้ำตาล (molasses)**

**เครื่องมือ**

- เครื่องซึ่งอย่างละเอียด
- Lovibond tintometer และเซลล์แบบแสงผ่านขนาด 1 นิ้ว
- เตาอุ่นให้ความร้อน (heater) พร้อมเครื่องควบคุมอุณหภูมิ 100-105 °C. กวนทึบไว้ประมาณ 5 นาที
- บีเป็ต ขนาด 50 มล.

**วัสดุ**

- สารละลายน้ำตาล เนื้อข้นร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก
- ผงถ่านกัมมันต์ที่อบแห้งแล้ว

**วิธีทดลอง**

- ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่อบแห้ง 0.5 กรัม ใส่ในบีเกอร์
- ใส่สารละลายน้ำตาลจำนวน 50 มล. ในบีเกอร์ที่เตรียมไว้
- おくให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 100-105 °C. กวนทึบไว้ประมาณ 5 นาที ใช้กระดาษอะลูมิเนียม หรือ

watch glass ปิดเพื่อกันน้ำระเหยออกไป

- กรองสารละลายน่าจะด้วยกระดาษกรอง
- นำสารละลายน้ำที่กรองได้ไปวัดสีด้วยเครื่อง tintometer อ่านค่าเทียบกับสีสารละลายน้ำตามที่ก่อนฟอก

## 2. วิธีการทดลองฟอกสีน้ำมันพืช

### เครื่องมือ

- เครื่องรีซอร์บบิลิตี้เดย์ด
- Lovibond tintometer และเซลล์แบบแสงผ่านขนาด 1 นิว
- เตาอุ่นให้ความร้อน (heater) พร้อมเครื่องควบคุม
- บีเกอร์
- กรวยกรอง Buschhner พร้อม suction flask
- กระดาษกรอง เมอร์ 42

### สาร

- น้ำมันดầuเหลืองที่ผ่านการ refine แล้ว แต่ยังไม่ได้ฟอกสี
- Diatomaceous earth
- ผงถ่านกัมมันต์ที่อบแห้งแล้ว

### วิธีทดลอง

- ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่อบแห้งแล้ว 1.0 หรือ 3.0 g. แล้วแต่สภาวะการทดลองที่กำหนดใส่ในบีเกอร์
- เติมน้ำมันพืชลงในบีเกอร์ 100 g.
- คุณน้ำมันให้ความร้อนจนถึง 100-105°C. กวนทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที
- เติม diatomaceous earth ประมาณ 3 g.
- กรองน้ำมันด้วยกรวย Buschhner
- นำน้ำมันที่กรองได้ไปวัดสีด้วยเครื่อง tintometer อ่านค่าเปรียบเทียบกับสีน้ำมันพืชก่อนฟอก.

