

การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

ปริญญานิพนธ์

ของ

ชลสิทธิ์ กสิพล

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2553

การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

ปริญญานิพนธ์

ของ

ชลสิทธิ์ กสิพล

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2553

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

บทคัดย่อ
ของ
ชลสิทธิ์ กสิพล

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม
พฤษภาคม 2553

ชลสิทธิ์ กสิพล. (2553). การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม.

ปริญญาณิพนธ์ วศ.ม.(วิศวกรรมศาสตร์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย

ศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: ดร.วิชากร จารุศิริ, ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม โดยมีวัตถุประสงค์คือ ศึกษาเทคโนโลยีกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมัน รวมถึงสภาพทั่วไปและการใช้ประโยชน์จากถ่านกัมมันต์ เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการเงินและการลงทุนของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม การวิเคราะห์โครงการ ใช้หลักการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการ (Cost benefit analysis) มีเกณฑ์การตัดสินใจลงทุน คือ การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันของผลได้สุทธิ อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ อัตราผลตอบแทนค่าใช้จ่าย และวิเคราะห์ทางด้านความอ่อนไหวของโครงการ โดยต้นทุนประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการลงทุน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา ค่าเสียโอกาสของกะลาปาล์ม ค่าเสียโอกาสที่ดิน และต้นทุนค่าขนส่งเชื้อเพลิง โดยผลประโยชน์ประกอบด้วย ผลประโยชน์จากการขายถ่านกัมมันต์ จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อกำหนดให้ราคาขายถ่านกัมมันต์ของโครงการเท่ากับราคาขายในท้องตลาด ราคาชนิดผงตันละประมาณ 100,000 บาท ส่วนชนิดเม็ดราคาตันละประมาณ 20,000 – 60,000 บาท แล้วนำมาวิเคราะห์โครงการ แสดงค่าให้เห็นว่า โครงการนี้เหมาะสมที่จะลงทุน

A FEASIBILITY STUDY FOR PRODUCING ACTIVATED CARBON FROM PALM SHELL

AN ABSTRACT
BY
CHONSITTI KASIPOL

Presented in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Master of Engineering Degree in Engineering Management
at Srinakharinwirot University

May 2010

Chonsitti Kasipol. (2010). *A Feasibility Study for Producing Activated Carbon from Palm Shell*. Master thesis, Eng.M. (Engineering Management). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Dr. Witchakorn Charusriri, Dr. Kittisatsapornprasath.

The research aims to study a feasibility analysis on finance and investment of producing activated carbon from palm shells. Which focuses on a technology of manufacturing process and benefits activated carbon. Using cost-benefit analysis to main an investment decision. A set of key indicators also including Net Present Value, Benefit-Cost ratio, Financial Internal Rate of Return and Sensitivity analysis. Cost structure will include mainly Investment cost, Operating and maintenance cost, Palm shell forgone, Land forgone and Transportation cost. On the other hand, benefits will include income from selling of activated carbon. The result shows that the satisfactory is obtained. The price of activated carbon is about 100,000 per ton of powder, and 20,000 – 60,000 per ton of pills which is equal to a market value approach.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม
ของ
ชลสิทธิ์ กสิพล

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
วันที่ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2553

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน
(ดร.วิชากร จารุศิริ)

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ)

..... กรรมการ
(ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์)

.....กรรมการ
(ดร.วิชากร จารุศิริ)

.....กรรมการ
(ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิจิตรานต์)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย
จาก
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ดร.วิชากร จารุศิริ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษาอันเป็นแนวทางในการทำวิจัยและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ปลุกฝังให้ผู้วิจัยมีความมานะพยายามและรักการทำงาน สนับสนุนให้โอกาสให้กำลังใจและเป็นแบบอย่างที่ดีแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด ขอขอบคุณ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้แนะนำข้อคิดเกี่ยวกับการทำงานวิจัย วิธีการเขียนวิทยานิพนธ์ ตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์นี้อย่างเอาใจใส่ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ และ รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่สนับสนุนทุนวิจัยจนกระทั่งสามารถดำเนินงานสำเร็จ ลุล่วงตามวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณในความกรุณาของคณาจารย์สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรมทุกท่านไว้เป็นอย่างสูง ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่เพื่อนนิสิต รุ่นพี่และรุ่นน้องในภาควิชาการจัดการทางวิศวกรรมทุกคน ซึ่งไม่ได้อ้างชื่อในที่นี้สำหรับความร่วมมือ ความช่วยเหลือทั้งกำลังกาย และกำลังใจที่มีให้อย่างเสมอ

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณพ่อ แม่ พี่ น้อง และทุกคนที่เป็นกำลังสำคัญในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ชลลลลลลลลลลล

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จากสถานการณ์พลังงานของโลกที่มีความต้องการใช้พลังงานสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และสถานการณ์ราคาพลังงานที่มีความผันผวนอย่างรุนแรงในช่วง 2 – 3 ปีที่ผ่านมา ทำให้ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่ต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศถึงร้อยละ 80 ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์พลังงานและภาวะเศรษฐกิจที่เกิดการชะลอตัวในช่วงปีที่ผ่านมา

หน่วยงานของรัฐและเอกชนได้มีความพยายามในการผลิตเชื้อเพลิงอื่นมาใช้ทดแทน จึงได้เกิดมาตรการหลายๆ อย่างขึ้น เช่น ยุทธศาสตร์ไบโอดีเซลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน โดยวัตถุประสงค์ที่นำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลที่เหมาะสม คือ น้ำมันปาล์ม น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว และไขมันสัตว์ นอกจากนี้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เป็นอีกหน่วยงานหนึ่งที่ได้รับมอบหมายให้ส่งเสริมยุทธศาสตร์ไบโอดีเซล โดยมีสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรเป็นหน่วยงานที่จัดทำแผนพัฒนาอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม 5 ปี (ปี 2551-2555) ในแผนดังกล่าวจะส่งเสริมเกษตรกรปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ที่เหมาะสมตามที่กระทรวงเกษตรประเมินจำนวนปีละ 500,000 ไร่ รวม 2.5 ล้านไร่ การปลูกปาล์มน้ำมันทดแทนสวนปาล์มเก่าอีกปีละ 100,000 ไร่ รวม 5 แสนไร่ จากปัจจุบันทั่วประเทศมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันที่ให้ผลผลิตแล้ว 2 ล้านไร่ ให้ผลผลิตปาล์มดิบ 5.2 ล้านตัน น้ำมันปาล์มดิบ 860,000 ตัน นอกจากการเพิ่มพื้นที่ปลูกยังมีเป้าหมายในการเพิ่มผลผลิตต่อไร่จากเฉลี่ย 3 ตันต่อไร่ในปัจจุบัน เป็น 3.5 ตันต่อไร่ และเพิ่มอัตราน้ำมันจาก 17% เป็น 18% อีกด้วย จึงคาดว่าอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันในประเทศจะขยายตัวอย่างมากทำให้ในแต่ละปี และจะมีวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเป็นจำนวนมาก เช่น กะลาปาล์ม เพื่อเป็นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ควบคู่ไปกับลดภาระในการกำจัด รวมถึงเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน การนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ จึงอาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างเหมาะสมไปพร้อมกับการเพิ่มมูลค่า

ถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งตามลักษณะรูปร่าง ได้ 2 ชนิด คือ ชนิดผงละเอียดและชนิดเม็ด หรือเกล็ดชนิดผงละเอียดสามารถกระจายตัวในน้ำได้ดี ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ชนิดเม็ดหรือเกล็ดสามารถนำกลับมา Re-used เพื่อนำกลับมาใช้ในครั้งต่อไปได้ โดยถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดสามารถนำมาใช้ประโยชน์ ที่แตกต่างกันไปในหลายอุตสาหกรรม จำแนกได้ดังนี้

1. ชนิดที่เป็นผงละเอียด นำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารละลายหรือของเหลวได้แก่

1.1 อุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล ใช้ในการฟอกสีและทำให้น้ำตาลบริสุทธิ์ขึ้น
1.2 อุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันพืชสำหรับการบริโภค ใช้ในการฟอกสีและทำให้มีรสดีขึ้น

1.3 อุตสาหกรรมอาหาร ใช้ในการฟอกสีและดูดกลิ่น
1.4 อุตสาหกรรมเครื่องดื่มและแอลกอฮอล์ เช่น วิสกี้ ไวน์ น้ำอัดลม ใช้ในการดูดซับกลิ่นและทำให้รสชาติดีขึ้น

1.5 อุตสาหกรรมทำน้ำให้บริสุทธิ์ เช่น น้ำดื่ม น้ำประปา

2. ชนิดที่เป็นเม็ด หรือ เกล็ด ใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ หรือการทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์ขึ้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เช่น

2.1 อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ ใช้ในการดูดซับก๊าซต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย

2.2 อุตสาหกรรมการทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ ทั้งที่ใช้กันโดยทั่วไปและในด้านการทหาร เพื่อการดูดซับก๊าซพิษและไอของสารพิษ

2.3 อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และจะคายออกที่ความดันของ ไอระเหยต่ำๆ เช่น อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมยาสีงเคราะห์ อุตสาหกรรมการพิมพ์ เป็นต้น

2.4 อุตสาหกรรมการผลิตบู่หรือขี้เถ้า เพื่อกรองก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และน้ำมันดิน (tar) โดยนำถ่านกัมมันต์มาไว้ที่ก้นกรอง

เทคโนโลยีในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือขั้นตอนแรกคือการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่านหรือการเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนในโครงสร้าง เรียกขั้นตอนนี้ว่า คาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) โดยการให้ความร้อนในการเผาประมาณ 300-600 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเพื่อกำจัดองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ระเหยง่าย ขั้นตอนที่สองคือการนำถ่านไปเพิ่มคุณภาพด้วยเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ เรียกขั้นตอนนี้ว่า การกระตุ้น (Activation) โดยการ

กระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ภายใต้อุณหภูมิประมาณ 600-1200 °C แบ่งได้เป็นสองวิธีคือการกระตุ้นทางเคมีและการกระตุ้นทางกายภาพ

1. วิธีกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activation) คือการกระตุ้นโดยใช้สารเคมี ตัวกระตุ้นที่นิยมใช้คือ ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) หรือโปแตสเซียมไซยาไนด์ (KCNS) ส่วนสารเคมีชนิดอื่นที่เป็นกรดมี กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) หรือกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ที่เป็นด่างจะเป็นไฮดรอกไซด์ของพวกโลหะอัลคาไลนอกจากนี้ยังมีแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl_2) หรือแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)

ข้อดีของการใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้น คือการแทรกซึมได้ทั่วถึง ได้รูพรุนของถ่านกัมมันต์ค่อนข้างกว้างชนิดที่เรียกว่า Micro pore และใช้อุณหภูมิในการเผาไม่ต้องสูงมาก แต่มีข้อเสียตรงที่จะต้องล้างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นซึ่งติดมากับถ่านกัมมันต์นั้นออกให้หมด ไม่ให้เหลือตกค้างอยู่เลย เพื่อความปลอดภัยในการนำไปใช้งาน จึงนับว่าเป็นการสิ้นเปลืองทั้งเวลาและแรงงาน นอกจากนี้สารเคมีบางชนิดที่ยังมีฤทธิ์กัดกร่อนภาชนะบรรจุหรือเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต เป็นเหตุให้อายุการใช้งานของภาชนะเหล่านั้นสั้นไม่นานเท่าที่ควร ดังนั้นการผลิตด้วยวิธีนี้จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ภาชนะที่ผลิตด้วยวัสดุชนิดพิเศษที่ทนกรดหรือด่าง

2. วิธีการกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation) คือ การกระตุ้นโดยใช้ก๊าซเป็นตัวกระตุ้นที่นิยมใช้คือ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ส่วนก๊าซชนิดอื่นมี ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) หรือคลอรีน (Cl_2) เป็นต้น

ข้อดีของการใช้วิธีนี้คือหลังจากการกระตุ้นจนได้ถ่านกัมมันต์แล้ว สามารถนำไปใช้ได้เลยทันที ไม่ต้องมีปัญหาในการล้างสารที่เหลืตกค้าง เพราะไม่มีสารที่อาจจะเป็นอันตรายติดไป ข้อเสียคือต้องใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นค่อนข้างสูงกว่าวิธีแรก เพราะไอน้ำที่ใช้จะต้องเป็น super heated steam ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเหมือนกัน สำหรับรูพรุนของถ่านที่ได้จะเล็กกว่าชนิดที่ผลิตด้วยวิธีแรก รูพรุนแบบนี้เรียกว่า Micro pore ซึ่งเหมาะสำหรับดูดกลืนไอหรือก๊าซพิษได้ดี

จากประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ จึงเป็นโอกาสที่จะแปรรูปวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม คือ กะลาปาล์ม มาใช้ประโยชน์ โดยจะเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านการลงทุน โดยอาศัยข้อมูลทุติยภูมิเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านการลงทุน โดยคาดว่าจะใช้เป็น

ข้อมูลเพื่อประกอบการพิจารณาการตัดสินใจของผู้ประกอบการในการลงทุน และใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการกำหนดแนวทางการวางแผนจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาเทคโนโลยีกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม
2. เพื่อศึกษาสภาพทั่วไปและการใช้ประโยชน์จากถ่านกัมมันต์
3. เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการลงทุนของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นไปได้ในการสร้างโรงงาน เพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ในประเทศไทย โดยเลือกใช้กะลาปาล์มเป็นวัตถุดิบ
2. เพื่อนำข้อมูลต่างๆ ที่ได้มาสรุปเพื่อใช้เป็นข้อมูล ประกอบการตัดสินใจแก่ผู้ที่สนใจลงทุนสร้างโรงงานเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ในประเทศไทย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การศึกษาในครั้งนี้จะทำให้ทราบถึงเทคโนโลยีการและกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม รวมถึงสภาพทั่วไปและการใช้ประโยชน์จากถ่านกัมมันต์ อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อประกอบการพิจารณาการตัดสินใจของผู้ประกอบการในการลงทุน และใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการกำหนดแนวทางการวางแผนจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

ขั้นตอนในการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูล งานวิจัยที่ผ่านมา และการทบทวนวรรณกรรม (Literature review)
2. การเก็บรวบรวมข้อมูล ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้
 - 2.1 ประเภทข้อมูล (Data) ข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษาค้างนี้ เป็นข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ ดังนี้
 - สภาพทั่วไปของการผลิตและการใช้ประโยชน์จากถ่านกัมมันต์ในอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน

- ข้อมูลด้านเทคโนโลยีการผลิตถ่านกัมมันต์ในอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน
- สภาพทั่วไปและความเป็นมาของงานวิจัย
- ต้นทุนและผลประโยชน์จากงานวิจัย

2.2 แหล่งที่มาของข้อมูล (Source of Data) ข้อมูลต่างๆ ที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็น ข้อมูลที่ได้รวบรวมจากเอกสารต่างๆ ที่ได้มีการจัดทำไว้ ตลอดจนเอกสารรายงานวิจัยในห้องสมุด ของสถาบันต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

3. การวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วยการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

3.1 เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive Method) เป็นการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงเทคโนโลยีการผลิตถ่านกัมมันต์ และทำการพิจารณาถึงข้อดีและข้อเสียของเทคโนโลยีที่มีการนำมาใช้ผลิตถ่านกัมมันต์

3.2 เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive Method) เป็นการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึง สภาพทั่วไปของลักษณะการผลิต และการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ประโยชน์ทางด้านต่างๆ และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Method) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method) ในรูปของสมการถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression) โดยใช้ข้อมูลผลผลิต เพื่อวิเคราะห์หาแนวโน้มปริมาณของกะลาปาล์มจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน ที่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์

3.3 เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 โดยการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Method) จะเป็นการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการลงทุน เป็นการวิเคราะห์เพื่อที่จะพิจารณาความเหมาะสมของโครงการในแง่ของเอกชน และสังคมโดยรวม โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ ดังนี้

(1) การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินใช้หลักการวิเคราะห์ต้นทุน – ผลประโยชน์ (Cost-Benefit Analysis) จะทำให้ทราบถึงความเหมาะสม สำหรับการลงทุน ของโครงการ ในส่วนของเอกชนเพื่อดูว่าการมีโครงการจะมีความ เหมาะสมในแง่ของเอกชน หรือไม่อย่างไร ซึ่งใช้เกณฑ์การตัดสินใจแบบปรับค่าของเวลา โดยการทำการวิเคราะห์ด้วยดัชนีชี้วัดความคุ้มค่าต่างๆ ดัชนีชี้วัดที่ใช้คือ การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit - Cost Ratio: BCR) และอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Financial Internal Rate of Return: FIRR)

วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value หรือ NPV) หมายถึงผลต่างของมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิแต่ละปีตลอดอายุโครงการกับกระแสเงินสดจ่ายของเงินลงทุน

$$NPV = \text{มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับ} - \text{มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย}$$

$$NPV = B - C$$

จากสูตรดังกล่าวย่อมมีโอกาสเกิดเหตุการณ์ขึ้นได้ 3 กรณี คือ

(ก) $B - C = 0$ แสดงว่าผลตอบแทนเท่ากับต้นทุน หรือจุดคุ้มทุน กล่าวคือโครงการ ไม่มีกำไรไม่ขาดทุน

(ข) $B - C > 0$ แสดงว่าผลตอบแทนมากกว่าต้นทุน โครงการมีกำไร

(ค) $B - C < 0$ แสดงว่าผลตอบแทนน้อยกว่าต้นทุน โครงการนั้นขาดทุน

จากสูตรดังกล่าวข้างต้นเป็นการพิจารณาโครงการลงทุนเพียงปีเดียว ถ้าโครงการลงทุนมีหลายปี กระแสเงินสดรับหรือผลตอบแทน จะมีหลายจำนวนจะได้สูตร ดังนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^n (B_t / (1+k)^t) - \sum_{t=1}^n (C_t / (1+k)^t)$$

โดยที่ NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

B_t = กระแสเงินสดรับสุทธิแต่ละปีตลอดอายุของโครงการ

k = อัตราผลตอบแทนที่ต้องการ

C_t = เงินสดจ่ายลงทุน

n = อายุของโครงการ

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อทุน (Benefit - Cost Ratio: BCR) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน (B) กับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนที่จ่ายไปในการดำเนินโครงการ (C)

$$B/C \text{ ratio} = B/C$$

จากสูตรนี้ย่อมมีโอกาสเกิดเหตุการณ์ 3 กรณีคือ

(ก) $B/C = 1$ แสดงว่า $B = C$ หรือผลตอบแทนเท่ากับต้นทุน แสดงว่าคุ้มทุนธุรกิจดำเนินงานแล้วไม่มีกำไร ไม่ขาดทุน

(ข) $B/C > 1$ แสดงว่า $B > C$ หรือผลตอบแทนมากกว่าต้นทุน แสดงว่าคุ้มทุนธุรกิจมีกำไร

(ค) $B/C < 1$ แสดงว่า $B < C$ หรือผลตอบแทนน้อยกว่าต้นทุน แสดงว่าคุ้มทุน
ธุรกิจจะประสบกับการขาดทุน

สำหรับโครงการโดยทั่วไปจะพิจารณาโครงการลงทุนเมื่อ $B/C = 1$ เป็นอย่างน้อย

จากที่กล่าวแล้วข้างต้น เป็นการพิจารณาอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนในกรณี
ที่มีการลงทุนเพียงปีเดียว แต่ถ้ามีโครงการลงทุนหลายๆ ปี อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนสามารถ
เขียนได้ คือ

$$B/C \text{ ratio} = \sum_{t=1}^n (B_t / (1+k)^t) / \sum_{t=1}^n (C_t / (1+k)^t)$$

(2) การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis) โดย
ใช้หลักการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost - Benefit Analysis) ของโครงการ ซึ่งจะทำให้
ทราบถึงความเหมาะสมสำหรับการลงทุน ของโครงการ ในแง่ของสังคมโดยรวม เพื่อดูว่าการมี
โครงการจะมีความเหมาะสมในแง่ของสวัสดิการของสังคม หรือไม่อย่างไร โดยการทำการวิเคราะห์
โดยใช้เกณฑ์การตัดสินใจแบบปรับค่าของเวลา ด้วยดัชนีชี้วัดความคุ้มค่า คือ การหามูลค่าปัจจุบัน
สุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราส่วน ผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio: BCR)
และอัตราผลตอบแทน ภายในโครงการ (Economic Internal Rate of Return: EIRR) การวิเคราะห์
ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ จะแตกต่างจากการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงิน คือ การ
วิเคราะห์ ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ราคาที่ใช้ คือ ราคาเงา (Shadow Price) ซึ่งเป็นราคาที่
สะท้อนถึงมูลค่าที่แท้จริงของทรัพยากรสำหรับการระบุต้นทุนและผลประโยชน์ ของโครงการจะทำ
การพิจารณาทั้งทางตรงและทางอ้อม เพื่อให้ทราบถึงมูลค่าของทรัพยากรทั้งหมดที่ถูกนำมาใช้กับ
โครงการ

(3) วิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการต่อการเปลี่ยนแปลง (Sensitivity
Analysis) เพื่อทดสอบดูว่า หากสถานการณ์เกิดการเปลี่ยนแปลงไป โดยเป็นการเปลี่ยนแปลงของ
ปัจจัยที่มีผลกระทบ ต่อต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการ ว่าจะส่งผล ใดๆ ต่อความเป็นไปได้
ของโครงการ โดยในการศึกษาครั้งนี้ จะทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการทั้งทางการเงิน
และทางเศรษฐศาสตร์ โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านต้นทุน และผลประโยชน์ ใน
การศึกษานี้จะทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหว 2 กรณี ดังนี้ คือ

กรณีที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านต้นทุน โดยกำหนดให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ผลประโยชน์คงที่ ตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสภาวะทางเศรษฐกิจที่มีความผันผวนตลอดเวลา เนื่องจากการปรับตัวของปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนของโครงการ เช่น ราคาน้ำมัน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อราคาสินค้าในปัจจุบัน

กรณีที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านผลประโยชน์ โดยกำหนดให้ผลประโยชน์ลดลงร้อยละ 25 ต้นทุนคงที่ จากความไม่แน่นอนอันเนื่องมาจากฤดูกาล ซึ่งทำให้เกิดการขาดแคลนกะลาปาล์ม และเหตุขัดข้องทางเทคนิคของเครื่องจักรทำให้ต้องหยุดการเดินเครื่อง

สมมติฐานของการวิจัย

ถ่านกัมมันต์เป็นสินค้าที่มีการใช้งานในหลายๆ อุตสาหกรรมดังนั้นการจำหน่ายส่วนใหญ่เป็นลักษณะการขายตรงเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่มีการใช้ถ่านกัมมันต์ โดยมีระดับราคาชนิดผงตันละประมาณ 1 แสนบาท ส่วนชนิดเม็ดราคาตันละประมาณ 2 หมื่นถึง 6 หมื่นบาท ด้านการลงทุนนั้นส่วนใหญ่เงินทุนจะใช้ ในการลงทุนด้านสินทรัพย์ ถาวร ถึง 80% ประกอบด้วยค่าเครื่องจักร ยานพาหนะและอุปกรณ์สำนักงาน ส่วนอีก 20% เป็นเงินทุนหมุนเวียนที่ใช้ในการดำเนินงานกิจการ ซึ่งเป็นทั้งค่าใช้จ่ายในการผลิต สินค้าและค่าใช้จ่ายในการขายและการตลาดตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าถ่านกัมมันต์ เป็นสินค้าที่มีความ ต้องการใช้อยู่ในวงกว้างโดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งนี้ตัวอย่างของกลุ่มสินค้าที่มีการใช้ถ่านกัมมันต์เป็น องค์ประกอบหนึ่งของกระบวนการผลิตซึ่งมีแนวโน้มว่าจะมีอัตราการขยายตัวสูงขึ้น ส่งผลให้มีความ ต้องการถ่านกัมมันต์ขยายตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เช่น

- กลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องกรองอากาศ/หน้ากากป้องกันก๊าซพิษ เนื่องจากสภาวะแวดล้อมของประเทศไทยโดยเฉพาะในเขตชุมชนเมือง ประสบกับปัญหามลภาวะเป็นพิษ ทำให้มีความต้องการเครื่องกรองอากาศและหน้ากากป้องกันก๊าซพิษกันมากขึ้น จึงส่งผลต่อเนื่องทำให้มีปริมาณความต้องการถ่านกัมมันต์สูงขึ้นเช่นกัน โดยใช้เป็นตัวดูดซับก๊าซพิษออกไปจากบรรยากาศ

- กลุ่มอุตสาหกรรมน้ำดื่มและน้ำประปา เป็นกลุ่มตลาดที่มีขนาดใหญ่และมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากเป็นสินค้าที่จำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตประจำวันของผู้คน ขณะเดียวกันน้ำบริสุทธิ์ตามแหล่งน้ำธรรมชาติก็หา

ยากขึ้น ทั้งนี้ถ่านกัมมันต์เป็นปัจจัยสำคัญในการช่วยให้น้ำมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยการดูดซับสิ่งเจือปนต่างๆ ออกไป

- กลุ่มโรงงานชุบโลหะ ซึ่งจะมีการระบายน้ำที่ปนเปื้อนไปด้วยโลหะหนักประเภทต่างๆ เช่น โครเมียม นิกเกิล ทองแดง เป็นต้น ออกมาสู่แหล่งน้ำต่างๆ แต่เนื่องด้วยข้อบังคับกฎหมายว่าด้วยเรื่องสิ่งแวดล้อม ทำให้โรงงานชุบโลหะต้องทำการบำบัดน้ำเสียเหล่านั้นก่อนการระบายสู่แหล่งน้ำเป็นเหตุให้มีความต้องการถ่านกัมมันต์ในกระบวนการบำบัดดังกล่าวในการเป็นตัวดูดซับโลหะหนักที่เจือปนอยู่ในน้ำออกมา

- กลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร ส่วนใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป มักมีกลิ่นของวัตถุดิบอาหารที่เหม็นคาว โดยบางครั้งยังเป็นกลิ่นโชยออกไปนอกพื้นที่โรงงานส่งผลให้ชาวบ้านใกล้เคียงได้รับความเดือดร้อน ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่จะมีการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับกลิ่นต่างๆ ให้จางลงไป ซึ่งปัจจุบันในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารมีอัตราขยายตัวค่อนข้างสูง อีกทั้งยังเป็นกลุ่มที่ทำรายได้และนำเงินตราต่างประเทศเข้ามาเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้รัฐบาลให้การสนับสนุนเป็นอย่างมาก โดยเมื่ออุตสาหกรรมอาหารขยายตัวเพิ่มขึ้น ปริมาณความต้องการถ่านกัมมันต์ก็ย่อมขยายตัวเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกันนอกจากการนำถ่านกัมมันต์มาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ แล้ว ด้วยคุณสมบัติในด้านการดูดกลิ่นได้ดี ทำให้ในปัจจุบันได้มีการนำมาใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ภายในครัวเรือนได้อีกทางหนึ่งด้วย โดยเป็นผลิตภัณฑ์ใช้ดูดซับกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับภายในตู้เย็นตู้เสื้อผ้า หรือใช้เป็นตัวดูดกลิ่นในรองเท้า โดยมีการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่สวยงามและขนาดกะทัดรัด สามารถพกพาไปไหนได้

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์มีกลุ่มตลาดที่กว้างขวางมาก ไม่จำกัดอยู่ในอุตสาหกรรมใด อุตสาหกรรมหนึ่งเป็นการเฉพาะ ฉะนั้นผู้ผลิตถ่านกัมมันต์จะมีความเสี่ยงด้านพึ่งพาตลาดกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งตลาดเดียวต่ำมาก นอกจากนี้ไม่เพียงแต่มีตลาดอยู่เฉพาะภายในประเทศเท่านั้นปัจจุบันยังสามารถทำการส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศได้อีกด้วย แม้ว่าจะยังต้องอาศัยการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศเป็นบางส่วน แต่ก็มีแนวโน้มว่าจะสามารถทดแทนการนำเข้าได้มากขึ้นเนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ภายในประเทศยังไม่เป็นที่ยอมรับจากผู้ใช้นักโดยผู้ใช้นักมีทัศนคติ และความเชื่อมั่นในสินค้าที่นำเข้ามาจากต่างประเทศว่ามีคุณภาพดีกว่าสินค้าที่ผลิตภายในประเทศ ทั้งนี้ถ่านกัมมันต์บางชนิดที่ยังไม่มีการผลิตในประเทศเนื่องจากปริมาณความต้องการ

การยังไม่มากพอ รวมทั้งวัตถุดิบภายในประเทศไม่เอื้ออำนวยต่อการผลิต เช่น ถ่าน-กัมมันต์จาก ถ่านหิน เป็นต้น ทำให้ไม่คุ้มทุนสำหรับการลงทุนผลิตของผู้ประกอบการในประเทศ

บทที่ 2

การตรวจเอกสารและแนวคิดทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาความเป็นไปได้ทางในการลงทุน ของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม น้ำมัน มีการตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องดังนี้

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ กระทรวงอุตสาหกรรม. มอก.900-2547. เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ ดังมีรายละเอียดดังนี้

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมถ่านกัมมันต์ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ หลายประเภท เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและเภสัชกรรม ใช้ฟอกสีในอุตสาหกรรมอาหาร น้ำตาล น้ำมันพืช น้ำอัดลม โมโนโซเดียมแอล-กลูตาเมต (Monosodium L-Glutamate) ใช้ดูดก๊าซในถังกรองบูห์ เครื่องทำอากาศบริสุทธิ์ในโรงงานและใช้ในการกรองน้ำ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ถ่านที่มีคุณสมบัติดูดซับสี กลิ่น รส บางชนิดได้เป็นอย่างดี ถ่านชนิดนี้มีโครงสร้างเป็นรูพรุน ผลิตได้จากถ่านหิน ถ่านไม้ ถ่านกะลามะพร้าว หรือถ่านกระดูก ด้วยกรรมวิธีก่อกัมมันต์

2.2 ค่าไอโอดีน (Iodine number) หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับไว้ ด้วยถ่านกัมมันต์ 1 กรัมเมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนหลังจากถูกดูดซับเป็น 0.01 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

3. ชนิด และชั้นคุณภาพ

3.1 ถ่านกัมมันต์ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

3.1.1 ชนิดผง (powdered activated carbon)

3.1.2 ชนิดเม็ด (granular activated carbon) แบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ

3.1.2.1 ชั้นคุณภาพพิเศษ (premium grade)

3.1.2.2 ชั้นคุณภาพที่ 1 (first grade)

3.1.3 ชนิดอัดเม็ด (pelletised activated carbon)

3.1.4 ชนิดแท่ง (block activated carbon)

4. ขนาด

4.1 ชนิดผง ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านแรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2.1

4.2 ชนิดเม็ดและชนิดอัดเม็ด ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ ปริมาณที่ผ่านแรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2.2

4.3 ชนิดแท่ง ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

5. คุณลักษณะที่ต้องการของถ่านกัมมันต์

5.1 ลักษณะทั่วไป

5.1.1 ชนิดผงต้องเป็นผงสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

5.1.2 ชนิดเม็ดและชนิดอัดเม็ด ต้องเป็นเม็ดสีดำปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

5.1.3 ชนิดแท่งต้องเป็นแท่ง ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

5.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี

5.2.1 ชนิดผง ให้เป็นไปตามตาราง 1

ตาราง 1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดผง (ข้อ 5.2.1)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600	AWWA B600
2	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	0.20 ถึง 0.75	

5.2.2 ชนิดเม็ด ให้เป็นไปตามตาราง 2

ตาราง 2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดเม็ด (ข้อ 5.2.2)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		วิธีทดสอบตาม
		ชั้นคุณภาพพิเศษ	ชั้นคุณภาพที่ 1	
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	1000	600	
2	ความชื้น ร้อยละไม่เกิน	8		

3	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	0.2	AWWA B604
---	--	-----	-----------

ตาราง 2 (ต่อ)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		วิธีทดสอบตาม
		ชั้นคุณภาพ พิเศษ	ชั้นคุณภาพที่ 1	
4	ความแข็ง (abrasion resistance)	70		AWWA B604 Ro-Tap abrasion test

5.2.3 ชนิดอัดเม็ดให้เป็นไปตามตาราง 3

ตาราง 3 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดอัดเม็ด (ข้อ 5.2.3)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600	AWWA B604
2	ความชื้น ร้อยละไม่เกิน	8	
3	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	0.2	
4	ความแข็ง (abrasion resistance)	70	AWWA B604 Ro-Tap abrasion test

5.2.4 ชนิดแท่งให้เป็นไปตามตาราง 4

ตาราง 4 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดแท่ง (ข้อ 5.2.4)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600	AWWA B604
2	ความชื้น ร้อยละไม่เกิน	8	

6. การบรรจุ

6.1 ให้บรรจุถ่านกัมมันต์ในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท

6.2 น้ำหนักสุทธิของถ่านกัมมันต์ในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.3

7. เครื่องหมายและฉลาก

7.1 ที่ภาชนะบรรจุถ่านกัมมันต์ทุกหน่วยอย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ชื่อผลิตภัณฑ์ตามชื่อมาตรฐาน

(2) ชนิด และชั้นคุณภาพ

(3) น้ำหนักสุทธิ เป็นกิโลกรัม

(4) เดือน ปีที่ทำ หรือรหัสรุ่นที่ทำ

(5) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

8.1 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามภาคผนวก ก.

9. การทดสอบ

9.1 ข้อกำหนดทั่วไป

9.1.1 ให้ใช้วิธีทดสอบที่กำหนดในมาตรฐานนี้ หรือวิธีอื่นใดที่ให้ผลเทียบเท่า ในกรณีที่มิขัดแย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในมาตรฐานนี้

9.1.2 หากมิได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่น น้ำกลั่นและสารเคมีที่ใช้ต้องมีความบริสุทธิ์เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์

9.2 การทดสอบขนาด

9.2.1 ถ่านกัมมันต์ผง

9.2.1.1 เครื่องมือ

(1) แรง 150 ไมโครเมตร

(2) กุชครูชิเบิล

9.2.1.2 วิธีทดสอบ

นำตัวอย่างประมาณ 25 กรัม ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมงจนได้มวลคงที่ ปลอยให้เย็นในเตชิกเคเตอร์ จากนั้นให้รีบชั่งให้ทราบมวลที่แน่นอนถึง 0.001 กรัม (m_0) เทตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำ 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถึง 700 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากันทำแรงให้เปียกก่อนแล้วเทตัวอย่างช้า ๆ ผ่านแรง ในขณะที่เทให้คนตัวอย่างเป็นครั้งคราว ล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ในบีกเกอร์ออกให้หมด เมื่อเทตัวอย่างทั้งหมดลงบนแรงแล้วใช้น้ำล้างตัวอย่างอีกจนกระทั่งไม่มีตัวอย่างผ่านแรงอีก ถ่ายตัวอย่างที่ค้างบนแรง โดยใช้น้ำช่วยใส่ลงในบีกเกอร์แล้วกรองผ่านกุชครูชิเบิลซึ่งทราบมวลแน่นอนแล้ว นำกุชครูชิเบิลนั้นไปอบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมงจนได้มวลคงที่ปลอยให้เย็นใน เตชิกเคเตอร์ แล้ว รีบชั่งน้ำหนักทันที (m_1)

9.2.1.3 วิธีคำนวณ

คำนวณหาปริมาณที่ผ่านแรง จากสูตร

$$\text{ปริมาณที่ผ่านแรง ร้อยละโดยน้ำหนัก} = 1 - \frac{m_1}{m_0} \times 100$$

เมื่อ m_0 คือ มวลของตัวอย่าง หลังจากอบแห้งครั้งแรก เป็นกรัม

เมื่อ m_1 คือ มวลของตัวอย่าง หลังจากอบแห้งครั้งที่ 2 เป็นกรัม

9.2.2 ถ่านกัมมันต์เม็ดและถ่านกัมมันต์อัดเม็ด

9.2.2.1 เครื่องมือ

(1) แรง 150 ไมโครเมตร

(2) เครื่องเขย่า ที่มีอัตราการเขย่า 285 รอบต่อนาที ๗ 5
รอบต่อนาที มีลักษณะการเขย่าเป็นแบบขึ้นลงและหมุนวนพร้อมกัน

9.2.2.2 วิธีทดสอบ

ชั่งตัวอย่างประมาณ 100 กรัม ให้ทราบมวลที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม ใส่ในแรง เขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 3 นาที ถ่ายส่วนที่ค้างบนแรงทั้งหมดลงในภาชนะที่ทราบมวลแน่นอนแล้ว ชั่งและคำนวณส่วนที่ค้างบนแรง เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก 9.3 น้ำหนักสุทธิชั่งตัวอย่างทั้งหมดพร้อมภาชนะบรรจุ แล้วเทตัวอย่างออก ชั่งภาชนะเปล่า แล้วเฉลี่ยผลต่างของมวลที่ชั่งได้เป็นน้ำหนักสุทธิต่อภาชนะบรรจุ

ภาคผนวก ก. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน (ข้อ 8.1)

ก.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง ถ่านกัมมันต์ชนิดและชั้นคุณภาพเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน บรรจุในภาชนะบรรจุชนิดและขนาดเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

ก.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

ก.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบการบรรจุ

ก.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตาราง 5

ก.2.1.2 ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 6. จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตาราง 5 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุ (ข้อ ก.2.1.1)

ขนาดรุ่น หน่วยภาชนะบรรจุ			ขนาดตัวอย่าง หน่วยภาชนะบรรจุ
ไม่เกิน	25		3
26 ถึง	50		4
51 ถึง	100		5

101 ถึง 300	6
301 ถึง 500	7
501 ถึง 800	8
801 ถึง 1000	9
เกิน 1000	10

ก.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบเครื่องหมายและฉลาก

ก.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตาราง 6

ก.2.2.2 จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 7. ในแต่ละรายการ ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตารางที่ 2 จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตาราง 6 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบเครื่องหมายและฉลาก (ข้อ ก.2.2)

ขนาดรุ่น หน่วยภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่าง หน่วยภาชนะบรรจุ	เลขจำนวนที่ยอมรับ
ไม่เกิน 280	2	0
281 ถึง 500	8	1
เกิน 500	13	2

ก.2.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาด และคุณลักษณะที่ต้องการ

ก.2.3.1 ให้ชักตัวอย่าง จากตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบเครื่องหมายและฉลากแล้ว มาภาชนะบรรจุละเท่า ๆ กัน ให้ได้ตัวอย่าง รวมกันไม่น้อยกว่า 1 500 กรัม ผสมตัวอย่าง ทั้ง ห ม ด เข้าด้วยกัน แล้วแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน บรรจุแต่ละส่วนลงในภาชนะที่ สะอาด แห้ง และปิด ใต้สนิท พร้อมทั้งบันทึกรายละเอียดที่จำเป็นไว้ ตัวอย่างส่วนหนึ่ง นำไปใช้ในการวิเคราะห์ อีก 2 ส่วน ที่เหลือให้ผู้ที่เกี่ยวข้องเก็บไว้เป็นหลักฐาน

ก.2.3.2 ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4. และข้อ 5. ทุกรายการ จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.3 เกณฑ์ตัดสิน ตัวอย่างถ่านกัมมันต์ต้องเป็นไปตามข้อ ก.2.1.2 ข้อ ก.2.2.2.2 และข้อ ก.2.3.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

บุญเรือน สรรเพชร (2543) ได้ทำการศึกษาถึงการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการทางกายภาพซึ่งไม่ใช่สารเคมีที่เป็นอันตราย จากกะลาปาล์มที่เป็นผลผลิตส่วนเกินของอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน จากการวิเคราะห์องค์ประกอบในกะลาปาล์มด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ CHN พบว่ามีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบประมาณ 48 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มในการวิจัยนี้ประกอบด้วย การล้างกะลาปาล์มดิบด้วยน้ำสะอาดแล้วอบแห้งเพื่อกำจัดความชื้นเป็นขั้นตอนแรก จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนในโครงสร้าง (Carbonization Process) โดยการให้ความร้อนในเตาปฏิกรณ์แนวตั้งที่อุณหภูมิ 400 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเพื่อกำจัดองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ระเหยง่าย ขั้นตอนสุดท้ายเป็นกระบวนการกระตุ้น (Activation Process) ซึ่งเป็นการออกซิไดซ์คาร์บอนให้เป็นถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ระยะเวลาที่ใช้สำหรับกระบวนการเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนในโครงสร้าง อุณหภูมิและระยะเวลาสำหรับกระบวนการกระตุ้น และชนิดของก๊าซช่วยกระตุ้น ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะถูกนำมาวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว เลขไอโอดีน ปริมาณผลิตภัณฑ์และศึกษาพื้นที่ผิวภายนอกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ผลจากการศึกษาพบว่าสภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มด้วยวิธีการทางกายภาพ คือ การใช้ระยะเวลาสำหรับการเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนในโครงสร้าง 1 ชั่วโมง แล้วกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 °C ซึ่งให้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 11 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของกะลาปาล์มดิบ พื้นที่ผิวสูงถึง 1400 ตารางเมตร/กรัม และเลขไอโอดีน 1412 มิลลิกรัม/กรัม การใช้ระยะเวลาในการเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนในโครงสร้างนานกว่า 1 ชั่วโมง ไม่ทำให้พื้นที่ผิวและเลขไอโอดีนของถ่านกัมมันต์มีค่าสูงขึ้น การกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 °C ทำให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวและเลขไอโอดีนสูงกว่าการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 °C ยกเว้นกรณีของการกระตุ้นด้วยไอน้ำนานเกิน 3 ชั่วโมง เนื่องจากการใช้ระยะเวลาในการกระตุ้นนานขึ้นทำให้พื้นที่ผิวและเลขไอโอดีนเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งแล้วเกิดการยุบตัวของโครงสร้างทำให้พื้นที่ผิวและเลขไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น การกระตุ้นด้วยไอน้ำสามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวและเลขไอโอดีนสูงกว่าการ

กระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ผิวสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

สาวิตรี จันทรานุกรักษ์ วรรณรัก นพเจริญกุล และ ธารพงษ์ วิทิตสานต์ (2544) ได้ทำการศึกษาถึงการผลิตถ่านกัมมันต์จากก้นทะลายปาล์มน้ำมันมี กระบวนการ 2 ขั้นตอน คือการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 45 นาที และการกระตุ้นทางเคมี ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 180 นาทีด้วยสารละลาย KOH ที่ความเข้มข้น 4 โมลต่อลิตร โดยอัตราส่วนระหว่างสารละลาย KOH และถ่านชาร์ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.18 – 2.36 มิลลิเมตร) คือ 1:1 อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที จากการทดลองพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีคุณสมบัติคือ ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.346 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรค่าการดูดซับไอโอดีน 1308 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 248 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อนำถ่านกัมมันต์นี้จำนวน 1 กรัม มาทำการดูดซับเชื้อ *E. coli* เป็นระยะเวลา 21 ชั่วโมงด้วยกระบวนการแบบแบตช์ (batch) พบว่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ก้นทะลายปาล์มน้ำมันเป็นไปตามสมการไอโซเทอมของฟรอนดริช คือ $q_e = 0.9905 C_e^{0.07}$

จิรพา บุญญคง (2542) ได้ทำการศึกษาถึงการเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยกะลาปาล์มน้ำมันสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ได้ โดยการกระตุ้น เชิงฟิสิกส์และเคมี การผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีเชิงฟิสิกส์ จะใช้ไอน้ำอิมัตวดยังเป็นสารก่อกัมมันต์ โดยดำเนินการศึกษาแยกเป็น 2 กระบวนการคือ กระบวนการแบบสองขั้นตอน และกระบวนการแบบขั้นตอนเดียว สำหรับกระบวนการแบบสองขั้นตอนประกอบด้วยขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์กะลาปาล์มและการ กระตุ้นถ่านกะลาปาล์มด้วยไอน้ำอิมัตวดยัง สภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์ คือดำเนินการ ที่ 500 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ส่วนขั้นตอนการกระตุ้นด้วยไอน้ำอิมัตวดยัง ตัวแปร ที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิ เวลา ขนาดของถ่านและอัตราการป้อนไอน้ำที่เหมาะสม พบว่าสภาวะ ดำเนินการที่เหมาะสมคือ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้ถ่านขนาด 2.83-4.00 มิลลิเมตร ด้วยอัตราการป้อนไอน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที สำหรับกระบวนการแบบขั้นตอนเดียว จะใช้กะลาปาล์มซึ่งยังไม่ผ่านการคาร์บอนไนซ์เป็น วัตถุดิบเริ่มต้น นำมากระตุ้นด้วยไอน้ำอิมัตวดยัง จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ ทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ด้วยเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการป้อนไอน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยการกระตุ้นเชิงเคมี จะใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ เข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักเป็นสารก่อกัมมันต์ ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนระหว่าง น้ำหนักกะลาปาล์มต่อน้ำหนักซิงค์คลอไรด์ จากการศึกษาพบว่า สภาวะที่ เหมาะสมคือ ที่อุณหภูมิ

700 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง กะลาปาล์มต่อซิงค์คลอไรด์ เท่ากับ 1:3

กรณีกา มีนสิรินันท์ (2542) ได้ทำการศึกษาถึงการตกสะสมของซิงก์ในถ่านกัมมันต์จาก แอนทราไซต์และกะลาปาล์มน้ำมันกระตุ้นโดยซิงค์คลอไรด์โดยกระบวนการเตรียมประกอบด้วยการ คาร์บอนไนซ์และการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง เริ่มต้นด้วยคาร์บอนไนซ์ กะลาปาล์มน้ำมันที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านชาร์ที่ได้และแอน ทราไซต์แช่ในสารละลายซิงค์คลอไรด์ก่อนนำไปกระตุ้น ตัวแปรที่ใช้ศึกษาคือ อุณหภูมิ เวลา ขนาดของถ่านชาร์ของกะลาปาล์มน้ำมันและความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ จากผลการทดลองพบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นคือ ถ่านชาร์ของกะลาปาล์มน้ำมันขนาด 1.18 - 2.36 มิลลิเมตรและ แอนทราไซต์ขนาด 0.80-0.90 มิลลิเมตร กระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ร้อยละ 40 โดยมวลถ่าน กัมมันต์จากแอนทราไซต์มีร้อยละผลิตภัณฑ์ 30.13 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.5879 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรค่าการดูดซับไอโอดีน 860.35 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู ตารางเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวรูพรุน 1026.99 ตาราง เมตรต่อกรัม และมีซิงค์ตกสะสมร้อยละ 0.20 ของซิงค์ที่เริ่มต้น สำหรับถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม น้ำมันมีร้อยละผลิตภัณฑ์ 33.83 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.5063 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าการ ดูดซับไอโอดีน 1069.10 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 600.25 มิลลิกรัมต่อกรัม พื้นที่ผิว รูพรุน 1099.10 ตารางเมตรต่อกรัม และมีซิงค์ตกสะสมร้อยละ 0.20 ของซิงค์ที่เริ่มต้น ถ่านกัมมันต์ ที่เตรียมได้จากวัตถุดิบทั้งสองชนิดนี้สามารถนำไปใช้ในทางการค้า (ค่าการดูดซับไอโอดีนมากกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม) และใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้เพราะมีความเข้มข้นของซิงค์ในผลิตภัณฑ์ที่ ต่ำ ซึ่งยอมรับได้

ปาริชาติ ลีลาบุรณพงศ์ (2543) ได้ทำการศึกษาการแตกตัวด้วยไฮโดรเจนของพลาสติก ผสม โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมัน โดยมีจุดมุ่งหมายของงานวิจัยคือ มุ่งที่จะ ศึกษาการแตกตัวด้วยไฮโดรเจนของพลาสติกผสมระหว่างพอลิพอฟีลีนกับพอลิสไตรีนและพอลิพอฟี ลีนกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเป็นน้ำมันบนตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ในเครื่อง ปฏิกรณ์ขนาดเล็ก ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 30 มิลลิเมตร โดยการเปลี่ยนแปลงภาวะ ดังนี้ ความดันของก๊าซไฮโดรเจนระหว่าง 20-40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร, อุณหภูมิของ ปฏิกริยา 390-465 องศาเซลเซียส และช่วงเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 30-75 นาที จากผลการทดลอง พบว่าพลาสติกผสมระหว่างพอลิโพฟีลีน และพอลิสไตรีนที่อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 415 องศาเซลเซียส พลาสติกผสมระหว่างพอลิ-โพฟีลีน และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำอยู่ที่ 445 องศาเซลเซียส

ศึกษาผลของความดันของก๊าซไฮโดรเจน, เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา, อัตราส่วนพลาสติกผสมต่อตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ และเปอร์เซ็นต์ของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่วิเคราะห์ นำไปวิเคราะห์ โดยใช้เทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี (G C Simulated Distillation) พบว่า เหล็กบนถ่านกัมมันต์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการแตกตัวด้วยไฮโดรเจนของพลาสติกผสมระหว่างพอลิโพรพิลีน และพอลิสไตรีน ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันสูงที่อุณหภูมิของปฏิกิริยา 415 องศาเซลเซียส, ความดันของก๊าซไฮโดรเจน 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร, เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 นาที, ตัวเร่งปฏิกิริยา 5 % ของเหล็กปริมาณ 0.45 กรัม ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้มีปริมาณเนฟทา 19.61% , เคโรซีน 1.48 % , แก๊สออยล์ 20.72 % และโมเลกุลสายโซ่ยาว 32.19 % โดยน้ำหนัก พลาสติกผสมระหว่างพอลิโพรพิลีน และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ นั้น ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันสูงที่อุณหภูมิของปฏิกิริยา 445 องศาเซลเซียส, ความดันของก๊าซไฮโดรเจน 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร, เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 50 นาที, ตัวเร่งปฏิกิริยา 5 % ของเหล็กปริมาณ 0.45 กรัม ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้มีปริมาณเนฟทา 14.31 % , เคโรซีน 8.9% , แก๊สออยล์ 14.58 % และโมเลกุลสายโซ่ยาว 16.20 % โดยน้ำหนัก

พูนสุข พึ่งธรรม (2543) ได้ทำการศึกษาการแตกตัวพอลิโพรพิลีนด้วยไฮโดรเจนโดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันโดยมีจุดมุ่งหมายหลักของงานวิจัยคือ มุ่งที่จะศึกษาการเปลี่ยนพอลิโพรพิลีนไปเป็นน้ำมันบนตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 30 มิลลิเมตรและปริมาณภายใน 75 มิลลิลิตร โดยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรดังนี้ ความดันของก๊าซไฮโดรเจนระหว่าง 28-50 กก./ตร.ซม. อุณหภูมิของปฏิกิริยาระหว่าง 395-455 องศาเซลเซียสและเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาระหว่าง 30-90 นาที จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่ให้ปริมาณน้ำมันได้สูงสุดที่ 435 องศาเซลเซียสจากนั้นทดสอบผลของความดันของก๊าซไฮโดรเจน, เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา และอัตราส่วนพอลิโพรพิลีนต่อตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี แบบ Simulated Distillation พบว่าเหล็กบนถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม โดยที่อุณหภูมิ 435 องศาเซลเซียส ความดันของก๊าซไฮโดรเจน 30 กก./ตร.ซม. และเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้มีปริมาณเนฟทา 40-65% , เคโรซีน, 12-14% , ก๊าซออยล์ 10-13% , และโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว 4-5%

ธารินี กิตติเรืองทอง (2543) ได้ทำการศึกษากระบวนการร่วมของพอลิพรอฟิลีนและลิกไนต์โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษากระบวนการทำให้เป็นของเหลวของกระบวนการร่วมพอลิพรอฟิลีนกับลิกไนต์ โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก 75 มิลลิลิตร โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่อไปนี้ คือ อัตราส่วนของสารตั้งต้นพอลิพรอฟิลีนต่อลิกไนต์จาก 15 : 0 ถึง 3 : 12 กรัม, ความดันแก๊สไฮโดรเจน 37 - 75 บาร์, อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 380-440 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 15-90 นาที จากผลการทดลองพบว่าภาวะที่เหมาะสมต่อการทดลองคือ ที่อัตราส่วนของสารตั้งต้นเป็น 12 : 3 กรัม อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 62 บาร์ เป็นเวลา 30 นาที และได้ปริมาณของน้ำมันสูงสุดคือ 53.36 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และพบว่าเปอร์เซ็นต์เหล็กและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามีผลน้อยมากต่อการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมัน ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าภาวะที่มีแนวโน้มดีในการให้ปริมาณเนฟตามากที่สุดคือที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 62 บาร์ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที โดยผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่มีช่วงของเนฟทา 35.6 %, คีโรซีน 7.41 %, น้ำหนักกำกวม 5.45 % และโมเลกุลสายโซ่ยาว 0.99% โดยน้ำหนัก

สุจรรย์ คุษเสงี่ยม (2544) ได้ทำการศึกษาการกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยการเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวโดยใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นกับถ่านกัมมันต์ที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป ซึ่งได้ทำการทดสอบค่าไอโอดีนัมเบอร์ศึกษาลักษณะทางกายภาพการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรอนดลิชและการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ทำการป้อนน้ำเสียแบบไหลลงด้วยอัตราการไหล 3 ลิตร/ชั่วโมง และเก็บตัวอย่างที่ระดับความสูงของสารดูดซับ 0.30, 0.60, 0.90 และ 1.20 เมตร ผลการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว มีค่าไอโอดีนัมเบอร์ 532.29 มิลลิกรัมต่อกรัม พื้นที่ผิว 492.4200 ตารางเมตรต่อกรัม การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรอนดลิชโดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า สามารถดูดซับตะกั่วและปรอท ได้ 8.37 และ 5.52 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนการทดสอบการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่งดูดซับน้ำทิ้งจากโรงงาน

สิ่งทอ สามารถดูดซับตะกั่วได้ 2.45, 2.57, 2.69 และ 2.81 มิลลิกรัม/กรัม และดูดซับปรอทได้ 2.21, 2.45, 2.45 และ 2.70 มิลลิกรัม/กรัม ที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่ความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทเริ่มต้น 9.824 และ 9.830 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์มมีค่าไอโอดีน เท่ากับ 486.45 มิลลิกรัมต่อกรัม มีพื้นที่ผิว 385.9073 ตารางเมตรต่อกรัม การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟลุนดลิชโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าสามารถดูดซับตะกั่วและปรอท ได้ 2.53 และ 1.63 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งแสดงว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป ผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟลุนดลิชพบว่าสามารถดูดซับตะกั่วและปรอท ได้ 50.18 และ 19.95 มิลลิกรัมต่อกรัม การทดสอบการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่งดูดซับน้ำทิ้งจากโรงงาน สิ่งทอ สามารถดูดซับตะกั่วได้ 3.83, 3.83, 3.75 และ 3.88 มิลลิกรัม/กรัม และดูดซับปรอทได้ 3.61, 3.83, 3.61 และ 3.72 มิลลิกรัม/กรัม ที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่ความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทเริ่มต้น 9.853 และ 9.865 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

อำไพ ชนะไชย จินดารัตน์ พิมพ์สมาน (2549) ได้ทำการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยการกระตุ้นทางเคมี งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยวิธีกระตุ้นทางเคมี พบว่าการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ให้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนและพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์และกรดฟอสฟอริก โดยเมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารกระตุ้นพบว่าการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงจะให้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงแต่ค่าพื้นที่ผิวของรูพรุนขนาดเล็กและพื้นที่ผิวสัมผัสมีค่าต่ำ และเมื่ออัตราส่วน KOH/ถ่าน เพิ่มขึ้นและเวลาในการกระตุ้นลดลง ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีน ค่าพื้นที่ผิวของรูพรุนขนาดเล็กและพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น ที่สภาวะการกระตุ้นที่เหมาะสม ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีน พื้นที่ผิวของรูพรุนขนาดเล็ก และพื้นที่ผิวสัมผัส 992.89 mg/g, 341.10 m²/g และ 431.90 m²/g ตามลำดับ

รังสรรค์ ละวรรณ (2542) การเตรียมถ่านกัมมันต์โดยรีดักชันของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกดูดซับบนถ่านชาร์จากกะลาปาล์มน้ำมันด้วยพลังงานไมโครเวฟ โดยพบว่าการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมัน โดยกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟ มีวิธีการเตรียมแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ การคาร์บอนไนซ์ การดูดซับแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ให้อิ่มตัวบนถ่านชาร์ และการกระตุ้นด้วย

พลังงานไมโครเวฟ ขั้นตอนแรกทำการคาร์บอนไนซ์โดยใช้อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 60 นาที ได้ผลิตภัณฑ์ถ่านชาร์ร้อยละ 31.72 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 18.87 ± 0.14 ปริมาณเถ้าร้อยละ 9.89 ± 0.06 ปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 69.41 ± 0.09 ค่าพื้นที่ผิว BET 152 ± 4 ตารางเมตรต่อกรัม การดูดซับแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 2000 พีพีเอ็ม ให้ อิ่มตัวบนถ่านกัมมันต์ ทำได้โดยการดูดซับในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร เป็นเวลานาน 420 นาที การกระตุ้นในหลอดแก้วทนไฟรูปถ้วย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 เซนติเมตร ติดตั้งอยู่ภายในเตาไมโครเวฟ ตัวแปรที่ศึกษาคือ เวลาในการกระตุ้นช่วง 30 ถึง 180 นาที พลังงานการกระตุ้นช่วง 225 ถึง 500 วัตต์ และจำนวนรอบของการทำการดูดซับ แล้วนำมากระตุ้นโดยการทำซ้ำกันให้ขนาดอนุภาคถ่านที่ใช้ช่วง 1.18 ถึง 2.36 มิลลิเมตร ได้ภาวะที่เหมาะสมคือ เวลาในการกระตุ้น 90 นาที พลังงานในการกระตุ้น 450 วัตต์ และจำนวนรอบของการทำการดูดซับแก๊สแล้วนำมากระตุ้นรอบที่สอง ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติดังนี้ ค่าการดูดซับ ไอโอดีน 1385 ± 11 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู 235 ± 6 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าความหนาแน่นปรากฏ 0.659 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.11 ค่าพื้นที่ผิว BET 1172 ± 49 ตารางเมตรต่อกรัม การเตรียมถ่านกัมมันต์โดยวิธีนี้มีข้อดี 2 ประการคือ ถ่านชาร์ในตอนแรกและ ถ่านกัมมันต์ที่ได้ในการกระตุ้นรอบแรก สามารถดูดซับแก๊สพิษได้ดีแล้วนำมากระตุ้นจะได้พื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้นอีก

วรารุณี ประชาศิริ (2541) การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันโดยการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟ, ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันโดยกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์ คือ อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 60 นาที อัตราการไหลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0.2 L/min ขนาดอนุภาคของถ่าน 1.2-2.4 mm ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ คือ ค่าการดูดซับไอโอดีน 411 mg/g ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู 175 mg/g ความหนาแน่นปรากฏ 0.52 g/cm^3 และพื้นที่ผิว BET $476 \text{ m}^2/\text{g}$

ศุภสิทธิ์ กิตชัย และอรนุช ขาวเมืองน้อย (2538) การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม น้ำมันโดยกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดในเบดนิ่ง, ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันโดยการคาร์บอนไนซ์ และการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดในเบดนิ่ง โดยทำการคาร์บอนไนซ์ในช่วงอุณหภูมิ $400\text{-}500^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 5-11 ชั่วโมง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการคาร์บอน

ไนซ์ คืออุณหภูมิเบด 400°C เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ คือ ผลิตภัณฑ์เป็น ถ่านเกลาร้อยละ 47 ปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 68 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 25 และปริมาณเถ้า ร้อยละ 7

สุรางค์ รุกขอนันตกุล และอภิสิทธิ์ ปรีตาวรรณเลิศ (2537) การผลิตถ่านกัมมันต์จาก กะลาปาล์มน้ำมันโดยวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำอิมพัลส์ยวดยวดยในฟลูอิดไธด์เบด, ได้ทดลองคาร์โบไนเซชันและการกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไดซ์ โดยทำการคาร์โบไนซ์ในเบดนิ่ง โดยการทดลองแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนขั้นตอนแรก คาร์โบไนซ์เบดนิ่ง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการคาร์โบไนซ์ คือ อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ขั้นตอนที่สอง เป็นการกระตุ้นด้วยแก๊สผสมในห้องฟลูอิดไธด์เบด แก๊สผสมเตรียมได้จากการเผาไหม้ไขมันดีเซลกับไอน้ำร้อนยวดยวดย โดยอุณหภูมิ 800°C นาน 15 นาที โดยใช้ตัวอย่างถ่านชาร์อนุภาค 1.68-2.38 mm จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ ค่าการดูดซับไอโอดีน 690.96 mg/g ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 77.98 mg/g ค่าเถ้าร้อยละ 14.65 ค่าร้อยละ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ ร้อยละ 18.38

นเรศ จันทรเทียน, วัชรศักดิ์ ฤกษ์ขุมทรัพย์ และวิทยา เจนจรัสโชติ (2534) การศึกษาความน่าจะเป็นในการนำเอาตาลโตนดมาทำเป็นถ่านกัมมันต์, ได้ศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำกะลาตาลโตนดผลิตถ่านกัมมันต์ โดยใช้ไอน้ำอิมพัลส์ยวดยวดยในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิดไธด์เบด และใช้ชิงคลอไรต์ในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบเบดนิ่ง การผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำอิมพัลส์ยวดยวดยในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิดไธด์เบด ทดลองโดยการคาร์โบไนซ์กะลาตาลโตนดในเตาเผาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ขนาดอนุภาค 2-5 mm กระตุ้นด้วยไอน้ำอิมพัลส์ยวดยวดยในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิดไธด์เบด ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่ทำจากสแตนเลส เบอร์ 316 หน้า 4 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 cm สูง 50 cm ที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้คือ ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 0.2 mg/g ค่าการดูดซับไอโอดีน 600 mg/g ส่วนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยชิงคลอไรต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ทดลองโดยการคาร์โบไนซ์กะลาตาลโตนดในเครื่องคาร์โบไนเซอร์ ที่อุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาคัดขนาด 2-5 mm แล้วใช้ในการละลายชิงคลอไรต์ เข้มข้นร้อยละ 50 โดยใช้ถ่าน 3 g ต่อสารละลายชิงคลอไรต์ 9 mL นำไปกระตุ้นในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 30 นาที ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ คือ ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 362-376 mg/g ค่าการดูดซับไอโอดีน 1088-1117 mg/g

กฤติกา จารุทะวีย์ และวรรณนิภา อมาตยกุล (2540) การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนและกระตุ้นด้วยไอน้ำ, ได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนและกระตุ้นด้วยไอน้ำในขั้นตอนเดียว ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ เวลาและขนาดของกะลาปาล์ม โดยนำกะลาปาล์มขนาด 2.36-4.75 mm มาทำการทดลอง สภาวะที่เหมาะสมที่ได้คือ อุณหภูมิ 750°C เวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณไอน้ำร้อนยิ่งยวดมากเกินไป และอัตราการไหลของอากาศ 0.66 นอร์มัลลิตร/นาที่ ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้คือ ค่าร้อยละผลได้ 19.66 ค่าเถำร้อยละ 7.03 ค่าการดูดซับไอโอดีน 620.16 mg/g และค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 278.02 mg/g

แนวคิดและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมัน มีแนวคิดและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา ดังนี้

1. แนวคิดในการศึกษาความเป็นไปได้

การศึกษาความเป็นไปได้ มีความหมายเช่นเดียวกับ การวิเคราะห์โครงการ (Project Analysis) ซึ่งเป็นการแสดงถึงการเลือกใช้ทรัพยากรไปอย่างมีประสิทธิภาพ ภายใต้จุดมุ่งหมายหรือความต้องการของสังคม โดยจะเป็นการประเมินถึงผลตอบแทนและต้นทุนของโครงการ โดยการศึกษาความเป็นไปได้นี้จะเน้นการประเมินความคุ้มค่าของโครงการ โดยโครงการจะมีความคุ้มค่าเมื่อผลตอบแทนมีค่าสูงกว่าต้นทุน ดังนั้นในการวิเคราะห์หรือศึกษาความเป็นไปได้โครงการ จึงจัดเป็นขั้นตอนสำคัญก่อนการตัดสินใจคัดเลือกและดำเนินโครงการ เพราะหลังจากที่ได้มีการวางแผนโครงการแล้ว ผู้จัดทำโครงการ ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้โครงการ เพื่อที่จะได้มีข้อมูลประกอบการตัดสินใจเบื้องต้น ว่าการลงทุนของโครงการนั้น มีหนทางพอที่จะดำเนินการต่อไปได้หรือไม่ ก่อนที่จะได้มีการนำเสนอให้ผู้มีอำนาจตัดสินใจพิจารณาโครงการต่อไป (ยุพิน. 2537: 30)

การวิเคราะห์ทางการเงิน (Financial Analysis) หรือการศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงิน เป็นการวิเคราะห์การลงทุนของเอกชนเป็นสำคัญ โดยจะรวมไปถึงการวางแผนทางการเงินที่เหมาะสมกับโครงการ เพื่อทำให้ทราบว่าถ้ามีการดำเนินงานโครงการแล้ว จะไม่มีปัญหาทางการเงินเกิดขึ้น ในทุกขั้นตอนตลอดอายุของโครงการ นอกจากนี้การวิเคราะห์ยังใช้ในการพิจารณาว่า

โครงการมีผลประโยชน์มากพอที่จะจูงใจให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียตัดสินใจที่จะเข้าร่วมโครงการด้วยหรือไม่การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจ (Economic Analysis) หรือการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจ เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจัดสรรทรัพยากรว่าโครงการที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นจะให้ผลตอบแทนต่อระบบเศรษฐกิจส่วนรวมของประเทศ หรือไม่เพียงพอ เพื่อประกอบการพิจารณาตัดสินใจในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้ได้รับผลประโยชน์ต่อส่วนรวมมากที่สุดการวัดต้นทุนและผลตอบแทน และการเปรียบเทียบการลงทุนต่างๆจะช่วยกำหนดว่า การลงทุนทางใด ที่จะช่วยส่งเสริมสวัสดิการของเศรษฐกิจทั้งระบบดีที่สุด

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจและการเงิน มีหลักการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจ จะใช้ราคาที่แน่นอน เพื่อที่จะสะท้อนถึงมูลค่าที่แท้จริงทางสังคมหรือทางเศรษฐกิจที่ดีกว่า โดยราคาที่ถูกรับค่านี้นี้เรียกว่า ราคาเงา (Shadow prices) หรือราคาในทางบัญชี (accounting prices) ส่วนการวิเคราะห์ทางการเงินจะใช้ราคาตลาด (Market prices) ซึ่งในการวิเคราะห์ทางการเงินได้รวมเอาภาษีและเงินอุดหนุนเข้าไว้ด้วย

2. การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจ ในรายการภาษี (taxes) และเงินอุดหนุน (subsidies) ถือเป็นรายการเงินโอน (transfer payment) โดยภาษีจัดเป็นส่วนหนึ่งของผลประโยชน์รวมของโครงการ ซึ่งโอนไปให้แก่สังคมส่วนรวม และเงินอุดหนุนถือเป็นต้นทุนของสังคม เนื่องจากเป็นค่าใช้จ่ายของสังคมที่ใช้ไปในการดำเนินงานโครงการ ส่วนการวิเคราะห์ทางการเงิน การปรับค่างดกล่าวไม่มีความจำเป็น เพราะภาษีถือเป็นต้นทุน และเงินอุดหนุนถือเป็นผลตอบแทนโครงการ

3. การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจ ดอกเบี้ยของทุนจะไม่ถูกแยก และหักออกจากผลตอบแทนเบื้องต้น เพราะเป็นผลตอบแทนที่ให้กับสังคม ส่วนการวิเคราะห์ด้านการเงิน ดอกเบี้ยจัดเป็นต้นทุนค่าใช้จ่าย ที่ต้องหักออกจากผลประโยชน์ ดอกเบี้ยที่จ่ายให้กับผู้ร่วมโครงการ ไม่น่ามาคิดว่าเป็นต้นทุน แต่ถือเป็นส่วนหนึ่งของผลตอบแทนทางการเงินซึ่งผู้ร่วมโครงการได้รับ

นอกจากนี้การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจ ยังให้ความสนใจกับผลทางอ้อม (indirect effect) ซึ่งไม่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางการเงิน โดยผลทางอ้อม คือ ต้นทุนและผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการมีโครงการ แต่ไม่ได้เพิ่มพูนให้กับโครงการ ต้นทุนทางอ้อม (indirect costs) เช่น ผล

จากมลพิษทางอากาศ ที่มีผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ส่วนผลประโยชน์ทางอ้อม (indirect benefits) เช่น การสร้างอ่างเก็บน้ำ เพื่อกักเก็บน้ำ อาจเป็นผลประโยชน์ต่อการท่องเที่ยวและการประมง

2. แนวคิดเกี่ยวกับดัชนีชี้วัดความคุ้มค่าโครงการ

การศึกษาความเป็นไปได้หรือการวิเคราะห์โครงการ เพื่อประเมินความคุ้มค่าของโครงการ ตัวชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการ มีความสำคัญอย่างมากในการ ที่จะยอมรับ หรือปฏิเสธโครงการที่กำลังพิจารณาอยู่ เพื่อนำมาใช้สำหรับเป็นเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน โดยตัวชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการมี 3 ตัว คือ

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ ผลรวมของผลตอบแทนสุทธิที่ได้ปรับค่าของเวลาแล้วของโครงการ หรือ ผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนลบด้วยผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน ที่เกิดขึ้นตลอดอายุโครงการ โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิอาจมีค่าเป็นบวก ลบ หรือศูนย์ก็ได้ขึ้นอยู่กับขนาดมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวม (Present Value Benefit: PVB) หักออกด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม (Present Value Cost: PVC) สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

n

$$NPV = \sum_{t=1}^n [(B_t - C_t) / (1 + r)^t]$$

$$t = 1$$

$$= PVB - PVC$$

เมื่อ B_t = ผลประโยชน์หรือผลตอบแทนของโครงการในปีที่ t

C_t = ต้นทุนของโครงการในปีที่ t

r = อัตราคิดลดที่เหมาะสม (Discount Rate)

t = ปีของโครงการ คือปีที่ 1, 2, 3... n

n = จำนวนปีทั้งสิ้นของโครงการ

เกณฑ์การตัดสินใจที่จะลงทุนในโครงการ คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีค่ามากกว่าศูนย์ หมายความว่า มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนมากกว่ามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนซึ่งแสดงถึง การลงทุนคุ้มค่า

2. อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio: BCR) คือ อัตราส่วนระหว่าง มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนตลอดอายุโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนตลอดอายุของโครงการซึ่งเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^n [B_t / (1+r)^t]}{\sum_{t=1}^n [C_t / (1+r)^t]}$$

$$= PVB/PVC$$

เกณฑ์การตัดสินใจที่จะลงทุนในโครงการ คือ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน ต้องมีค่ามากกว่าหนึ่ง ทั้งนี้เพราะเมื่อ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน มีค่ามากกว่าหนึ่งหมายความว่า ผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการจะมีมากกว่าต้นทุนที่เสียไปในโครงการ

3. อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) คือ อัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการลงทุน หรือหมายถึงอัตราดอกเบี้ยใดก็ตามที่ใช้เป็นอัตราคิดลดซึ่งมีผลทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นศูนย์สำหรับอัตราผลตอบแทนภายในโครงการจะทำการศึกษาดังนี้

3.1 Financial Internal Rate of Return (FIRR) ใช้สำหรับการวิเคราะห์โครงการด้านการเงินเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าเสียโอกาสของทุน หรืออัตราดอกเบี้ยเงินกู้ยืม ถ้า FIRR มีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ยของเงินกู้ยืม ถือว่าโครงการนั้นคุ้มค่าการลงทุนด้านการเงิน

3.2 Economic Internal Rate of Return (EIRR) ใช้สำหรับการวิเคราะห์โครงการด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าเสียโอกาสของทรัพยากรที่นำมาใช้ในโครงการ หรือค่าเสียโอกาสเงินทุน ซึ่งถ้าค่า EIRR มีค่ามากกว่าค่าเสียโอกาสเงินทุน ถือว่าโครงการมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

โดยสูตรการคำนวณค่า IRR เขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

n

$$IRR = \sum_{t=1}^n [(B_t - C_t) / (1 + r)^t] = 0$$

t = 1

เกณฑ์ในการตัดสินใจที่จะยอมรับโครงการ คือ อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ มีค่าสูงกว่าค่าเสียโอกาสของทุน แสดงว่าการลงทุนในโครงการนี้จะคุ้มค่าเพราะผลตอบแทนของเงินที่ใช้ไปในโครงการจะสูงกว่าใช้เงินไปในทางเลือกอื่น

3. แนวคิดเกี่ยวกับต้นทุนและค่าใช้จ่าย

ต้นทุนและค่าใช้จ่ายของโครงการ หมายถึง มูลค่าของทรัพยากรที่นำมาใช้กับโครงการดังกล่าว หลักการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายจึงต้องอิงอยู่กับหลักค่าเสียโอกาสของทรัพยากร นั่นคือ ระบบเศรษฐกิจจะต้องเสียสละทรัพยากรให้กับโครงการนี้ แทนที่จะนำไปใช้กับโครงการอื่น ผลประโยชน์ที่เสียสละไปนี้ เรียกทั่วไปว่า ค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) ดังนั้นค่าใช้จ่ายทางเศรษฐกิจของโครงการ อาจมีความหมายที่แตกต่างไปจากค่าใช้จ่ายทางการเงินของโครงการก็ได้ ถ้าราคาตลาดของทรัพยากรที่นำมาใช้กับโครงการไม่ใช่ค่าเสียโอกาสของทรัพยากรนั้น เช่น ราคาตลาดอาจสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าเสียโอกาสทรัพยากร เป็นต้น ลักษณะเช่นนี้ย่อมจะเกิดขึ้นได้เสมอ ถ้าระบบเศรษฐกิจมีการแข่งขันไม่สมบูรณ์ สำหรับต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายของโครงการอาจแบ่งออกได้เป็น

ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนทางตรง (direct costs) หรือ ค่าใช้จ่ายขั้นต้น (primary costs) และค่าใช้จ่ายหรือ ต้นทุนทางอ้อม (indirect costs) หรือ ค่าใช้จ่ายขั้นสำรอง (secondary costs)

1. ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนทางตรง (direct costs) หมายถึง มูลค่าการใช้ทรัพยากรหรือปัจจัยการผลิตเพื่อการลงทุน ตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายเบื้องต้นของโครงการ ซึ่งในการก่อสร้างและการดำเนินโครงการต้องใช้ปัจจัยการผลิตหลายประเภท ได้แก่ ที่ดิน สิ่งก่อสร้าง เครื่องจักรอุปกรณ์ และการติดตั้ง รวมทั้งการดำเนินงานและบำรุงรักษา ได้แก่ ค่าวัสดุ ค่าแรงงาน และอื่นๆ เป็นต้น

2. ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนทางอ้อม (indirect costs) หมายถึง ค่าใช้จ่ายหรือมูลค่าที่เกิดจากมีโครงการหรือความเสียหายที่กลุ่มคนได้รับจากการมีโครงการโดยไม่ได้รับการชดเชย โดยไม่ใช้ต้นทุนตามวัตถุประสงค์ของโครงการ ซึ่งค่าใช้จ่ายประเภทนี้จะเกิดกับบุคคลหรือกลุ่มบุคคลภายนอกโครงการ ค่าใช้จ่ายประเภทนี้จะเกิดขึ้น เมื่อโครงการลงทุนมีผลกระทบในทางลบต่อสภาพแวดล้อม ผลกระทบทางด้านนี้ส่วนใหญ่จะเกิดจากปัญหาทางด้านเทคนิคของโครงการ ซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่าผลเสียภายนอกด้านเทคนิค เช่น การส่งเสริมอุตสาหกรรมอาจมีผลทำให้ปลาตลดน้อยลง เนื่องจากเมื่อมีโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว โรงงานปล่อยน้ำเสียลงในแม่น้ำ เป็นต้น ผลกระทบภายนอกทางเทคนิคนี้เมื่อเกิดขึ้นแล้วจะต้องมีการระบุให้ชัดเจนและตีค่าออกมาเป็นตัวเงิน เพื่อนำไปรวมไว้เป็นค่าใช้จ่ายของโครงการ

สำหรับรายการค่าใช้จ่าย ที่ไม่ถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐกิจ ได้แก่รายการดังต่อไปนี้ (ประสิทธิ์. 2542: 103-106)

1) ค่าภาษี (tax) ค่าภาษีที่โครงการจ่ายให้แก่รัฐบาลไม่ว่าจะเป็นในรูปภาษีทางตรงหรือภาษีอื่นใดก็ตาม แม้จะมีการจ่ายเป็นภาษีไปจริงก็ตาม แต่สำหรับการวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐกิจถือเป็นเพียงรายจ่ายโอน จากผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการไปสู่รัฐบาล มิได้มีส่วนต่อการใช้ทรัพยากรจริงๆ ของโครงการแต่ประการใด ดังนั้นกรณีที่ค่าภาษีได้มีการรวม ไว้ในค่าใช้จ่ายทางการเงินของโครงการแล้ว ก็ต้องมีการหักรายการภาษีออก

2) ค่าชำระหนี้ (debt service) ค่าชำระหนี้เป็นรายการโอนประเภทหนึ่ง ของโครงการเมื่อโครงการได้รับเงินกู้มา จะเป็นผลให้โครงการมีทุนหมุนเวียนของโครงการลดน้อยลง ในทางบัญชีการเงินจึงถือว่าเงินกู้รับเป็นรายได้ ส่วนการชำระหนี้เป็นรายจ่าย แต่สำหรับการวิเคราะห์โครงการโดยส่วนรวมทางเศรษฐกิจแล้ว รายการเงินกู้และการชำระหนี้ จะเป็นเพียงรายการโอนกันในรูปแบบ

กระแสการเงินหรือในทางบัญชีการเงินเท่านั้น มิได้เกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรจริงๆ ไปเพื่อผลิตเป็นสินค้าและบริการแต่ประการใด และจะต้องหักออกจากค่าใช้จ่ายหากมีรายการนี้

3) ค่าเสื่อมราคา (depreciation) ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจ จะไม่รวมค่าเสื่อมราคาไว้เป็นส่วนหนึ่งของค่าใช้จ่ายโครงการ เพราะเมื่อมีการซื้อสินค้าประเภททุนหรือทรัพย์สินถาวรมาใช้กับโครงการในปีใด ก็จะมีการพิจารณาเป็นค่าใช้จ่ายในปีนั้นไปแล้ว จึงไม่จำเป็นต้องมีการหักค่าเสื่อมราคาของการใช้ในปีต่อๆ มาอีก

4) ต้นทุนจม (sunk cost) คือต้นทุนที่เกิดขึ้นก่อนที่จะประเมินโครงการและไม่อาจจะหลีกเลี่ยง แม้ว่าโครงการจะเกิดขึ้นหรือไม่ก็ตาม ควรตัดออกจากต้นทุนของโครงการ ซึ่งเราจะรวมเฉพาะต้นทุนที่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เมื่อไม่มีโครงการเกิดขึ้นเท่านั้น

5) เงินสำรองจ่าย (contingencies) ในทางเศรษฐกิจนั้นจะคิดเฉพาะเงินสำรองจ่ายที่กันไว้เฉพาะรายการและราคาที่เราคาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลง ไม่รวมถึงเงินสำรองจ่ายสำหรับเงินเพื่อเพราะเงินเพื่อเป็นการเพิ่มราคา ให้กับสินค้าโดยทั่วไป โดยกระทบราคาที่ใช้คำนวณต้นทุน และผลประโยชน์ในอัตราเดียวกัน จึงไม่ส่งผลต่อราคาโดยเปรียบเทียบ (relative price) แต่ถ้าวการเปลี่ยนแปลงราคาดังนั้น ทำให้ราคาสินค้าแต่ละชนิดขึ้นลงไม่ทัน เป็นผลให้ราคาโดยเปรียบเทียบเพิ่มขึ้น ต้องมีการปรับราคาตามที่ได้คาดคะเนไว้

4. แนวคิดเกี่ยวกับผลประโยชน์

ผลประโยชน์ของโครงการสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1. ผลประโยชน์ทางตรง (direct benefits) หรือผลประโยชน์ขั้นต้น (primary benefits) หมายถึง ผลประโยชน์ตอบแทนใดๆ ของโครงการที่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการ แล้วจัดเป็นผลตอบแทนโดยตรงของโครงการนั้น

นอกจากนี้การแบ่งผลประโยชน์ของโครงการ อาจแบ่งได้เป็น ผลประโยชน์ที่วัดได้ และผลประโยชน์ที่วัดไม่ได้ (Tangible and intangible benefits) ผลประโยชน์ที่วัดไม่ได้ คือผลตอบแทนที่วัดไม่ได้ในแง่ของปริมาณ หรือจากแง่ของมูลค่าในรูปตัวเงิน ส่วนผลประโยชน์ที่วัดได้ เป็นผลตอบแทนที่วัดมูลค่าได้เป็นตัวเงิน โดยผลประโยชน์ที่วัดได้หรือไม่ได้นั้น ไม่ได้หมายความว่าไม่สามารถวัดได้เลย แต่การวัดได้หรือไม่ได้นั้น มักจะขึ้นอยู่กับพิจารณาในทางปฏิบัติว่าวัดได้

หรือไม่ และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากน้อยเพียงใด ผลประโยชน์บางชนิดอาจวัดไม่ได้ในเวลาหนึ่งแต่สามารถวัดได้ในเวลาต่อมา

2. ผลประโยชน์ทางอ้อม (indirect benefits) หรือผลประโยชน์ชั้นรอง (secondary benefits) หมายถึง ผลตอบแทนอื่นๆของโครงการ ซึ่งไม่ใช่ผลตอบแทนตามวัตถุประสงค์ของโครงการ แต่เป็นผลพลอยได้ของโครงการ

นอกจากนี้การแบ่งผลประโยชน์ของโครงการ อาจแบ่งได้เป็น ผลประโยชน์ที่วัดได้ และผลประโยชน์ที่วัดไม่ได้ (Tangible and intangible benefits) ผลประโยชน์ที่วัดไม่ได้ คือผลตอบแทนที่วัดไม่ได้ในแง่ของปริมาณ หรือจากแง่ของมูลค่าในรูปตัวเงิน ส่วนผลประโยชน์ที่วัดได้เป็นผลตอบแทนที่วัดมูลค่าได้เป็นตัวเงิน โดยผลประโยชน์ที่วัดได้หรือไม่ได้นั้น ไม่ได้หมายความว่าไม่สามารถวัดได้เลย แต่การวัดได้หรือไม่ได้นั้น มักจะขึ้นอยู่กับพิจารณาในทางปฏิบัติว่าวัดได้หรือไม่ และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากน้อยเพียงใด ผลประโยชน์บางชนิดอาจวัดไม่ได้ในเวลาหนึ่งแต่สามารถวัดได้ในเวลาต่อมา

5. แนวคิดเกี่ยวกับการปรับราคาให้เป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจ

การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจของโครงการลงทุน มูลค่าของต้นทุน และผลตอบแทนที่ได้รับจะคิดโดยใช้ ราคาเงา (Shadow price) ซึ่งเป็นราคาที่มีประสิทธิภาพเนื่องจากเป็นราคาที่สะท้อนถึงมูลค่าที่แท้จริงของทรัพยากร โดยราคาเงานี้อาจเป็นราคาตลาด (Market price) ของสินค้าและบริการในตลาดที่มีการแข่งขันสมบูรณ์ซึ่งราคานี้จะสะท้อนถึงความเต็มใจที่จะจ่ายของผู้บริโภค (Willingness to pay) อีกด้วย แต่เนื่องจากการที่ราคาตลาด ไม่ได้สะท้อนถึงมูลค่าที่แท้จริงของทรัพยากร จึงต้องมีการปรับราคาให้เป็นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐกิจ ในการวิเคราะห์ต้องใช้ราคาเงา ซึ่งในกรณีที่ผู้วิเคราะห์ต้องคำนวณราคาเงาเป็นจำนวนมาก การวิเคราะห์จะเสียเวลามากขึ้น ดังนั้นอีกทางเลือกหนึ่งของการวิเคราะห์ คือ การแปลงมูลค่าทางการเงิน ให้เป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจ โดยใช้ค่าแปรราคาเงา (Conversion Factors: CF) ของแต่ละสินค้าและบริการ การวิเคราะห์ตามระบบที่กล่าวนี้เป็นวิธีการของ Little and Mirrlees และเป็นวิธีการเดียวกับที่เสนอโดย Squire and Van der Tak ในการคำนวณค่าแปรราคาเงา (CF) ของแต่ละสินค้านั้นปัญหาต่างๆที่ทำให้ราคาถูกบิดเบือน และระดับความแตกต่างกันระหว่างสินค้าส่งออกหรือนำเข้า (traded goods) และสินค้าที่ไม่มีการส่งออก

หรือนำเข้า (non traded good) ได้รับการปรับให้ถูกต้องนอกจากนี้สถาบันการเงินระหว่างประเทศ เช่น ธนาคารโลกได้คำนวณค่าแปรรูปราคาของสินค้าและบริการแต่ละชนิดในแต่ละประเทศไว้ ซึ่งค่าแปรรูปราคาสำหรับการวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐกิจในประเทศไทยที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกันมาในแต่ละปี (นันทยา. 2533)

ดังนั้นเมื่อการคำนวณหาค่าแปรรูปราคา (Conversion Factors: CF) ที่แท้จริงต้องใช้เวลามากแทนที่ จะทำการคำนวณหาราคาทางเศรษฐกิจโดยตรง ก็ใช้วิธีการแปลงมูลค่าทางการเงิน (Financial account) มาเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจ (Economic account) โดยใช้ค่าแปรรูปราคา (Conversion Factors: CF) ซึ่งปัจจุบันมีหน่วยงานที่ได้ทำการคำนวณไว้ ซึ่งสามารถนำไปใช้กับโครงการต่างๆ ได้

โดย Ahmed Sadiq ได้ทำการศึกษาและคำนวณหาค่าแปรรูปราคา (Conversion Factors: CF) ของระบบเศรษฐกิจไทย โดยใช้ข้อมูลด้านการค้า ซึ่งได้แก่ มูลค่าการนำเข้า ส่งออก และภาษี แล้วคำนวณหาค่า Standard Conversion Factor และ Conversion Factors ซึ่งผลการศึกษาสามารถสรุปค่าแปรรูปราคา (Conversion Factors: CF) ได้ดังตาราง 7

ตาราง 7 ค่า Conversion Factor (CF) ของ Ahmed Sadiq

รายการ	ค่า Conversion Factor
Traded	

Standard Conversion Factor	0.92
กลุ่มสินค้าบริโภค	0.95
กลุ่มสินค้าขั้นกลาง	0.94
กลุ่มสินค้าทุน	0.84
Non traded	
กลุ่มการก่อสร้าง	0.88
กลุ่มไฟฟ้า	0.90
กลุ่มขนส่ง	0.87
แรงงาน	0.92
ข้าว	1.11

ที่มา: ประสิทธิ์ ตงยิ่งเจริญ. (2542).

โดยในการศึกษานี้ใช้วิธีการ แปลงมูลค่าทางการเงิน มาเป็นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้ค่าแปรราคาเงา (Conversion Factors: CF) ของ Ahmed Sadiq

6. แนวคิดเกี่ยวกับอัตราคิดลด

การเลือกอัตราคิดลด (Choosing the discount rate) เพื่อใช้ในการหามูลค่าปัจจุบัน สามารถแยกออกได้เป็น 3 อัตรา (ชูชีพ. 2544)

1. อัตราตัดขาด (cut-off rate)
2. อัตรากู้ยืม (borrowing rate)
3. อัตราความชอบตามเวลาทางสังคม (social time preference rate)

อัตราคิดลดแบบ อัตราตัดขาด (cut-off rate) ใช้สำหรับคำนวณหาค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน หรืออัตราต่ำกว่านี้ จะไม่เป็นที่ยอมรับสำหรับอัตราผลตอบแทนภายในลดลง

สำหรับการวิเคราะห์ทางการเงิน อัตราตัดขาด (cut-off rate) โดยปกติคือต้นทุนหน่วยสุดท้ายของเงินตรา (marginal costs of money) ที่มีต่อกิจการ หรืออัตราที่รัฐวิสาหกิจสามารถกู้ยืมเงินได้ ส่วนการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจ อัตราตัดขาด (cut-off rate) ที่ใช้คือ ค่าเสียโอกาสเงินทุน (opportunity costs of capital) ซึ่งเป็นอัตราที่สะท้อนถึงการเลือกของสังคมโดยส่วนรวมระหว่างผลตอบแทนในปัจจุบันและอนาคตไม่มีใครเลยที่จะทราบว่าค่าเสียโอกาสที่แท้จริงเป็นเท่าใด ค่าเสียโอกาสของทุนในประเทศกำลังพัฒนาส่วนใหญ่จะมีค่าในรูปที่แท้จริง (in real terms) อยู่ระหว่างร้อยละ 8 ถึง 15 ต่อปี ดังนั้น อัตราที่เลือกใช้กันทั่วไปตาม (the rule of thumb) คือร้อยละ 12 ต่อปี

อัตราคิดลดที่เลือกใช้สำหรับการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจแบบที่สองคืออัตรากู้ยืม (Borrowing rate) ที่ประเทศต้องจ่าย เพื่อที่จะใช้กับโครงการเมื่อประเทศคาดว่าจะมีอัตรากู้ยืมเงินจากต่างประเทศมาเพื่อการลงทุนโครงการ

อัตราความชอบตามเวลาทางสังคม (Social time preference rate) โดยทั่วไปอัตราคิดลดที่ใช้กับผลตอบแทนอนาคตต่อสังคมโดยส่วนรวมจะมีค่าต่ำกว่าอัตราคิดลดต่อบุคคล เพราะสังคมมีช่วงเวลา (time horizon) ที่ยาวนานกว่าบุคคลนั่นเอง ซึ่งหมายความว่าอัตราคิดลดที่ใช้กับโครงการสาธารณะ (public project) จะต่ำกว่าที่ใช้กับโครงการเอกชน (private project) อัตราความชอบตามเวลาทางสังคมนี้จะแตกต่างไปจากค่าเสียโอกาสของทุนตรงที่ว่าค่าเสียโอกาสของทุนได้จากกิจกรรมการลงทุนทั้งภาครัฐและเอกชน

โดยในการศึกษาครั้งนี้ จะเลือกใช้อัตราคิดลดร้อยละ 10 เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งอัตราคิดลดของประเทศที่กำลังพัฒนา อัตราคิดลดจะมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 8-15

7. แนวคิดเกี่ยวกับอายุโครงการ

อายุโครงการ หมายถึง ช่วงเวลาที่โครงการยังคงให้ผลตอบแทน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่โครงการยังคงสามารถทำได้ หรือพิจารณาตามอายุการใช้งานทางเทคนิคของทรัพย์สินประเภททุนที่สำคัญ โดยยึดเหตุผลทางวิศวกรรม

8. แนวคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความอ่อนไหว

ในโลกของความเป็นจริง อนาคตเป็นสิ่งที่ไม่แน่นอน เนื่องจากเกิดความเปลี่ยนแปลงของสถานการณ์ต่างๆ มากมาย เช่น อาจมีความเปลี่ยนแปลงของความต้องการด้านตลาดที่คาดไว้ในอนาคต การเปลี่ยนแปลงของราคาเชื้อเพลิง ต้นทุนและผลประโยชน์เกิดการเปลี่ยนแปลง ราคาของผลผลิต อัตราคิดลด ซึ่งจะทำให้มีผลต่อการวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงไปด้วยจึงต้องมีการวิเคราะห์ซ้ำเพื่อดูว่าหากข้อสมมติและเหตุการณ์ต่างๆตามที่กำหนดไว้เดิม เกิดเปลี่ยนแปลงไป จะส่งผลอย่างไรต่อความเป็นไปได้โครงการ โดยปัจจัยที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอน ได้แก่

1. ผลผลิตของโครงการ ผลผลิตของโครงการเป็นผลประโยชน์หลักของโครงการ ซึ่งหากผลผลิตมีการเปลี่ยนแปลงไปจากที่คาดการณ์เอาไว้ ก็จะทำให้มีผลต่อมูลค่าของผลประโยชน์ของโครงการ

2. ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายของโครงการที่ได้มีการประมาณการเอาไว้ อาจมีการเปลี่ยนแปลงต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการ

3. ราคาที่นำมาใช้ในการประเมินค่า เนื่องจากราคาที่นำมาใช้ในการประเมินต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการจะใช้ราคาปัจจุบันคงที่ ซึ่งอาจจะทำให้ผลการประเมินผิดพลาดได้ โดยในความเป็นจริงแล้วราคาของปัจจัยการผลิตที่ใช้ประเมิน ย่อมไม่คงที่ตลอดระยะเวลาดำเนินโครงการ ซึ่งในอนาคตราคาอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะมีผลโดยตรงกับต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการ

ซึ่งปัจจัยต่างๆที่ได้กล่าวมานี้ ทำให้โครงการเกิดความเสี่ยงและความไม่แน่นอน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ซ้ำเพื่อดูว่า เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วจะมีผลอย่างไรต่อความเป็นไปได้ของโครงการ โดยในการศึกษาครั้งนี้ จะทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทั้งทางด้านการเงินและทางเศรษฐศาสตร์ ภายใต้ข้อสมมติของการศึกษา ดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านต้นทุน โดยกำหนดให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 10 ผลประโยชน์คงที่ ตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสถานะทางเศรษฐกิจที่มีความผันผวนตลอดเวลา เนื่องจากมีการปรับตัวของปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนของโครงการ เช่น ราคาน้ำมัน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อราคาสินค้าในปัจจุบัน

กรณีที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านผลประโยชน์ โดยกำหนดให้ผลประโยชน์ลดลงร้อยละ 30 ต้นทุนคงที่ จากความไม่แน่นอนอันเนื่องมาจากฤดูกาล ซึ่งทำให้เกิดการขาดแคลนกะลาปาล์ม และเหตุขัดข้องทางเทคนิคของเครื่องจักรทำให้ต้องหยุดการเดินเครื่อง

9. แนวคิดเกี่ยวกับการศึกษาผลกระทบภายนอก

ทฤษฎีทางด้านเศรษฐศาสตร์ ได้ถูกนำมาใช้ในการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่มีอยู่อย่างไม่จำกัด เพื่อนำไปสู่การใช้ประโยชน์อย่างสูงสุดแก่สังคม โดยศาสตร์ทางด้านนี้ได้ถูกนำมาใช้ในการตัดสินใจ ที่เป็นประโยชน์ต่อการใช้ทรัพยากร โดยทรัพยากรถูกนำมาใช้เป็นปัจจัยการผลิตในระบบเศรษฐกิจ ซึ่งแต่เดิมนั้นมิได้คำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม

จากการใช้ทรัพยากรเพื่อเป็นปัจจัยการผลิตนี้ ซึ่งนอกจากจะทำให้เกิดสินค้าและบริการในระบบเศรษฐกิจแล้ว ยังก่อให้เกิดผลกระทบภายนอกต่อทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดนี้ บางส่วนสามารถทดแทนขึ้นใหม่ แต่บางส่วนใช้แล้วหมดไป เมื่อประชากรเพิ่มมากขึ้น การนำทรัพยากรมาใช้เพื่อเป็นปัจจัยการผลิตในการผลิตสินค้าและบริการก็เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นผลกระทบภายนอกที่เกิดขึ้นต่อทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมก็เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน

ปัจจุบันผลกระทบภายนอก ที่เกิดขึ้นกับทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม จึงถูกนำมาพิจารณาในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพิจารณาศึกษาความเป็นได้ของโครงการลงทุน เพื่อให้สะท้อนถึงมูลค่าที่แท้จริงของสินค้าและบริการที่ทำการพิจารณาอยู่

ดังนั้นผลกระทบภายนอก หมายถึง ผลที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมทางเศรษฐกิจจากการใช้ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีผลทำให้สถานภาพของสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยอาจมีผลทำให้สิ่งแวดล้อมมีสภาพเลวลงหรือดีขึ้นก็ได้ โดยสภาพดังกล่าวนี้ ไม่สามารถนำมาตกลงกันโดยอาศัยกลไกตลาด และไม่มีการชดเชยความเสียหายที่เกิดขึ้น

ผลกระทบภายนอกจากการใช้ทรัพยากรที่มีต่อสิ่งแวดล้อมนี้ อาจเป็นผลกระทบภายนอกเชิงลบ (negative externalities) โดยมีผลทำให้คุณภาพสิ่งแวดล้อมแย่ลงกว่าระดับเดิม ผลกระทบดังกล่าวนี้ก่อให้เกิด ต้นทุนภายนอก (external costs) ซึ่งปัญหาผลกระทบภายนอกเชิงลบนี้ มักจะไม่มีผู้รับผิดชอบโดยตรง จึงมักไม่ถูกนำมาพิจารณา ซึ่งมีผลทำให้ราคาของสินค้าและบริการไม่

สะท้อนถึงมูลค่าที่แท้จริง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้ไม่มีประสิทธิภาพทางเศรษฐศาสตร์ โดยผลกระทบภายนอกที่มีต่อสิ่งแวดล้อมนั้นบางครั้งอาจถูกเรียกว่า มลพิษ (pollution)

10. แนวคิดเกี่ยวกับการประเมินผลกระทบภายนอก

โดยการประเมินมูลค่าผลกระทบภายนอก มี 3 วิธีการด้วยกัน ได้แก่

1. การประเมินโดยใช้มูลค่าตลาด (Market Value Approach) โดยสิ่งแวดล้อมเปรียบเสมือนปัจจัยการผลิต การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในผลิตภาพและต้นทุนการผลิต และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงราคาและระดับผลผลิต ซึ่งวิธีการประเมินโดยใช้มูลค่าตลาด ประกอบด้วย

- 1.1 การเปลี่ยนแปลงผลิตภาพ (Change in Productivity)
- 1.2 ต้นทุนความเจ็บป่วย (Cost of Illness)
- 1.3 ต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost)
- 1.4 ต้นทุนในการทดแทน (Replacement Cost)
- 1.5 ต้นทุนในการป้องกัน (Preventive Expenditure)

2. การประเมินโดยใช้มูลค่าตัวแทน (Surrogate Value Approach) โดยการใช้มูลค่าตลาดของสินค้าทดแทน ทางอ้อมนี้ เพราะสินค้าบริการที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมมีลักษณะทดแทนกันไม่ได้กับสินค้าและบริการทั่วไปที่ผ่านระบบตลาด ซึ่งมูลค่าของสิ่งแวดล้อมจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เลือกมาเป็นตัวแทน ประกอบด้วย

- 2.1 มูลค่าทรัพย์สินหรือที่ดิน (Property or Land Value)
- 2.2 ความแตกต่างของค่าจ้างแรงงาน (Wage Differential)
- 2.3 ต้นทุนในการเดินทาง (Travel Cost)

3. การประเมินโดยใช้การสมมติ (Simulate Valued Approach) ประกอบด้วย

- 3.1 การประเมินค่าจากการสำรวจ (Contingent Valuation Method)
- 3.2 เทคนิคการถามมูลค่าขั้นสูง ขั้นต่ำ (Bidding Game)

3.3 เทคนิคการถ้ามโดยมีทางเลือก (Trade off Game)

3.4 เทคนิคการถ้ามโดยไม่มีต้นทุน (Costless Choice)

3.5 เทคนิคการถ้ามผู้เชี่ยวชาญ (Delphi Technique)

การศึกษาค้างนี้จะทำการประเมินมูลค่าผลกระทบภายนอก ซึ่งจะใช่วิธีการประเมินโดยใช้มูลค่าตลาด (Market Value Approach) โดยมีการประเมินมูลค่าผลกระทบภายนอก ดังต่อไปนี้

กะลาปาล์ม ที่ใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ของโครงการ เมื่อนำกะลาปาล์มมาใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ ทำให้เสียโอกาสในการนำกะลาปาล์มไปใช้ประโยชน์ในทางอื่น สำหรับการศึกษาค้างนี้ จะทำการประเมินต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) โดยเป็นการวัดต้นทุนของทรัพยากรโดยการประมาณการจากรายได้ที่จะได้รับ ถ้าทรัพยากรนั้นถูกใช้ไปในกิจกรรมอย่างอื่น ดังนั้นในการศึกษาค้างนี้จะประเมินต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) ของกะลาปาล์มจากความสูญเสียในการเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล

นอกจากนี้ยังทำการประเมินมูลค่ามลพิษทางอากาศ ที่เกิดจากการผลิตถ่านกัมมันต์ประเภทต่างๆ ซึ่งคิดเฉพาะการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งเป็นก๊าซที่ก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนหรือ สภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) เท่านั้น โดยจะเป็นการประเมินผลกระทบภายนอกจากต้นทุนในการปลูกป่าทดแทน เพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้วิธีการประเมินมูลค่าจากต้นทุนในการทดแทน (Replacement Cost Approach) ซึ่งเป็นการวัดต้นทุนที่ผลิตเพื่อสร้างทรัพยากรขึ้นมาใหม่ เพื่อไปทดแทนทรัพยากรที่สูญเสียไปเนื่องจากมีโครงการ ซึ่งวิธีการดังกล่าวในการศึกษาค้างนี้ จะถูกนำมาหามูลค่าของผลกระทบภายนอกที่เกิดขึ้น จากการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมัน

บทที่ 3

สภาพทั่วไปของปาล์มน้ำมันและกะลาปาล์ม

ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันที่ให้ผลผลิตทางน้ำมัน สูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ ทั้งด้านต้นทุนการผลิตและราคาทางการตลาด อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย ทั้งในสินค้าอุปโภคและบริโภค ส่วนแบ่งทางการด้านการผลิตน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันพืชของโลก จึงเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว แต่ทั้งนี้เนื่องจากผลตอบแทนการปลูกปาล์มน้ำมันดีกว่าการปลูกพืชชนิดอื่นเช่นยางพาราและการทำนาข้าว จึงเป็นแรงจูงใจให้เกษตรกรขยายพื้นที่เพาะปลูก ประกอบกับมียุทธศาสตร์ต่างๆ เช่น ยุทธศาสตร์ไบโอดีเซล ยุทธศาสตร์ปาล์มน้ำมัน ซึ่งมีเป้าหมายโครงการคือเร่งขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั่วประเทศ

วิกิพีเดีย (2551) ให้ความหมายว่า ปาล์มน้ำมัน (Oil palm) เป็นพืชตระกูลปาล์มลักษณะลำต้นเดี่ยว ขนาดลำต้นประมาณ 12 -20 นิ้ว เมื่ออายุประมาณ 1-3 ปี ลำต้นจะถูกหุ้มด้วยโคนกาบใบ แต่เมื่ออายุมากขึ้นโคนกาบใบจะหลุดร่วงเห็นลำต้นชัดเจน ผิวของลำต้นคล้ายๆ ต้นตาล ลักษณะใบเป็นรูปก้างปลา โคนกาบใบมีลักษณะเป็นซี่ คล้ายหนามแต่ไม่คมมาก เมื่อไปถึงกลางใบหนามดังกล่าวจะพัฒนาเป็นใบ การออกดอกเป็นพืชที่แยกเพศ คือต้นที่เป็นเพศผู้ก็จะให้เกสรตัวผู้อย่างเดียว ต้นที่ให้เกสรตัวเมียจึงจะติดผล ลักษณะผลเป็นทะลาย ผลจะเกาะติดกันแน่นจนไม่สามารถสอดนิ้วมือเข้าไปที่ก้านผลได้ เวลาเก็บผลปาล์มจึงต้องใช้มีดงอเกี่ยวที่โคนทะลายแล้วดึงให้ขาดก่อนที่จะตัดทะลายปาล์มต้องตัดทางปาล์มก่อนเพราะผลปาล์มจะตั้งอยู่บนทางปาล์ม กระบวนการตัดทาง(ใบ)ปาล์มและตัดเอาทะลายปาล์มลง เรียกรวมๆ ว่า แหวงปาล์ม

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2550) ได้ให้คำนิยามของปาล์มน้ำมันดังนี้

ปาล์มน้ำมัน หมายถึง ปาล์มน้ำมันที่ยืนต้นอยู่หรือปลูกใหม่ในระหว่างวันที่ 1 มกราคม ถึง 31 ธันวาคมของปี

ประเภทของการปลูกปาล์มน้ำมัน หมายถึง สถานภาพหรือลักษณะของการดำเนินกิจกรรมการปลูกปาล์มน้ำมันแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

- บุคคล หมายถึง ครุเรือนเกษตรกรที่ปลูกปาล์มน้ำมันในปีนั้นๆ
- นิติบุคคล หมายถึง บริษัท ห้างหุ้นส่วน บริษัทมหาชน หรือนิติบุคคลอื่นที่ได้จดทะเบียนตามประมวลกฎหมายแพ่งและพาณิชย์ กับกรมทะเบียนการค้า กระทรวงพาณิชย์ และปลูกปาล์มน้ำมันในปีนั้นๆ

ผลผลิตปาล์มน้ำมัน หมายถึง ปาล์มน้ำมันที่เกษตรกรเก็บได้ในรอบปี ซึ่งมีหลายรูปแบบ เช่น ปาล์มทะลาย หรือปาล์มร่วง เป็นต้น

ลักษณะผลผลิตปาล์มน้ำมัน หมายถึง ปาล์มทั้งทะลาย

พันธุ์ปาล์มน้ำมัน หมายถึง พันธุ์ปาล์มน้ำมันที่เกษตรกรนิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์สุราษฎร์ธานี 1 สุราษฎร์ธานี 2 สุราษฎร์ธานี 3 สุราษฎร์ธานี 4 สุราษฎร์ธานี 5 สุราษฎร์ธานี 6 เทเนอรา ดูรา ฟิสิ เฟอรา ยันกัมบี ดีลี-ยันกัมบี



ภาพประกอบ 1 แสดงลักษณะปาล์มน้ำมัน

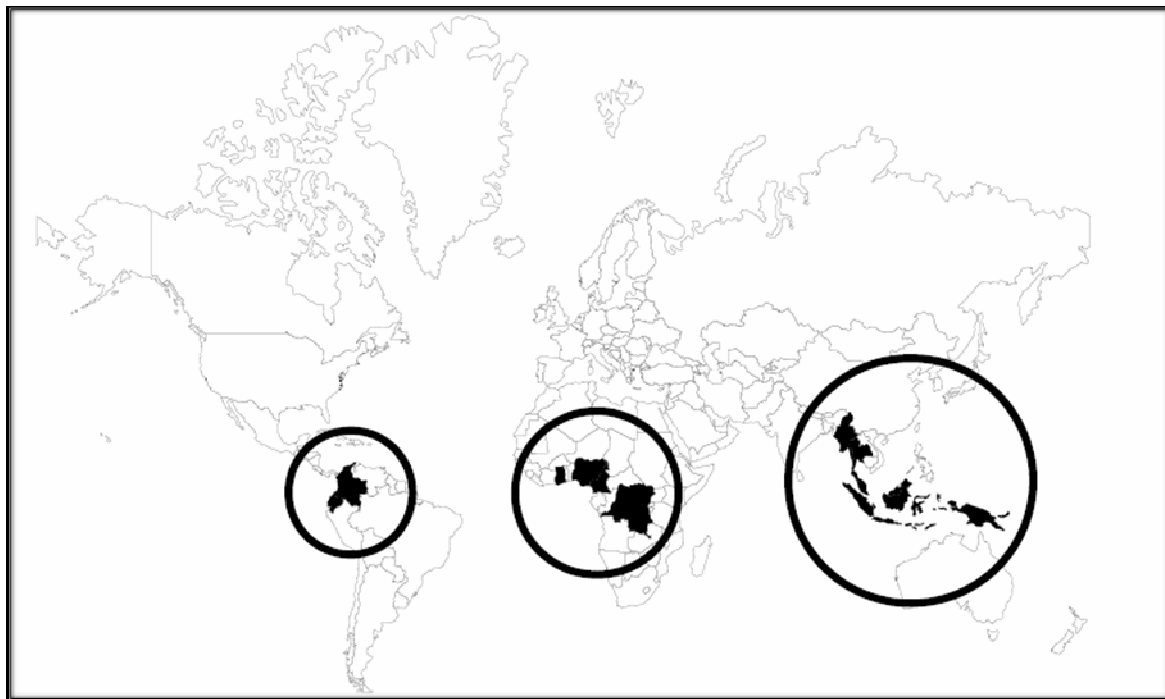
ที่มา : <http://www.rakbankerd.com/agriculture/page.php?id=10>

ปาล์มน้ำมันของโลก

ปาล์มน้ำมันถูกพบในหลายประเทศทั้งในเอเชีย, แอฟริกาและลาตินอเมริกา (ตามภาพที่ 3-2) ซึ่งพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันมากคือ มาเลเซีย, อินโดนีเซีย และประเทศไทย (ตามตารางที่ 3-1) และคาดว่าจะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต เมล็ดของปาล์มน้ำมันพันธุ์ Dura ถูกนำเข้ามาในประเทศไทยครั้งแรกในปี ค.ศ.1848 และ 1875 ตามลำดับ โดยการผลิตปาล์มน้ำมันในเชิงการค้ามีครั้งแรกในปี 1920 เป็นแรงสนับสนุนให้มีการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันมากขึ้นในมาเลเซีย เวลานั้นประเทศไนจีเรีย และ Zaire เป็นผู้นำในการผลิตน้ำมัน

ปัจจุบันผลผลิตน้ำมันปาล์มของโลกเพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 7.88 โดยปี 2550 ผลผลิตน้ำมันปาล์มมีประมาณ 37.02 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจาก 35.97 ล้านตัน ในปี 2549 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.92 ประเทศผู้ผลิตน้ำมันปาล์มรายใหญ่ของโลก คือ อินโดนีเซีย 16.60 ล้านตัน มาเลเซีย 15.29 ล้านตัน ทั้งสองประเทศผลิตน้ำมันปาล์มได้ร้อยละ 86.14 ของผลผลิตน้ำมันปาล์มโลก สำหรับประเทศไทยผลิตได้ 0.85 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 2 ของผลผลิตน้ำมันปาล์มโลก ซึ่งทำให้

ความต้องการบริโภคน้ำมันปาล์มของโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ยต่อปี ร้อยละ 7.9 ปี 2550 ความต้องการใช้น้ำมันปาล์มมีประมาณ 36.90 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจาก 35.39 ล้านตัน ในปี 2549 หรือ เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.2



ภาพประกอบ 2 แสดงแผนที่ของประเทศผู้ผลิตปาล์มน้ำมันรายใหญ่ต่างๆ ของโลก
ที่มา: Zuur. (2004). Orathai Chavalparit. (2006).

ตาราง 8 ปาล์มน้ำมัน : เนื้อที่ให้ผล ผลผลิตและผลผลิตต่อไร่ของประเทศผู้ผลิตที่สำคัญ

ประเทศ	เนื้อที่ให้ผล (1,000 ไร่)			ผลผลิต (1,000 ตัน)			ผลผลิตต่อไร่ (กก.)			Country
	Harvested area (1,000 rai)			Production (1,000 tons)			Yield per rai (Kgs.)			
	2547	2548	2549	2547	2548	2549	2547	2548	2549	
	2004	2005	2006	2004	2005	2006	2004	2005	2006	
รวมทั้งโลก	77,132	60,106	63,841	163,669	165,453	165,923	2,122	2,753	2,599	World Total
มาเลเซีย	21,313	22,625	22,625	69,881	75,650	75,650	3,279	3,344	3,344	Malaysia
อินโดนีเซีย	20,750	22,500	25,750	60,426	64,255	64,255	2,912	2,856	2,495	Indonesia
ไทย ^{1/}	1,932	2,026	2,374	5,182	5,003	6,241	2,682	2,469	2,629	Thailand ^{1/}
โคลัมเบีย	983	1,060	1,060	3,107	3,273	3,273	3,161	3,088	3,088	Colombia
กานา	1,985	2,033	2,033	1,955	2,025	2,025	985	996	996	Ghana
เอกวาดอร์	770	803	803	1,844	1,930	1,930	2,395	2,403	2,403	Ecuador
โกตดิวัวร์	1,292	1,554	1,554	1,564	1,882	1,882	1,211	1,211	1,211	Cote d'Ivoire
ปาปัวนิวกินี	531	550	550	1,250	1,300	1,300	2,354	2,364	2,364	Papua New Guinea
ฮอนดูรัส	281	281	281	1,135	1,233	1,233	4,039	4,388	4,388	Hondurus
แคเมอรูน	356	363	363	1,214	1,222	1,222	3,410	3,366	3,366	Cameroon
อื่น ๆ	26,939	6,311	6,448	16,111	7,680	6,912	598	1,217	1,072	Others

ที่มา: องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ

หมายเหตุ : 1/ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2550)

การส่งออกน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 8.81 โดยปี 2550 การส่งออกน้ำมันปาล์มมีประมาณ 26.97 ล้านตัน เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 26.73 ล้านตัน ในปี 2549 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.90 ประเทศผู้ส่งออกที่สำคัญคือ มาเลเซีย 12.90 ล้านตัน อินโดนีเซีย 11.76 ล้านตัน ทั้งสองประเทศมีส่วนแบ่งตลาดน้ำมันปาล์มของโลก ร้อยละ 91.43 ของปริมาณการส่งออกของโลก

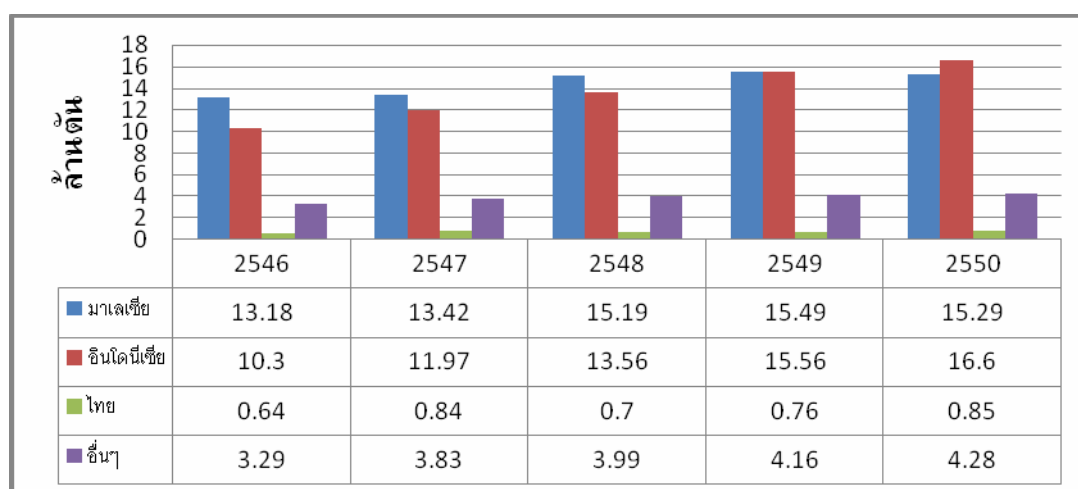
สำหรับการนำเข้าน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 2.68 โดยในปี 2550 การนำเข้าน้ำมันปาล์มมีประมาณ 26.38 ล้านตัน เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 26.23 ล้านตัน ในปี 2549 คิดเป็นร้อยละ 0.57 ประเทศผู้นำเข้าที่สำคัญคือ จีน 5.14 ล้านตัน กลุ่มประเทศ EU-27 3.80 ล้านตัน อินเดีย 3.80 ล้านตัน และปากีสถาน 1.79 ล้านตัน

ตาราง 9 บัญชีสมดุลน้ำมันปาล์มโลก

หน่วย : ล้านตัน

ปี	ผลผลิต	นำเข้า	ส่งออก	ความต้องการใช้	สต็อกคงเหลือ
2546	27.71	19.70	19.64	27.74	2.62
2547	30.06	21.42	21.67	29.29	3.13
2548	33.44	23.94	24.52	32.53	3.46
2549	35.97	26.23	26.73	35.39	3.54
2550	37.02	26.38	26.97	36.90	3.07
อัตราเพิ่ม (%)	7.88	2.68	8.81	7.895	4.50
2551	40.20	28.39	29.15	39.53	2.98

ที่มา: Oilseed: World Market and Trade, December 2007



ภาพประกอบ 3 ผลผลิตน้ำมันปาล์มของโลก

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2550)

ตาราง 10 อุปสงค์ อุปทาน น้ำมันปาล์มรายประเทศ

หน่วย : ล้านตัน

ประเทศ	2546	2547	2548	2549	2550	ร้อยละ	2551
ผลผลิต							
มาเลเซีย	13.18	13.42	15.19	15.49	15.29	41.30	16.60
อินโดนีเซีย	10.30	11.97	13.56	15.56	16.60	44.84	18.30
ไทย	0.64	0.84	0.70	0.76	0.85	2.30	0.95
อื่นๆ	3.29	3.83	3.99	4.16	4.28	11.56	4.35
รวม	27.71	30.06	33.44	35.97	37.02	100.00	40.20
นำเข้า							
จีน	3.53	3.71	4.36	4.98	5.14	19.48	5.70
EU-27	3.01	3.37	4.03	4.12	3.80	14.40	4.55
อินเดีย	3.95	3.49	3.53	2.90	3.80	14.40	4.10
ปากีสถาน	1.37	1.30	1.55	2.24	1.79	6.78	1.85
อื่นๆ	7.84	9.55	10.47	11.99	11.85	44.92	12.11
รวม	19.70	21.42	23.94	26.23	26.38	100.00	28.31
ส่งออก							
มาเลเซีย	11.65	11.60	12.63	12.78	12.90	47.83	13.10
อินโดนีเซีย	6.42	7.86	9.62	11.70	11.76	43.60	13.60
อื่นๆ	1.57	2.21	2.27	2.25	2.31	8.57	2.41
รวม	19.64	21.67	24.52	26.73	26.97	100.00	29.11
การบริโภค							
จีน	3.53	3.71	4.36	4.98	5.14	13.93	5.70
อินโดนีเซีย	3.61	3.78	4.02	4.36	4.54	12.30	4.61
EU-27	2.91	3.31	3.92	4.02	4.20	11.38	4.45
มาเลเซีย	2.07	2.23	2.69	3.04	3.35	9.08	3.95
อินเดีย	4.21	3.60	3.41	3.13	3.77	10.22	4.30
อื่นๆ	11.41	12.66	14.13	15.86	15.90	43.09	16.52
รวม	27.74	29.29	32.53	35.39	36.90	100.00	39.53
สต็อกคงเหลือ							
มาเลเซีย	0.96	1.32	1.53	1.94	1.30	42.35	1.25
อินโดนีเซีย	0.78	1.12	1.05	0.57	0.88	28.66	0.99
อื่นๆ	0.88	0.69	0.88	1.03	0.89	28.99	0.72
รวม	2.62	3.13	3.46	3.54	3.07	100.00	2.96

ที่มา: Oilseed: World Market and Trade, December 2007.

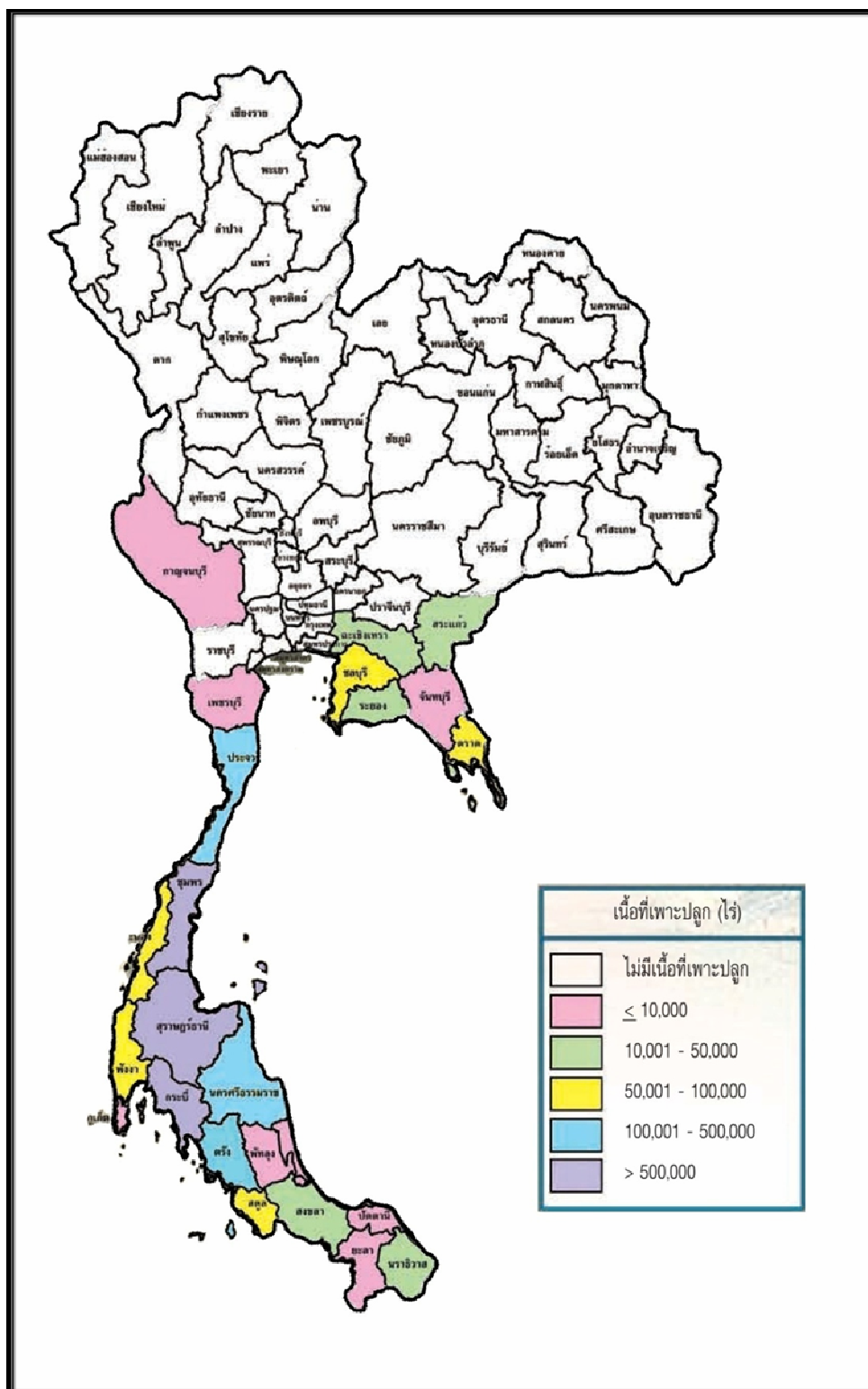
ปาล์มน้ำมันของไทย

ปาล์มน้ำมันถูกนำเข้ามาในประเทศไทยเป็นครั้งแรก ตั้งแต่สมัยก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 และมีการปลูกปาล์มน้ำมันเชิงการค้า เป็นครั้งแรกที่ จ.กระบี่ และสตูล เมื่อปี พ.ศ. 2510 จากนั้นได้กระจายออกสู่จังหวัดอื่นๆ ในภาคใต้ ซึ่งปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น และจัดอยู่บริเวณใกล้เคียงกับเส้นศูนย์สูตร ดังนั้นพื้นที่ปลูกที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่างเส้นละติจูดที่ 20 องศาเหนือ-ใต้ ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เพราะเหตุนี้ปาล์มน้ำมันจึงสามารถเจริญเติบโตได้ดี ในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย บริเวณที่ปลูกมากที่สุดคือจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูลและตรัง ตามลำดับ อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันของไทยสามารถแบ่งผู้ปลูกปาล์มน้ำมันออกเป็น 3 รูปแบบ คือ

- รูปแบบบริษัท มีประมาณ 174 ราย ซึ่งกินพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 37%
 - รูปแบบสหกรณ์หรือนิคม มีประมาณ 7,593 ราย ซึ่งกินพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 16%
 - รูปแบบเกษตรกรรายย่อย มีประมาณ 45,000 ราย ซึ่งกินพื้นที่มากที่สุดประมาณ 46 %
- ซึ่งผู้ปลูกปาล์มน้ำมันทั้ง 3 รูปแบบเกี่ยวข้องเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมที่นำผลผลิตปาล์มน้ำมันมาใช้อีก 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

- โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งเป็นแหล่งรองรับผลผลิตปาล์มน้ำมันที่ผลิตได้ทั้งหมด
- โรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ซึ่งเป็นแหล่งรองรับน้ำมันปาล์มดิบที่ผลิตได้เกือบ

ทั้งหมดเพื่อมาทำการกลั่นให้บริสุทธิ์และจำหน่ายให้ผู้บริโภค และอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ อีกมากมายเช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมสบู่ อุตสาหกรรมเครื่องสำอางและยา อุตสาหกรรมฟอกหนัง อุตสาหกรรมอาหารสัตว์และใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นเครื่องจักรในอุตสาหกรรมสิ่งทอและถลุงแร่ เป็นต้น



ภาพประกอบ 4 แสดงการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันของประเทศไทย

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2550).

ตาราง 11 ปาล์มน้ำมัน: เนื้อที่ให้ผล ผลผลิตและผลผลิตต่อไร่ เป็นรายจังหวัด ปี 2547-2549

จังหวัด	เนื้อที่ให้ผล (ไร่)			ผลผลิต (ตัน)			ผลผลิตต่อไร่ (กก.)			Province
	Harvested area (Rai)			Production (Tons)			Yield per rai (Kgs.)			
	2547	2548	2549	2547	2548	2549	2547	2548	2549	
	2004	2005	2006	2004	2005	2006	2004	2005	2006	
รวมทั้งประเทศ	1,932,279	2,026,204	2,374,202	5,181,797	5,002,670	6,240,753	2,682	2,469	2,629	Whole Kingdom
ตราด	10,971	14,653	18,816	24,882	28,723	43,879	2,268	1,960	2,332	Trat
ระยอง	9,088	11,014	12,934	19,457	23,074	30,291	2,141	2,095	2,342	Rayong
ชลบุรี	59,523	60,098	65,269	145,772	146,158	167,219	2,449	2,432	2,562	Chon Buri
ประจวบคีรีขันธ์	52,055	54,956	71,597	120,247	113,692	173,122	2,310	2,069	2,418	Prachuap Khiri Khan
ชุมพร	374,921	384,199	478,656	981,543	941,672	1,214,350	2,618	2,451	2,537	Chumphon
ระนอง	22,451	23,937	36,483	65,383	58,454	98,978	2,912	2,442	2,713	Ranong
สุราษฎร์ธานี	545,365	554,478	657,853	1,409,223	1,347,382	1,726,864	2,584	2,430	2,625	Surat Thani
พังงา	48,068	54,964	66,356	131,370	105,065	150,031	2,733	1,912	2,261	Phangnga
กระบี่	595,517	629,146	693,424	1,762,135	1,698,065	1,999,141	2,959	2,699	2,883	Krabi
ตรัง	73,535	81,838	87,713	187,808	203,613	230,159	2,554	2,488	2,624	Trang
นครศรีธรรมราช	29,825	35,144	45,476	76,233	72,602	102,912	2,556	2,066	2,263	Nakhon Si Thammarat
สงขลา	14,529	15,629	16,982	34,797	34,181	37,428	2,395	2,187	2,204	Songkhla
สตูล	77,752	80,446	90,993	183,806	178,186	202,732	2,364	2,215	2,228	Satun
นราธิวาส	11,556	16,050	19,065	27,677	38,616	43,945	2,395	2,406	2,305	Narathiwat
อื่น ๆ	7,123	9,652	12,585	11,464	13,187	19,702	1,609	1,366	1,566	Others

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2550).

ปัจจุบันพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันของประเทศไทยมีอัตราการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้พื้นที่เก็บเกี่ยวและผลผลิตปาล์มน้ำมันที่ผ่านมามีอัตราเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 10.87 และร้อยละ 11.45 ตามลำดับ โดยปี 2550 พื้นที่เก็บเกี่ยว 2.66 ล้านไร่ ผลผลิต 6.61 ล้านตัน ผลผลิตต่อไร่ 2,483 กิโลกรัม เทียบกับปี 2549 พื้นที่เก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.23 ส่วนผลผลิตและผลผลิตต่อไร่ ลดลงร้อยละ 1.63 และร้อยละ 12.20 ตามลำดับ เนื่องจากเกิดภาวะแห้งแล้งในช่วงปลายปี 2549 ส่งผลกระทบต่อปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันในช่วง 6 เดือนแรกของปี 2550

ความต้องการบริโภคน้ำมันปาล์มของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ยต่อปี ร้อยละ 5.76 เนื่องจากน้ำมันปาล์มมีราคาถูกกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นที่ใช้ทดแทนกันได้ และการขยายตัวของอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่ใช้น้ำมันปาล์มเป็นวัตถุดิบ อย่างไรก็ตามปี 2550 ความต้องการใช้น้ำมันลดลงจาก 953,094 ตันในปี 2549 เหลือ 877,400 เนื่องจากราคาน้ำมันปาล์มปรับตัวเพิ่มสูงกว่าราคาน้ำมันถั่วเหลืองในบางช่วงเวลา แต่เมื่อรวมความต้องการใช้เพื่อผลิตไบโอดีเซล 100,000 ตัน ความต้องการใช้ปี 2550 มีรวมทั้งสิ้น 977,400 ตัน เพิ่มขึ้นจาก 953,094 ตัน ในปีสอง 2549 ร้อยละ 2.55

ตาราง 12 พื้นที่ยืนต้น พื้นที่ให้ผล ผลผลิตและผลผลิตต่อไร่ปาล์มน้ำมันของไทย

ปี	พื้นที่ยืนต้น (ล้านไร่)	พื้นที่ให้ผล (ล้านไร่)	ผลผลิต (ล้านตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กก./ไร่)
2546	2.06	1.80	4.90	2,725
2547	2.41	1.93	5.18	2,682
2548	2.75	2.03	5.00	2,469
2549	2.95	2.37	6.72	2,828
2550	3.20	2.66	6.61	2,483
อัตราเพิ่ม (%)	11.12	10.87	11.45	0.52
2551	3.45	2.90	7.87	2,715

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2550).

ตาราง 13 บัญชีสมดุลน้ำมันปาล์มดิบของไทย

หน่วย : ตัน								
ปี	สต็อก ต้นปี	ผลผลิต	นำเข้า	รวม	ส่งออก	บริโภคภายใน (6)		สต็อก ปลายปี
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	บริโภค	ผลิตไบโอดีเซล	(7)
2546	59,995	863,835	-	923,830	76,667	732,210	-	114,953
2547	114,953	820,838	-	935,791	3,036	781,633	-	151,122
2548	151,122	783,953	-	935,075	-	821,406	-	113,669
2549	113,669	1,167,126	-	1,280,795	163,180	953,094	-	164,521
2550	164,521	1,115,579	-	1,280,100	219,700	877,400	100,000	83,000
อัตราเพิ่ม (%)	22.22	12.19	-	12.95	30.11	5.76		-5.51
2551	83,000	1,377,848	-	1,460,848	-	920,000	390,000	150,848

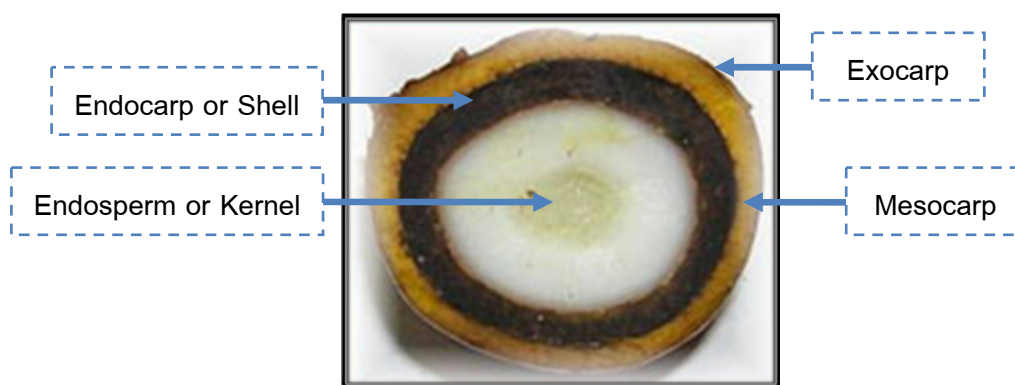
ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2550).

- หมายเหตุ : 1.สต็อกผลผลิตตาม (1) (2) (7) เป็นตัวเลขกรมการค้าภายในที่โรงงานต้องแจ้งตามประกาศ
 2.การนำเข้า ส่งออกตาม (3) (5) เป็นการนำเข้าเฉพาะน้ำมันปาล์มดิบ (หรือเทียบเท่า)
 3.ปี 2550 และ ปี 2551 ตัวเลขประมาณการโดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

กะลาปาล์มน้ำมัน

กะลาปาล์มเป็นส่วนหนึ่งของผลปาล์มน้ำมัน ดังแสดงในภาพที่ 3-5 ซึ่งผลปาล์มน้ำมันมีลักษณะเป็นแบบ Drupe เหมือนผลมะพร้าว ส่วนเปลือก (Pericarp) ของผลแบ่งออกเป็น 3 ส่วนอย่างชัดเจน คือ เปลือกที่อยู่ด้านนอกสุด (Exocarp) มีลักษณะของผิวเป็นมันและแข็ง ส่วนที่อยู่ถัดไปมีลักษณะเป็นเส้นใย (Mesocarp) เป็นส่วนที่มีน้ำมันสูงซึ่งนำไปสกัดเป็นน้ำมันปาล์ม และส่วนถัดไปคือเปลือกแข็งสีดำหรือกะลาปาล์ม (Endocarp or Shell) เป็นส่วนของเมล็ดซึ่งมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีน้ำตาลที่แข็งและแน่น พบส่วนของคัพภะบริเวณตาของผล (germ pore) จำนวน 3 ช่องและในกะลาปาล์มนั้นประกอบด้วยอาหารของต้นอ่อนหรือเนื้อใน (Endosperm) มีสีขาวอมเทาซึ่งมีน้ำมันสะสมอยู่ และมีเยื่อ (testa) สีน้ำตาลแก่หุ้มอยู่ โดยมีเส้นใยรองรับระหว่างเยื่อหุ้มกับกะลาอีกชั้นหนึ่งภายในเนื้อในตรงกันข้ามกับช่องสำหรับงอก มีต้นอ่อนฝังตัวอยู่ มีลักษณะตรงยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร โดยปกติเมล็ดปาล์มน้ำมันมีการพักตัวซึ่งสามารถทำลายการพักตัวโดยการอบด้วยความร้อน เมล็ดจะงอกเมื่อได้รับการกระตุ้นโดยอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม ขบวนการงอกจะเกิดใน

ระยะเวลา 3 - 4 วัน แต่ละเมล็ดจะใช้เวลาในการงอกแตกต่างกัน ต้นอ่อนในเมล็ดเริ่มมีการเจริญเติบโตนั้น ยอดของใบเลี้ยงจะขยายใหญ่ขึ้นมีสีเหลือง เรียกว่า จาว (Haustorium) และยังคงฝังตัวอยู่ในเนื้อใน ทำหน้าที่ดูดอาหารมาเลี้ยงต้นอ่อน จาวจะผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยอาหารต้นอ่อนให้เป็นของเหลวไปเลี้ยงต้นอ่อนเป็นเวลาประมาณ 3 เดือน จนกระทั่งต้นอ่อนสามารถสังเคราะห์แสงเองได้



ภาพประกอบ 5 แสดงลักษณะและส่วนต่างๆ ของผลปาล์ม

ที่มา: http://agri.kps.ku.ac.th/sa/palm_cultivation.html

ผลของปาล์มน้ำมันโดยทั่วไปเมื่อยังอ่อนอยู่จะมีสีดำ เมื่อสุกจะมีสีน้ำตาลดำ เนื่องจากมีรงควัตถุ (Carotenoid) อยู่ใน Pericarp ส่วนที่โคนผลจะไม่มีสี ผลที่มีสีแบบนี้เรียกว่า Nigrescens แบ่งออกเป็น Rubro- Nigrescens (สุกสีแดงตลอดผล) และ Rutilo-Nigrescens (สุกสีเหลืองอ่อน) น้ำมันที่สกัดออกมาจะมีสี เนื่องจาก Carotenoids นี้ออกมาด้วย ในขบวนการผลิตจึงมีขั้นตอนการฟอกสีด้วย ประเภทที่มีผลสีเขียวเวลายังไม่สุกและสีแดงอ่อน เนื่องจากไม่มีรงควัตถุ Exocarp เรียกว่า Virescens พบน้อยเนื่องจากถูกควบคุมด้วยยีนด้อยเพียงคู่เดียว อีกประเภทหนึ่งเวลาผลสุกจะไม่มีสีแดงเนื่องจากไม่มีสาร Carotenoid หรือน้ำมันใน Mesocarp เป็นชนิดที่น่าจะได้รับความสนใจเพราะน้ำมันที่สกัดจะไม่มีสี พบว่าลักษณะนี้ถูกควบคุมด้วยยีนข่มเพียงคู่เดียวเท่านั้น



ภาพประกอบ 6 แสดงลักษณะของผลปาล์มอ่อนและผลปาล์มสุก

ที่มา: <http://203.151.46.10/anda/krabi/km-palm/index.as>

ในปัจจุบันนี้โรงงานใช้กะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิงในการสกัดน้ำมันและขายเป็นเชื้อเพลิง ราคาถูกให้แก่โรงงานขนาดเล็ก เช่น โรงงานเผาอิฐ ดังนั้นเพื่อเป็นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ควบคู่ไปกับลดภาระในการกำจัด รวมถึงเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน การนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ จึงอาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างเหมาะสมไปพร้อมกับการเพิ่มมูลค่า

การวิเคราะห์แนวโน้มปริมาณกะลาปาล์มน้ำมัน

การวิเคราะห์แนวโน้มผลผลิตกะลาปาล์มจากข้อมูลผลผลิตปาล์มน้ำมันที่ผ่านมาและอัตราส่วนของน้ำมันปาล์มจากผลผลิตปาล์ม โดยทำการวิเคราะห์หาแนวโน้มหาปริมาณผลผลิตปาล์มโดยใช้ผลผลิตปาล์มย้อนหลัง 10 ปี (พ.ศ. 2542-2551) จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method) ในรูปของสมการถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression) จากนั้นนำข้อมูลผลผลิตปาล์มน้ำมันที่ได้ มาใช้คำนวณหาแนวโน้มปริมาณผลผลิตกะลาปาล์ม

โดยในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้มีสมการและตัวแปรดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 t$$

โดยที่ y = ปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันในแต่ละปีที่ได้จากการวิเคราะห์

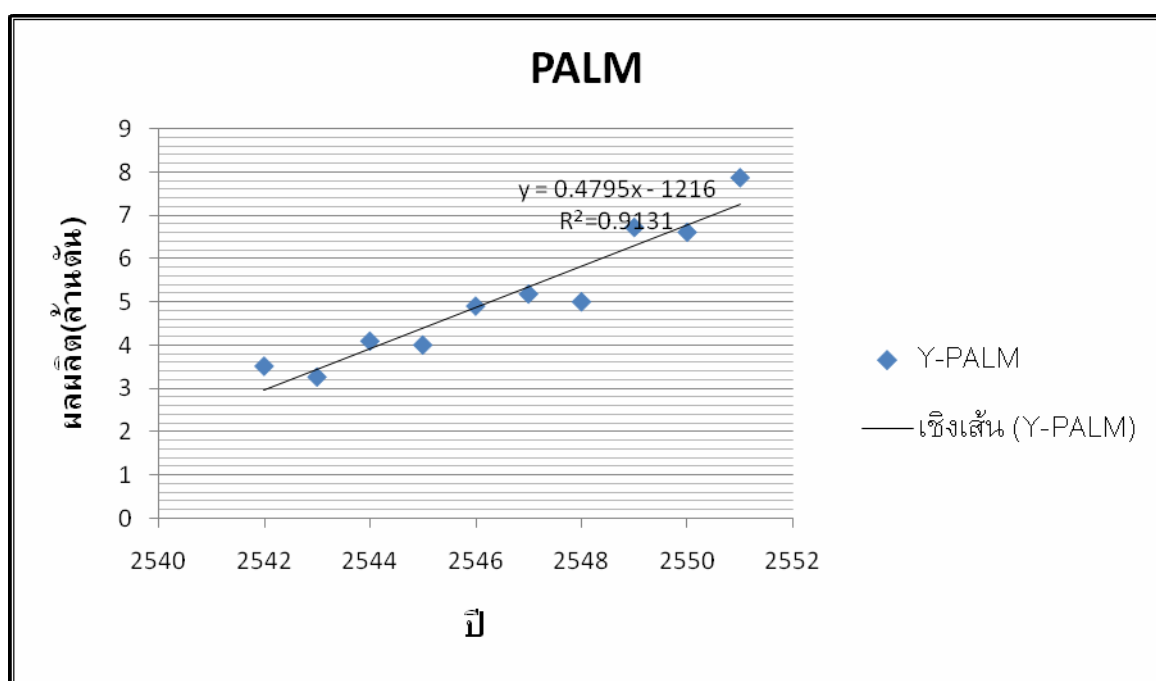
β_0 = ปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันในปีที่ 0

$\beta_1 t$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงผลผลิตปาล์มน้ำมันในแต่ละปี

t = ระยะเวลา (ปี)

การพยากรณ์ปริมาณของปาล์มน้ำมัน จากการหาความสัมพันธ์ของผลผลิตปาล์มน้ำมันในช่วงเวลาที่ผ่านมามีพบว่า มีความสัมพันธ์ตามสมการ

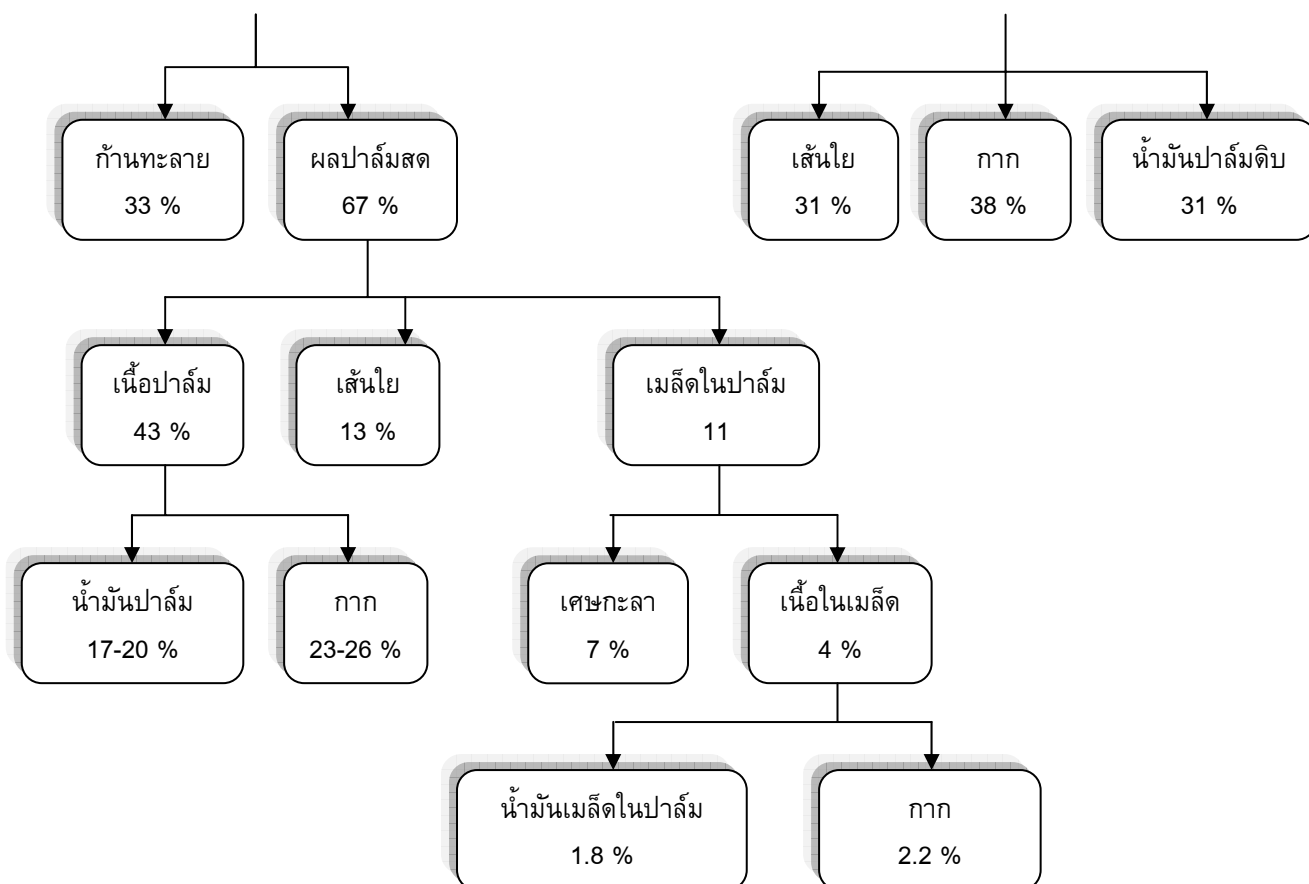
$$Y = 0.4795X - 1216 \quad \text{————— สมการที่ (1)}$$



ภาพประกอบ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตปาล์มน้ำมันต่อปี

ผลปาล์มทะเลาย
100 %

ผลปาล์มร่วง
100 %



ภาพประกอบ 8 แสดงอัตราการแปลงน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มจากผลปาล์มร่วงและปาล์ม
ทั้งทะลาย

จากนั้นจึงนำผลการดังกล่าวมาวิเคราะห์หาแนวโน้มของผลผลิตปาล์มน้ำมัน และนำมาใช้
ในการหาแนวโน้มปริมาณกะลาปาล์ม 15 ปี ผลผลิตกะลาปาล์มและแนวโน้มผลผลิตกะลาปาล์ม
สามารถวิเคราะห์ได้ดังแสดงในตาราง 14

ตาราง 14 ผลผลิตกะลาปาล์มและแนวโน้มผลผลิตกะลาปาล์ม

(หน่วย : ล้านตัน)

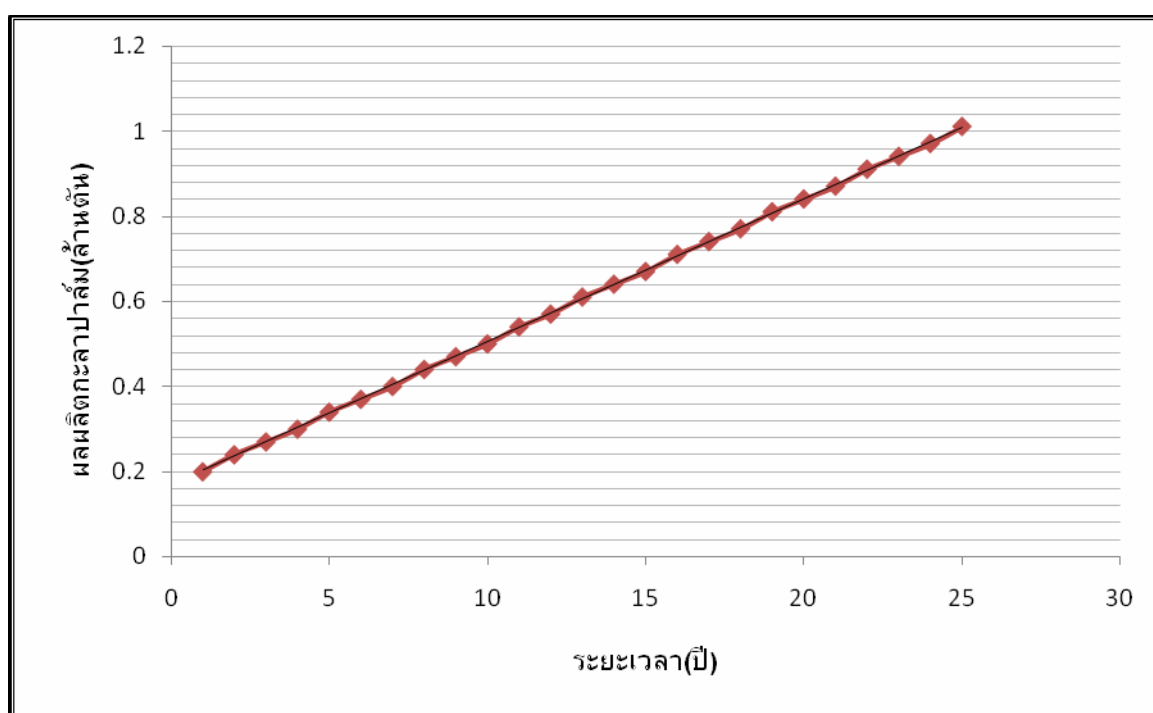
ปี	ผลผลิตปาล์ม	แนวโน้มผลผลิต ปาล์ม ^{1/}	ผลผลิตกะลา ^{2/} ปาล์ม	แนวโน้มผลผลิต กะลาปาล์ม ^{3/}
2542	3.51	2.89	0.25	0.20
2543	3.26	3.37	0.23	0.24
2544	4.09	3.85	0.29	0.27
2545	4	4.33	0.28	0.30
2546	4.9	4.81	0.34	0.34
2547	5.18	5.29	0.36	0.37
2548	5	5.77	0.35	0.40
2549	6.72	6.25	0.47	0.44
2550	6.61	6.72	0.46	0.47
2551	7.87	7.20	0.55	0.50
2552		7.68		0.54
2553		8.16		0.57
2554		8.64		0.61
2555		9.12		0.64
2556		9.60		0.67
2557		10.08		0.71
2558		10.56		0.74
2559		11.04		0.77
2560		11.52		0.81
2561		12.00		0.84
2562		12.48		0.87
2563		12.96		0.91
2564		13.44		0.94
2565		13.92		0.97
2566		14.40		1.01

หมายเหตุ : ^{1/} ปริมาณแนวโน้มผลผลิตปาล์มซึ่งได้จากการคำนวณจาก สมการที่ (1)

^{2/} ปริมาณผลผลิตปาล์มคูณด้วยอัตราส่วนร้อยละ 7 (ดังภาพที่ 3-6)

^{3/} ปริมาณแนวโน้มผลผลิตปาล์มคูณด้วยอัตราส่วนร้อยละ 7 (ดังภาพที่ 3-6)

จากผลการวิเคราะห์หาแนวโน้มปริมาณกะลาปาล์มพบว่า ปริมาณอุปทานกะลาปาล์มในแต่ละปี ได้ผลการวิเคราะห์หาแนวโน้มปริมาณกะลาปาล์มที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบได้อยู่ระหว่าง 0.50 ล้านตัน ถึง 1.01 ล้านตัน โดยแนวโน้มปริมาณกะลาปาล์มแสดงได้ดังภาพที่ 3-6



ภาพประกอบ 9 แสดงแนวโน้มปริมาณกะลาปาล์ม

หมายเหตุ : ปีที่ 1-10 ข้อมูลจริงปี พ.ศ. 2542-2551 ปีที่ 11-25 เป็นข้อมูลแนวโน้มที่ได้จากการวิเคราะห์ ปี พ.ศ. 2552-2566

จากการวิเคราะห์ปริมาณกะลาปาล์ม ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์นั้น จะเห็นได้ว่าปริมาณกะลาปาล์มมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกปี ดังนั้นปริมาณวัตถุดิบที่จะใช้นำมาผลิตถ่าน

กัมมันต์นั้นมีปริมาณมากเพียงพอต่อการผลิตเฉลี่ยแล้วอยู่ระหว่าง 0.50 ล้านตัน ถึง 1.01 ล้านตัน ต่อปี

การใช้ประโยชน์จากการปลูกปาล์มน้ำมัน

นาย โฆรวิธ และ สุรกิตติ ศรีกุล เขียนไว้ในเอกสารวิชาการ “ปาล์มน้ำมัน” ของกรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์(2548) ว่าปาล์มน้ำมัน เป็นพืชยืนต้นที่ทนทานต่อผลกระทบจากภัยธรรมชาติมากกว่าพืชอายุสั้นอื่นๆ ลงทุนเพียงครั้งเดียวก็สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นาน 20 ปี ปาล์มน้ำมันมีศักยภาพอันดับต้นๆ ในสถานการณ์ปัจจุบัน เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ ผลผลิตต่อพื้นที่สูง ราคาซื้อขายในตลาดไม่สูง มีความเสี่ยงต่อการเสียหายจากภัยธรรมชาติน้อย สามารถผลิตได้ในปริมาณมากเพื่อรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากรโลกที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคต ปริมาณการผลิตน้ำมันเพื่อการบริโภคและอุปโภคของโลกเพิ่มขึ้นทุกๆ ปี ตามจำนวนที่ปลูกเพิ่มขึ้นและคาดว่าในปี พ.ศ. 2550 เป็นต้นไป การผลิตน้ำมันปาล์มและน้ำมันจากเมล็ดใน จะผลิตได้สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันที่ผลิตได้จากพืชอื่น และพบว่าน้ำมันปาล์มมีอัตราการขยายตัวการผลิตสูงที่สุด

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่อนุรักษ์สภาพแวดล้อม (eco-friendly crop) เมื่อปลูกปาล์มน้ำมันเป็นระยะเวลานานจะทำให้สภาพนิเวศที่เสียหายไปกลับคืนสู่สภาพธรรมชาติ นอกจากนี้ยังสามารถสกัดองค์ประกอบจากน้ำมันปาล์มได้แก่ กรดไขมันหลายชนิด วิตามินอี และวิตามินเอ นำมาใช้ประโยชน์และใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรม Oleo chemical และพลังงานทดแทน รวมทั้งพืชที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคเพราะไม่มีการตัดแต่งพันธุกรรม (GMOs)

ใบของปาล์มน้ำมัน การนำไปใช้ประโยชน์ในส่วนของทางใบปาล์มน้ำมันคือใช้คลุมโคนต้นปาล์ม หรือระหว่างแถวปาล์ม ส่วนการนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์โดยการให้สัตว์เลี้ยว เช่น แพะ โค แกะ เล็มใบปาล์มน้ำมันโดยตรงนั้นมีส่วนน้อย ซึ่งใบของปาล์มน้ำมันเป็นใบประกอบรูปขนนก (pinnate) แต่ละใบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแกนกลางที่มีใบย่อยอยู่ 2 ข้าง และส่วนก้านทางใบ ซึ่งมีขนาดสั้นกว่าส่วนแรกและมีหนามสั้นๆ อยู่ 2 ข้าง แต่ละทางใบมีใบย่อย 100 – 160 คู่ แต่ละใบย่อยยาว 100 – 120 เซนติเมตร กว้าง 4 – 6 เซนติเมตรเมื่อเกษตรกรจะตัดทะลายผลปาล์มน้ำมัน จำเป็นต้องมีการตัดทางใบปาล์มน้ำมันออกด้วย เพื่อให้สามารถตัดทะลายปาล์มได้สะดวกซึ่งเป็น

ทางใบล่างสุดที่ได้รับแสงน้อย โดยปกติจะเว้นใบให้เหลือจำนวน 45– 48 ทางใบ/ต้น และจำนวน ต้นที่ปลูกรวม 22 ต้น/ไร่ (ทางใบที่ตัดทิ้งอายุประมาณ 2 ปี มีน้ำหนักเฉลี่ย 8-10 กิโลกรัม)

ต้น ใช้ทำแผ่นไม้สำหรับผนังห้อง เพดาน โตะ และเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ นอกจากนี้ต้นปาล์ม ยังสามารถนำมาทำเป็นแผ่นไม้บาง ๆ ทำหลังคา และทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด ที่มีค่าซัลเฟอร์ต่ำ ซึ่งช่วยลดปัญหาภาวะมลพิษได้ดี

ต้นและทางใบปาล์ม สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยตรง ต้นปาล์มมีคาร์โบไฮเดรตสูง ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นก๊าซ หรือเชื้อเพลิงเหลว เช่น มีเทน เมทานอล และอีเทน นอกจากนี้ยังสามารถ นำต้น ทางใบ และทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาทำเป็นเยื่อกระดาษ

ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เมื่อใช้คลุมโคนต้นปาล์ม จะมีประโยชน์เช่นเดียวกับการใช้ทาง ใบ ใช้เป็นเชื้อเพลิง และใช้ในการเพาะเห็ดฟาง

กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน ส่วนใหญ่ใช้เป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหาร สูงคือ มีคาร์โบไฮเดรต 48 % ไขมัน 5% โปรตีน 19 % เส้นใย 13 % ถั่ว 4 % และความชื้น 11 %

เส้นใย และกะลาปาล์ม ส่วนใหญ่ใช้เป็นเชื้อเพลิง กะลาปาล์มที่เหลือบางส่วนใช้สำหรับ ถมผิวถนนในสวนปาล์ม นอกจากนี้เส้นใย และกะลาปาล์มยังสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมของ วัสดุเพาะกล้าปาล์ม หรือใช้คลุมผิวดินในถุงเพาะกล้า สำหรับกะลาปาล์ม เนื่องจากมีองค์ประกอบ ของธาตุคาร์บอนสูงจึงสามารถนำมาเผาเป็นถ่านกัมมันต์ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ เกี่ยวกับการกรองฝุ่นหรือสิ่งเจือปนต่างๆ

กากตะกอนในโรงงานสกัดปาล์มน้ำมัน สามารถนำกลับมาทำปุ๋ยให้กับปาล์มน้ำมัน พืชอื่นๆ โดยทำกากตะกอนให้แห้งเสียก่อน เนื่องจากเป็นแหล่งที่มีธาตุอาหารสูง นอกจากนี้กาก ตะกอนดังกล่าวยังสามารถนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ได้อีกด้วย

ในเอกสารเผยแพร่เรื่อง “**ทำความรู้จักกับน้ำมันปาล์ม**” ของสำนักงานเศรษฐกิจ การเกษตร ร่วมกับสมาคมปาล์มน้ำมัน และน้ำมันปาล์มประเทศไทย สมาคมโรงงานสกัดน้ำมัน ปาล์ม และสมาคมโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์ม ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับปาล์มน้ำมัน และน้ำมันปาล์มไว้ว่า

ผลปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้ำมัน 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์ม (Palm Oil) ได้จากการสกัดเนื้อ ปาล์ม และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Palm Kernel Oil) สกัดจากเมล็ดปาล์ม ผลปาล์ม 1 ผล จะมีน้ำมัน ปาล์ม 9 ส่วน และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 1 ส่วน น้ำมันที่สกัดจากผลปาล์มสดจะมีเบต้าแคโรทีน

(Beta-Carotene) โปรวิตามินเอ (Pro Vitamin A) และวิตามินอี (Vitamin E) ในปริมาณสูง น้ำมันปาล์ม ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว และกรดไขมันที่อิ่มตัวในสัดส่วนที่สมดุล และด้วยเหตุที่มีวิตามินอีสูง จึงทำให้น้ำมันปาล์มมีเสถียรภาพสูง สำหรับกรดไขมันไม่อิ่มตัวนั้น ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะเดี่ยว โอเลอิก (mono-unsaturated oleic acid) 40% ขณะที่กรดไขมันอิ่มตัวประกอบด้วย กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid) 44% และกรดสเตียริก (Stearic acid) 5% ด้วยสัดส่วนของส่วนผสมดังกล่าว ทำให้น้ำมันปาล์มมีคุณสมบัติพิเศษ เหมาะสำหรับการใช้ ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารหลายประเภท คุณสมบัติอีกประการหนึ่งของน้ำมันปาล์มคือสามารถใช้ผลิตเป็นไขมันพืชที่มีสภาพเป็นของแข็ง (Solid-fat) โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation process) เป็นการหลีกเลี่ยงการก่อตัวของกรดไขมัน ทรานซ์ (Trans fatty acids) ที่เกิดจากกระบวนการซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ คุณสมบัติพิเศษของน้ำมันปาล์มจึงนำไปใช้ในการปรุงอาหารได้หลากหลาย โดยปราศจากโคเลสเตอรอล และเป็นแหล่งพลังงานของร่างกาย นอกจากนี้ยังมีผลพลอยได้จากน้ำมันปาล์ม ในการนำไปเป็นส่วนผสมของเนยเหลือง หรือมาการีน ว่ากันว่า อาหารที่ทอดด้วยน้ำมันปาล์มจะกรอบอร่อยให้รสชาติที่แท้จริงของอาหารและเก็บได้นาน ผลพลอยได้อื่นๆ ยังมีอีกมากมาย โดยเฉพาะใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมผลิตสบู่ ผงซักฟอก เครื่องสำอาง ยา ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในครัวเรือนและอุตสาหกรรม

น้ำมันปาล์มแดงที่สกัดออกในกระบวนการกลั่น ยังมีปริมาณแคโรทีน สูงถึง 80% และมีวิตามินอีในสัดส่วนที่สูงมาก จากผลการวิจัยพบว่า มีคุณสมบัติในการป้องกันการเหี่ยวของเซลล์ ผิวหนังโรคหัวใจ และโรคมะเร็ง จึงมีการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ เช่น วิตามินแคปซูล สำเร็จรูป อาหารเสริม เครื่องสำอาง เป็นต้น

ในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ยังมีวัสดุเหลือใช้จากการสกัด นำมาใช้ประโยชน์ได้แทบจะทุกชนิด ดังนี้

ทะลายปาล์ม ใช้คลุมดินในสวนปาล์ม รักษาความชื้น และเพิ่มเนื้อดิน นำมาใช้เพาะเห็ด และข้อมูลจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มระบุว่ามีความเป็นไปได้ในการใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ เนื่องจากมีความร้อนสูง

เส้นใยแห้ง ใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ

กะลา ใช้ผสมกับเส้นใย เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ ซึ่งปัจจุบันโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ใช้เป็นแหล่งพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในโรงงาน นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

ใช้ในการกรองน้ำ และของเสีย หรือนำมาใช้ปลูกต้นไม้ เช่น กล้วยไม้ หรือ ใช้ซ่อมหัวถนนก็ได้ เพราะแข็งมาก

น้ำเสีย ใช้รดน้ำในสวนปาล์ม เนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง หรือใช้ผลิตก๊าซมีเทน ใช้หุงต้มโดยผ่านกระบวนการก๊าซชีวภาพ (Bio Gas)

กากของเสีย ใช้ทำปุ๋ย

การใช้ประโยชน์ผลปาล์มในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

ในโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบ มีข้อมูลระบุว่า ถ้านำทะลายเปล่า เส้นใย และกะลา ที่เป็นวัสดุเหลือจากการสกัดน้ำมันมาเผารวมกัน จะมีค่าความร้อน (Heating Value) สูงกว่าลิกไนต์ และมากพอที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า

นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำมันปาล์มในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ ด้วย โดยเฉพาะการใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติทางเคมี หรือ Oleo chemical ซึ่งเป็นการสกัดสารเคมีจากไขมันพืชและสัตว์ คล้ายกับ Petrochemical ซึ่งเป็นการสกัดสารเคมีจากน้ำมันปิโตรเลียม โดยสารเคมีพื้นฐานที่สามารถสกัดได้ คือ Fatty acids Fatty ester (Metny ester) Fatty alcohol Fatty nitrogen compound (Fatty amined) และ Glycerol

มีการใช้คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำมันปาล์มกับอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นจำนวนมาก เช่น

- รถยนต์ใช้แทนน้ำมันดีเซล โดยดัดแปลงเครื่องยนต์เล็กน้อย คิว้นที่เกิเกิดขึ้นจะไม่มีซัลเฟอร์ และไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งเป็นสารพิษต่อสิ่งแวดล้อม
- อุตสาหกรรมขุดเจาะ ใช้เป็นตัวหล่อลื่น เนื่องจากมีจุดสันดาปสูงกว่าดีเซลและไม่ใช่พิษ
- อุตสาหกรรมสบู่ เนื่องจากองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม มีคุณสมบัติในการเกิดฟอง และชำระล้างใกล้เคียงกับไขมันสัตว์ และน้ำมันมะพร้าว
- อุตสาหกรรมเคลือบผิว มีคุณสมบัติในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต และให้ความเงางาม
- อุตสาหกรรมสีทาบ้าน ทำให้สีติดทนทาน ไม่หลุดลอกง่าย
- อุตสาหกรรมยาสระผม สามารถใช้เป็นส่วนผสมของยาสระผม
- อุตสาหกรรมเหล็ก มีสารป้องกันสนิมสูงกว่าไขมันที่สกัดจากไขมันสัตว์

- อุตสาหกรรมยา เป็นตัวทำลายช่วยให้เนื้อมะเข็ญเข้ากัน รวมถึงเพิ่มปริมาณเนื้อมะเข็ญ เนื่องจากเป็นสารไม่มีโทษ และไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้ง่าย
- อุตสาหกรรมโพลีเอสเตอร์ ใช้เป็นสารป้องกันการแข็งตัว และถ่ายเทความร้อนได้ดี และยังสามารถใช้เป็นสารหล่อลื่นในการผลิตโพลีเอสเตอร์
- เทียนไข มีระยะเวลาการติดไฟนาน มีควัน และน้ำตาลเทียนน้อยกว่าเทียนไขที่ทำจากไขปิโตรเลียม
- อุตสาหกรรมผลิตยาง ช่วยในกระบวนการผลิต นอกจากเป็นสารหล่อลื่นในกระบวนการแล้วยังทำให้สามารถขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น

คุณค่าทางโภชนาการ

สำหรับคุณค่าทางโภชนาการนั้น น้ำมันปาล์มมีอยู่ไม่น้อยกว่าพืชชนิดอื่น กล่าวคือ ในน้ำมันปาล์ม 1 กรัม ประกอบด้วย

- พลังงาน	9	แคลอรี
- โคเลสเตอรอล	0	แคลอรี
- วิตามินอี	1,150 ppm	(มากกว่าน้ำมันชนิดอื่น)
- วิตามิน เอ	500-700 ppm	(มากกว่าน้ำมันชนิดอื่น)

วิตามินอีในน้ำมันปาล์ม ช่วยควบคุมโคเลสเตอรอลในเลือด ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ โดยเฉพาะมะเร็งเต้านม ป้องกันผิวจากรังสีอัลตราไวโอเลต ชะลอริ้วรอย และความเหี่ยวย่นของผิว วิตามินเอ แครโรทีนอยด์ และเบต้าแคโรทีน ในน้ำมันปาล์ม เป็นสารต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ทำลายอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นตัวการที่จะทำลายส่วนประกอบต่างๆ ของเซลล์ ต้นเหตุของโรคหัวใจ

นอกจากนี้ น้ำมันปาล์มยังประกอบด้วยสัดส่วนของกรดไขมันที่ใกล้เคียงกัน คือ กรดไขมันอิ่มตัว 49% (กรดปาล์มมิก 44% และกรดสเตียริก 5%) กรดไขมันไม่อิ่มตัว 51% (กรดโอเลอิก 40% และกรดไลโนเลอิก 10%) ซึ่งกรดปาล์มมิก และกรดโอเลอิก เป็นสารที่ร่างกายต้องการ ขณะเดียวกันน้ำมันปาล์มมีจุดเยือกแข็งต่ำ ทนความร้อนได้ดี เกิดควันน้อย หมายถึง โอกาสที่โมเลกุลแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระน้อยกว่าน้ำมันชนิดอื่น

จากคุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันปาล์มดังกล่าว พบว่า การบริโภคน้ำมันปาล์มไม่ทำให้ระดับไขมันในเส้นเลือด หรือโคเลสเตอรอลเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม กลับเพิ่มระดับ HDL-C (High Density Lipoprotein-Cholesterol และลดระดับ LDL-C (Low Density Lipoprotein-Cholesterol) ซึ่ง HDL นี้เป็นตัวป้องกันไม่ให้เกิดโรคหัวใจ

บทที่ 4

การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

ถ่านกัมมันต์

ในสภาวะปัจจุบันแนวโน้มการใช้งานถ่านกัมมันต์ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยดูได้จากสถิติการนำเข้าและการส่งออกของประเทศ ดังแสดงในภาพประกอบ 10 จากสถิติการนำเข้าและการส่งออกถ่านกัมมันต์จะเห็นได้ว่า ประเทศไทยต้องเสียเปรียบดุลการค้าให้กับต่างประเทศอย่างเห็นได้ชัด ปัจจัยหลักที่ทำให้ไทยต้องเสียเปรียบดุลการค้า คือ เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ เช่น จากการวิจัยของศูนย์วิจัยและตรวจสอบคุณภาพถ่านกัมมันต์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย “พบว่าภาวะการทดลองที่เหมาะสมแก่การกระตุ้นถ่านกะลาด้วยไอน้ำที่ทำในปฏิกรณ์ขนาดเล็ก นำไปใช้กับกับปฏิกรณ์ขนาดใหญ่หรือขนาดอุตสาหกรรมไม่ได้ เพราะตัวแปรที่มีผลต่อการกระตุ้นมากคือ อุณหภูมิ ขนาดของอนุภาคและเวลาในการกระตุ้น ซึ่งล้วนแต่ต้องมีค่ามากกว่าค่าที่ทำในห้องปฏิบัติการหลายเท่า ซึ่งมีสาเหตุมาจาก เมื่อเตาหรือปฏิกรณ์มีขนาดใหญ่ มีการสูญเสียความร้อนมาก อุณหภูมิที่วัดได้ต่ำกว่าค่าความเป็นจริงที่ผิวกะลา และเมื่อกะลาที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีขนาดใหญ่ ยิ่งทำให้การสัมผัสของความร้อนกับไอน้ำยากขึ้นทำให้ต้องใช้เวลานานขณะอยู่ในเตา แต่พบว่าถ้ามีการจัดการเรื่องการลุกไหม้ของกะลาขณะที่เข้าเตากระตุ้น โดยให้ผ่านโซนเผาไหม้ก่อน แล้วจึงเข้าโซนกระตุ้นด้วยไอน้ำจะทำให้การกระตุ้นเกิดได้ดีและใช้เวลาน้อย ดังนั้นการพัฒนาเตากระตุ้นจึงควรมีการศึกษาต่อไป”

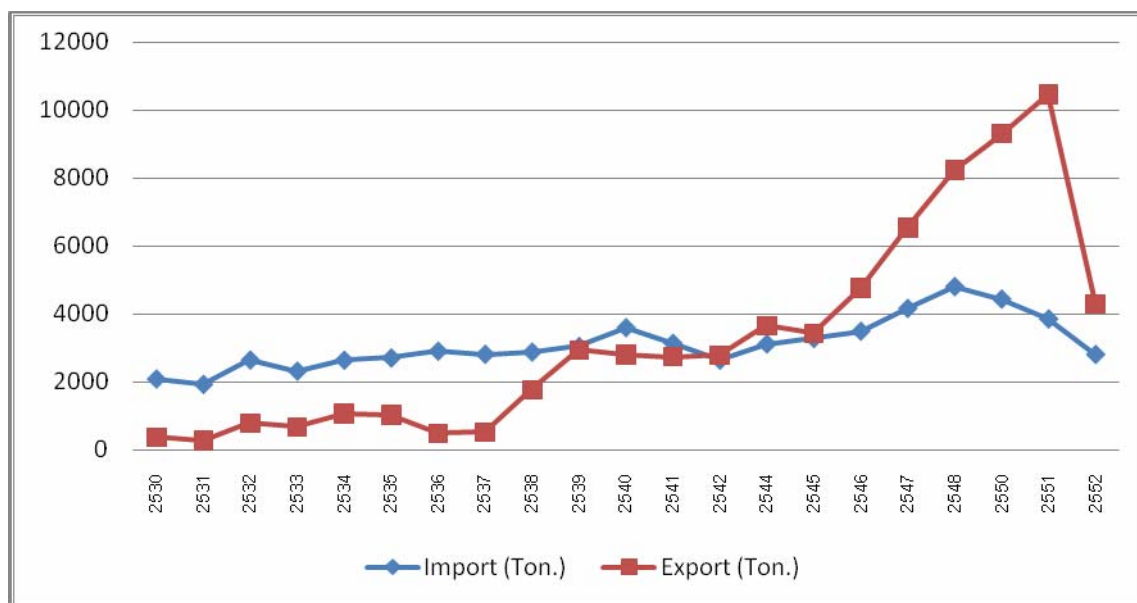
ประเทศไทยเป็นประเทศที่อุดมสมบูรณ์ด้วยทรัพยากรธรรมชาติ และผลผลิตทางการเกษตร ทำให้อุตสาหกรรมต่างๆ ก็เติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง พร้อมกับปัญหาทางด้านมลพิษที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม อุตสาหกรรมทางการเกษตรก็เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่เติบโตขึ้น เช่น อุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์ม ซึ่งพบว่าอุตสาหกรรมนี้มีวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มเช่น กะลาปาล์มน้ำมัน จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสามารถผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม น้ำมันให้มีประสิทธิภาพสูงได้ โดยจะนำมาเป็นวัตถุดิบ และเป็นการนำของเสียที่ไม่ต้องการจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรนำมาใช้ประโยชน์ได้ หรือเป็นการเพิ่มคุณค่าและไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียเหล่านี้ และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการกำจัดสารเคมีและโลหะต่างๆ ในน้ำและของเสียที่ปล่อยจากแหล่งต่างๆ ซึ่งเมื่อคำนึงทางด้านเศรษฐศาสตร์แล้วจะประหยัดมากเนื่องจากได้ต้นทุนวัตถุดิบที่มีราคาถูก โดยจากการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นการแสดงถึงการได้แหล่งวัตถุดิบใหม่ที่มีศักยภาพ เนื่องจากการแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมใน

ปัจจุบันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อนำไปประยุกต์ใช้งาน วัสดุเหล่านี้ล้วนมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบซึ่งเมื่อนำมาทำถ่านกัมมันต์จะมีสมบัติในการดูดซับสารเคมีและโลหะต่างๆ ในภาวะของแข็งและในภาวะของเหลวได้ดี และเนื้อถ่านกัมมันต์จะมีค่าความแข็งและความหนาแน่นปรากฏอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ดังนั้นความพยายามที่จะนำเทคโนโลยีมาใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถลดการเสียเปรียบดุลการค้าให้กับต่างประเทศได้เช่นกัน

ตาราง 15 แสดงปริมาณการนำเข้าและการส่งออกของถ่านกัมมันต์

EXPORT STATISTICS				IMPORT STATISTICS			
Year	Quantity (Ton)	Year	Quantity (Ton)	Year	Quantity (Ton)	Year	Quantity (Ton)
2530	358	2541	2737	2530	2092	2541	3141
2531	261	2542	2777	2531	1932	2542	2646
2532	775	2544	3651	2532	2650	2544	3120
2533	664	2545	3426	2533	2322	2545	3278
2534	1056	2546	4752	2534	2642	2546	3493
2535	1027	2547	6545	2535	2707	2547	4162
2536	479	2548	8225	2536	2908	2548	4802
2537	522	2549	30,587	2537	2816	2549	5721
2538	1765	2550	9309	2538	2883	2550	4435
2539	2937	2551	10,468	2539	3047	2551	3853
2540	2807	2552 (Jan-July)	4295	2540	3598	2552 (Jan-July)	2813

ที่มา: กรมศุลกากร. (2552). รายงานประจำปี (2530-2552)



ภาพประกอบ 10 แสดงแนวโน้มปริมาณการนำเข้าและการส่งออกของถ่านกัมมันต์

ที่มา: กรมศุลกากร. (2552). รายงานประจำปี (2530-2552)

1. ความหมายของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มาผ่านวิธีการก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นสีดำ มีโครงสร้างเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง ทำให้มีความสามารถในการดูดซับสารเคมีจากก๊าซและของเหลวได้ในปริมาณสูง ซึ่งมีผู้ให้ความหมายของถ่านกัมมันต์ไว้หลากหลายดังนี้

ASTM (American Society for Testing and Material, 2538) ให้ความหมายว่า เป็นวัสดุจำพวกคาร์บอน ซึ่งผลิตได้จากการนำวัตถุดิบที่มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูงมาผ่านกระบวนการผลิตเพื่อทำให้มีคุณสมบัติในการดูดซับ (adsorptive properties) ที่ดีขึ้น โดยมีนิยามของการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ว่า เป็นกระบวนการที่โมเลกุลของสารในสถานะของไหล (fluid) ไปจับ

บนผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยแรงทางเคมีหรือกายภาพ (chemical or physical forces) หรือแรงทั้งสองชนิดร่วมกัน

WQA (Water Quality Association, 2540) ให้ความหมายว่า ถ่านกัมมันต์เป็นสารสำหรับบำบัดน้ำ ซึ่งใช้ในรูปแบบของการอัดเป็นเม็ด (granulated) หรือ ผง (powdered) ซึ่งผลิตโดยการให้ความร้อนแก่วัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง จนถึงอุณหภูมิ 700°C หรือต่ำกว่าภายใต้สภาวะไร้อากาศ จากนั้นทำการกระตุ้นหรือออกซิไดซ์ ที่อุณหภูมิ 800-1000°C โดยการใช้ก๊าซช่วยกระตุ้น (oxidizing gases) เช่น ไอน้ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เกิดรูพรุนขึ้นในวัสดุเนื่องจากก๊าซเหล่านี้เข้าไปทำปฏิกิริยากับโครงสร้างของคาร์บอน เกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ของคาร์บอนหลุดออกไปจากโครงสร้าง เนื้อของคาร์บอนบางส่วนจึงหายไปกลายเป็นวัสดุที่มีรูพรุนซึ่งมีความสามารถในการดูดซับสูง ถ่านกัมมันต์มักถูกใช้เพื่อกำจัดสารปนเปื้อนที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น สารประกอบอินทรีย์

F. Rodriguez-Reinoso และ M. Molina-Sabio (2541) ได้กล่าวไว้ว่า ถ่านกัมมันต์เป็นสารคาร์บอนกลุ่มที่ไม่ใช่แกรไฟต์ (non graphitic class) และไม่สามารถเปลี่ยนเป็นแกรไฟต์ได้ (non-graphitizable) ซึ่งผลิตมาจากการนำสารพวกเปลือกไม้ เปลือกผลไม้ ถ่านหิน มาผ่านการเพิ่มความเข้มข้นคาร์บอนในโครงสร้าง ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) ภายใต้สภาวะเฉื่อยเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า ถ่าน (chars) หลังจากนั้นนำถ่านไปสลายบางส่วนออกไปในรูปของก๊าซหรือพาเซียล ก๊าซซีไฟต์ (partial gasified) โดยให้ทำปฏิกิริยากับไอน้ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีความพรุนเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นอาจจะใช้สารเคมีในกระบวนการผลิตด้วย

Derbyshire (2538) ให้ความหมายว่า ถ่านกัมมันต์คือ วัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายในและมีความพรุนสูง ดังนั้นจึงมีความสามารถในการดูดซับสารเคมีจากแก๊สและของเหลวได้ในปริมาณสูง ซึ่งถ่านกัมมันต์นั้นสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้านโดยอาจใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนั้นถ่านกัมมันต์สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ด้วย จากคุณสมบัติที่เหมาะสมและมีราคาไม่แพงของถ่านกัมมันต์ทำให้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่ใช้กันมาก

Jankowska (2534) ให้ความหมายว่า ถ่านกัมมันต์คือ การนำเอาวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผ่านกระบวนการถ่านกัมมันต์ ซึ่งทำให้วัตถุดิบนั้นมีโครงสร้างรูพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในสูง ซึ่งหากดูพื้นที่หน้าตัดของถ่านกัมมันต์จะมีลักษณะคล้ายกับรังผึ้ง โดยถ่านกัมมันต์จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก (87-90%) และมีธาตุอื่นที่เป็นองค์ประกอบคือ ไฮโดรเจนออกซิเจน ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน โดยจะมีปริมาณมากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นกับปริมาณที่มีในวัตถุดิบและอาจเกิดขึ้นได้อีกในขั้นตอนการผลิต

มอก. 900-2547 ให้ความหมายว่า ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ถ่านที่มีคุณสมบัติดูดซับสี กลิ่น รส บางชนิดได้เป็นอย่างดี ถ่านชนิดนี้มีโครงสร้างเป็นรูพรุน ผลิตได้จากถ่านหิน ถ่านไม้ ถ่านกะลามะพร้าว หรือถ่านกระดูก ด้วยกรรมวิธีถ่านกัมมันต์

2. ชนิดของถ่านกัมมันต์

ชนิดของถ่านกัมมันต์สามารถจำแนกเป็นประเภทต่างๆ ได้หลายแบบขึ้นกับลักษณะและความต้องการของการนำไปใช้งาน โดยชนิดของถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งได้หลายแบบดังนี้

(ก) แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

- กระตุ้นทางเคมี (chemical activated carbon) ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นทางเคมี จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ สามารถนำไปใช้ในการดูดซับในระบบของเหลว สารเคมีที่ใช้เป็นตัวกระตุ้นได้แก่ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) หรือโปแตสเซียมซัลไฟไซยาไนด์ (KCNS) เป็นต้น

- กระตุ้นทางกายภาพ (physical activated carbon) ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นทางกายภาพ จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็กกว่า สามารถนำไปใช้ในการดูดซับแก๊สและไอระเหยและไอระเหยต่างๆ โดยการใช้ก๊าซเป็นตัวกระตุ้นที่นิยมใช้คือ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ส่วนก๊าซชนิดอื่นมี ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) หรือคลอรีน (Cl_2) เป็นต้น

(ข) แบ่งตามขนาดของรูพรุน

โดยการกำหนดขนาดของรูพรุนจะใช้เกณฑ์ของ IUPAC (The International Union of Pure and Applied Chemistry)

- ขนาดของรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดของรูพรุนขนาดเล็กกว่า 2 นาโนเมตร เป็นช่วงขนาดรูพรุนที่มีบทบาทมากที่สุดในกระบวนการดูดซับเนื่องจากมีพื้นที่ผิวมาก มักใช้ในการดูดซับก๊าซหรือไอระเหย

- ขนาดของรูพรุนขนาดกลาง (Mesopore) เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดของรูพรุนอยู่ระหว่าง 2-50 นาโนเมตร เหมาะสำหรับการดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ หรือใช้ในปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic reaction)

- ขนาดของรูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดของรูพรุนขนาดใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร รูพรุนในช่วงนี้ใช้เป็นเพียงทางผ่านของโมเลกุลตัวถูกดูดซับเข้าไปสู่รูพรุนขนาดเล็กและขนาดกลางและมีผลค่อนข้างน้อยในการดูดซับสาร มักใช้ประโยชน์ในการฟอกสี หรือการผลิตยา

(ค) แบ่งตามความหนาแน่น

- ความหนาแน่นต่ำ มักใช้ในการดูดซับสารละลาย เช่นการฟอกสีของสารละลายน้ำตาลดิบ หรือการทำน้ำให้บริสุทธิ์ เป็นต้น

- ความหนาแน่นสูง มักใช้ในการดูดซับก๊าซหรือไอระเหยต่างๆ

(ง) แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ

- ชนิดดูดซับประเภทก๊าซ (Gas absorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้ประโยชน์ในการดูดซับก๊าซพิษและไอระเหยของสารอินทรีย์ ส่วนมากเป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นถ่านชาร์ที่มีความแข็งมาก (hard artificial char)

- ชนิดดูดซับประเภทสี (Color absorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้ประโยชน์ในการฟอกสีสารละลาย ซึ่งเป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นถ่านชาร์ชนิดอ่อน (soft artificial char)

- ชนิดดูดซับประเภทโลหะ (Metal absorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้ประโยชน์ในการดูดซับโลหะต่างๆ เช่น ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับทอง เงิน แพลทินัม ออกจากแร่ที่ขุดได้

(จ) แบ่งตามค่าความเป็นกรดต่างในสารละลาย

- ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติเป็นกรด เป็นถ่านกัมมันต์ที่เมื่ออยู่ในสารละลายแล้ว แสดงคุณสมบัติของความเป็นกรด โดยมีหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวเป็นอนุพันธ์ของหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl groups)

- ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง เป็นถ่านกัมมันต์ที่เมื่ออยู่ในสารละลายแล้ว แสดงคุณสมบัติของความเป็นด่าง โดยส่วนใหญ่มีหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวได้แก่ ควินิน (quinine) ฟีนอล (phenol) และคาร์บอกซิเลท (Carboxylate)

(จ) แบ่งตามลักษณะของรูปร่าง

- ประเภทเป็นผง (powder) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนักมีลักษณะเป็นผง ใช้สำหรับฟอกสีหรือดูดกลิ่นในของเหลว

- ประเภทเป็นเม็ด (pellet) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนักมีลักษณะเป็นเม็ด ซึ่งได้จากการอัดผ่านเครื่องอัดหรืออาจทำเป็นเกร็ด ใช้สำหรับทำแก๊สให้บริสุทธิ์หรือการทำตัวทำละลายที่ใช้แล้วให้บริสุทธิ์ นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในกระบวนการปฏิกิริยาของแก๊ส

3. คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

พื้นผิวของถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติแตกต่างจากตัวดูดซับชนิดอื่น คือ พื้นผิวของถ่านกัมมันต์ไม่มีขั้ว (Non-polar) หรือมีความเป็นขั้วเล็กน้อยเนื่องจากมีกลุ่มฟังก์ชันของออกไซด์หรือสารอนินทรีย์ (inorganic) ปัจจุบันถ่านกัมมันต์ถูกนำมาใช้เป็นตัวดูดซับอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการนำมาใช้อยู่หลายประการ ดังต่อไปนี้

(ก) มีพื้นที่ผิวและปริมาณรูพรุนสูง

ถ่านกัมมันต์เป็นโครงสร้างของคาร์บอนที่มีความขรุขระบนพื้นผิวสูง ทำให้มีพื้นที่ผิวบริเวณที่สามารถสัมผัสกับสารอื่นจากของไหลได้มากพอที่จะเกิดแรงจับทาง

กายภาพหรือเกิดเป็นพันธะเคมีขึ้นได้ ภายในอนุภาคของถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากเชื่อมโยงกันเป็นเครือข่าย รูพรุนในโครงสร้างของถ่านกัมมันต์มีขนาดใหญ่เหมาะกับการดูดซับสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีรูพรุนจำนวนมากทำให้มีพื้นที่ผิวภายในมาก ซึ่งพบว่าถ่านกัมมันต์เหมาะสำหรับการดูดซับสารอินทรีย์มากกว่าตัวดูดซับชนิดอื่น ในปัจจุบันสามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวตั้งแต่ 500 $\text{m}^2/\text{กรัม}$ จนกระทั่งมากกว่า 3,000 $\text{m}^2/\text{กรัม}$ ซึ่งเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงมาก

IUPAC (the International Union of Pure and Applied Chemistry) ได้แบ่งขนาดของรูพรุนบนวัสดุด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน โดยกำหนดให้รูพรุนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 50 นาโนเมตร เป็นรูพรุนขนาดใหญ่ (macro pores) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2-50 นาโนเมตร เป็นรูพรุนขนาดกลาง (meso pores) และรูพรุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2 นาโนเมตร เป็นรูพรุนขนาดเล็ก (micro pores) รูพรุนในถ่านกัมมันต์เกิดจากชั้นในโครงสร้าง (lamella) ที่มีลักษณะคล้ายกับชั้นในโครงสร้างของแกรไฟต์แต่มีขนาดเล็กและไม่ต่อเนื่องจับกันเป็นโครงข่าย 3 มิติ เกิดเป็นช่องว่างระหว่างชั้นซึ่งทำให้โครงสร้างของถ่านกัมมันต์มีความพรุน ความหลากหลายของ ขนาดรูปร่าง การจัดเรียงและการจับกันของชั้นดังกล่าวนี้เปลี่ยนแปลงตามชนิดของวัตถุดิบและกระบวนการผลิต ซึ่งส่งผลให้ขนาดของรูพรุนและลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์แตกต่างกัน

การกระจายขนาดของรูพรุนบนถ่านกัมมันต์เป็นปัจจัยควบคุมขนาดของโมเลกุลที่สามารถเข้าไปจับกับพื้นผิวในรูพรุน รูพรุนขนาดเล็กทำให้เกิดพื้นที่ผิวมากที่สุดและทำให้สามารถดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กโดยเฉพาะสารที่อยู่ในรูปของก๊าซได้ปริมาณมาก การดูดซับจะเกิดขึ้นในรูดูดซับ (Adsorption pores) ซึ่งเป็นรูพรุนขนาดเล็ก พวกรูพรุนขนาดกลางเหมาะที่จะใช้ดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนรูพรุนขนาดใหญ่เป็นช่องสำหรับให้สารผ่านเข้าไปข้างในเพื่อไปสู่รูพรุนขนาดเล็ก เรียกว่าเป็น ช่องลำเลียง (feed pores หรือ Transport pores) ความสามารถในการดูดซับสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวหรือจำนวนของรูพรุนขนาดเล็กบนถ่านกัมมันต์ อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค

ของถ่านกัมมันต์ การลดขนาดอนุภาคของถ่านกัมมันต์ลงจึงไม่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ แต่เป็นการเพิ่มอัตราเร็วในการดูดซับของถ่านกัมมันต์

พื้นที่ผิวรวมของถ่านกัมมันต์วัดโดยวิธีการดูดซับก๊าซไนโตรเจนตามวิธีการของ Brunauer-Emmett-Teller (BET) ซึ่งวัดปริมาณการดูดซับและการคายไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์ที่ความดันหลายค่า ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวรวมเท่ากันอาจมีความสามารถในการดูดซับต่างกันหากมีวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน คุณสมบัติในการดูดซับที่แตกต่างกันบางประการของถ่านกัมมันต์สามารถอธิบายได้จากการที่ถ่านกัมมันต์มีรูพรุนขนาดต่างกัน ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนใหญ่กว่า 3 นาโนเมตร เหมาะสำหรับใช้เป็นตัวดูดซับในตัวกลางที่เป็นของเหลว ส่วนพวกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนอยู่ในช่วง 1-2.5 นาโนเมตร เหมาะสำหรับใช้ดูดซับสารในตัวกลางที่เป็นก๊าซ

(ข) สามารถทำการบำบัดเพื่อคืนสภาพแล้วนำกลับมาใช้งานซ้ำได้

ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่มีค่าความร้อนในการดูดซับต่ำ (heat of adsorption) หรือมีแรงดึงดูดของการดูดซับต่ำกว่าสารดูดซับชนิดอื่น จึงสามารถดึงเอาสารที่ถูกดูดซับออกจากผิวถ่านกัมมันต์ได้ง่าย ทำให้ใช้พลังงานในการบำบัดเพื่อคืนสภาพต่ำ (regeneration) ที่เป็นเช่นนั้น เนื่องมาจากถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่มีโครงสร้างของผิวเป็นกลางทางไฟฟ้า จึงเกิดการดูดซับสารไม่มีขั้วด้วยแรง แวนเดอร์วาลส์ (van der Waals force) และแรงคาปิลารี (capillary force) เท่านั้น โดยไม่มีแรงเนื่องจากการเกิดพันธะเคมี ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับสารจนถึงจุดอิ่มตัวแล้วจึงสามารถนำมากำจัดสารที่ถูกดูดซับออกแล้วนำกลับมาใช้ซ้ำได้อีก

วิธีการบำบัดเพื่อคืนสภาพของถ่านกัมมันต์มี 2 วิธีที่นิยมใช้กันมาก คือการใช้ความร้อนในการบำบัดเพื่อคืนสภาพ (thermal regeneration) ซึ่งวิธีการนี้จะสูญเสียคาร์บอนไปประมาณ 5-10% ในการบำบัดแต่ละครั้ง และอีกวิธีที่นิยมใช้ คือการใช้สารเคมี (chemical regeneration) ซึ่งสามารถทำในอุปกรณ์ที่ใช้งานได้เลย ไม่มีการสูญเสียคาร์บอน สามารถดึงเอาสารเคมีซึ่งถูกดูดซับไว้กลับคืนมาได้และนำมาใช้ซ้ำได้ ส่วนใหญ่การดูดซับทางกายภาพจะสามารถนำมาทำการบำบัดเพื่อคืนสภาพได้ง่ายกว่าการดูดซับทางเคมี

(ค) สามารถนำไปใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องกำจัดความชื้นออกก่อน

เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวที่ไม่มีขั้วหรือมีขั้วเพียงเล็กน้อย ทำให้ผิวของถ่านกัมมันต์ค่อนข้างมีลักษณะไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) หรือสามารถดูดซับน้ำได้น้อยมากเมื่อเทียบกับการดูดซับสารอินทรีย์และสารไม่มีขั้ว ถ่านกัมมันต์จึงเป็นสารดูดซับเพียงชนิดเดียวในท้องตลาดที่เหมาะสมกับการใช้งานในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายและในสภาวะจริงซึ่งมีความชื้น เนื่องจากไม่จำเป็นต้องกำจัดความชื้นออกจากถ่านกัมมันต์ก่อนการใช้งาน

(ง) สามารถผลิตได้จากวัสดุราคาถูก

วัตถุดิบของการผลิตถ่านกัมมันต์ คือ สารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่สูงซึ่งมีอยู่มากมายหลายชนิด สารที่ถูกใช้เป็นวัตถุดิบในปัจจุบันนี้ได้แก่ ถ่านหินปิตูมินัส ถ่านหินลิกไนต์ กระจุก กะลามะพร้าว เปลือกถั่ว วัสดุที่เหลือจากการกลั่นปิโตรเลียม วัสดุที่เหลือจากการผลิตกระดาษ ชี้อ้อย ไม้ เป็นต้น ส่วนใหญ่แล้ววัตถุดิบเหล่านี้เป็นของเหลือจากการเกษตรและอุตสาหกรรม ซึ่งนอกจากจะมีราคาต่ำแล้วยังอาจสะสมทำให้เกิดเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้เป็นส่วนใหญ่ วัตถุดิบที่ดีจะต้องมีโครงสร้างภายในที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูพรุนสม่ำเสมอโดยวัตถุดิบที่มีความหนาแน่นต่ำ เช่น ไม้ ถ่านหิน จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่และขนาดกลาง ส่วนวัตถุดิบที่มีความหนาแน่นสูง คือ พริกมะพร้าว กะลาปาล์ม จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก

(จ) มีความทนทานสูง

ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการนอกจากมีความสามารถในการดูดซับสูงจากการมีรูพรุนจำนวนมากและมีรูพรุนขนาดที่ต้องการแล้วจะต้องมีความแข็งแรง ทนการกัดกร่อนได้ดีและมีความทนเปื้อนต่ำด้วย ซึ่งสามารถใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวยัดสารเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรดสูงและอุณหภูมิสูงได้ดี

4. คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ต่อการเลือกใช้งาน (Cheremisinoff & Cheremisinoff, 1993)

(ก) พื้นที่ผิว (Surface Area) โดยทั่วไปถ่านที่มีพื้นที่ผิวมากจะมีความสามารถในการดูดติดผิวมาก

(ข) ความหนาแน่นประจักษ์ (**Apparent Density**) ใช้ในการประเมินความสามารถในการฟื้นฟูสภาพของถ่าน (Carbon Regeneration)

(ค) ความหนาแน่นก้อน (**Bulk Density**) ใช้ในการประเมินปริมาณของถ่านในแต่ละการใช้งาน

(ง) ขนาดใช้งาน (**Effective Size**) เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (Mean Particle Diameter) และสัมประสิทธิ์ของความเสมอกัน (Uniformity Coefficient) ใช้ในการประเมินภาวะทางชลศาสตร์ (Hydraulic Condition) ของถังดูดติดผิว (Adsorption Column)

(จ) ปริมาตรรูพรุน (**Pore Volume**) ใช้ในการประเมินการดูดติดผิวโมเลกุลในน้ำเสีย

(ช) ซีฟแอนาไลซิส (**Sieve Analysis**) เป็นตัวตรวจสอบ Plant-Handling Effect ของถ่าน

(ซ) ปริมาณร้อยละของเถ้า (**Ash Percent**) บอกถึงปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์

(ณ) ไอโอดีนัมเบอร์ (**Iodine Number**) เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญในการประเมินความสามารถของถ่านในการดูดติดผิวสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ($10-28 \text{ \AA}$) และความสามารถในการฟื้นฟูสภาพของถ่านและการดูดติดผิว (Carbon Regeneration)

(ญ) โมลาสซัมเบอร์ (**Molasses Number**) เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญในการประเมินความสามารถของถ่านในการดูดติดผิวสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ($>28 \text{ \AA}$)

(ฎ) ขนาดของรูพรุน (**Pore Size**) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดติดผิวโมเลกุลจำเพาะบางชนิด

5. วัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาพบว่า วัตถุดิบที่จะนำมาผลิตถ่านกัมมันต์นั้นจะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยวัตถุดิบนั้นอาจเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือได้จากการสังเคราะห์ขึ้น และสามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรง หรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ วัตถุดิบที่ใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ มักจะพิจารณาจากอินทรีย์วัตถุ (หมายถึงสารที่มีคาร์บอน และไฮโดรเจน เป็นองค์ประกอบ) เป็นส่วนใหญ่ เช่น ชานอ้อย (bagasses), กระดุกเลื้อด, กะลามะพร้าว, กะลาปาล์ม, เมล็ดกาแฟ, กากน้ำตาล (molasses), แกลบและไม้ เป็นต้น

อินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ดังกล่าว สามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

- พวกเซลลูโลสที่มาจากพืช เช่น แกลบ, กะลามะพร้าว, กะลาปาล์ม, ชีเลื่อย, ชานอ้อย, ชังข้าวโพด

- พวกถ่านหิน เช่น ลิกไนต์, พีท (peat), บิทูมินัส (bituminous)

- วัตถุดิบที่มาจากสัตว์ เช่น กระดูก

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

ถ่านที่ได้จากอินทรีย์วัตถุ (Artificial char) ยังแบ่งออกตามอินทรีย์วัตถุที่นำมาใช้ได้ 2 ประเภทคือ

- ถ่านแข็ง (Hard artificial char) เช่น ถ่านน้ำตาล, ถ่านที่ได้จากเมล็ดผลไม้ (fruit pit char), ถ่านไม้ที่เผาด้วยความดันสูง (high-pressure wood charcoal)

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

วัสดุที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- มีความสะดวกในการนำมาใช้งาน เช่น ไม่สลายตัวเมื่อเก็บ
- มีปริมาณสารระเหยต่ำ
- มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง
- มีราคาถูกและหาได้ง่าย
- มีคุณสมบัติคงที่
- สามารถผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพสูงได้

โดยทฤษฎีแล้วอินทรีย์วัตถุทุกชนิดสามารถนำมาทำถ่านกัมมันต์ได้ แต่คุณสมบัติของถ่านที่ได้จะแตกต่างกันไป นอกจากนี้อุณหภูมิและเวลาในการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) รวมถึงวิธีที่ใช้ในการกระตุ้น (Activation) มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้กะลาปาล์มมาใช้ในการศึกษา โดยการนำกะลาปาล์มมาเผาเป็นถ่านเมื่อกะลาปาล์ม

กลายเป็นถ่านแล้ว จะเกิดรูพรุนอยู่มากมายในถ่านกะลาปาล์มนั้นๆ รูพรุนเหล่านี้เล็กมากเมื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงจะลุกไหม้อย่างรวดเร็ว ให้ความร้อนสูง แต่มอดเร็วจึงไม่เหมาะที่จะนำไปเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน แต่ถ้าใช้คุณสมบัติความเป็นรูพรุนนี้มาใช้ในการดูดซับ (Absorb) ก็จะทำให้ถ่านนั้นมีความสามารถดูดซับได้เป็นอย่างดี เนื่องจากรูพรุนนี้เล็กและละเอียดมาก ถ่านกะลาปาล์มมีลักษณะแข็งแรงแรง เป็นมัน หลังจากนำไปบดให้เป็นเม็ดเล็กๆ ตามขนาดที่ต้องการแล้วนำไปกระตุ้น (Activate) ก็จะได้ถ่านกัมมันต์ซึ่งมีความแข็งแรงสูงกว่าถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบชนิดอื่น ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบในการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

6. ถ่านกัมมันต์ทางการค้าและการใช้ประโยชน์

ถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งตามลักษณะรูปร่าง ได้ 2 ชนิด คือ ชนิดผงละเอียด (Powdered Activated Carbon) และชนิดเม็ดหรือเกล็ด (Granular Activated Carbon) ชนิดผงละเอียดสามารถกระจายตัวในน้ำได้ดี ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ชนิดเม็ดหรือเกล็ดสามารถนำกลับมา (re-used) เพื่อนำกลับมาใช้ในครั้งต่อไปได้ โดยถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด สามารถนำมาใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกันไปในหลายอุตสาหกรรม

(ก) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powdered Activated Carbon) ถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ใช้โดยทั่วไปผลิตจากขี้เลื่อยที่ได้จากไม้ ซึ่งมีขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาคในช่วง 15 – 25 ไมโครเมตร โดยอาจมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของลักษณะทางเรขาคณิตประมาณ 0.15 – 0.266 สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารละลายหรือของเหลว ได้แก่

- 1.1 อุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล ใช้ในการฟอกสีและทำให้น้ำตาลบริสุทธิ์ขึ้น
- 1.2 อุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันพืชสำหรับการบริโภค ใช้ในการฟอกสีและทำให้น้ำมันดีขึ้น ยังใช้ในการแยกเอาสบูและเปอร์ออกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมันด้วย
- 1.3 อุตสาหกรรมอาหาร ใช้ในการฟอกสีและดูดกลืนของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งดีกว่าการใช้สารเคมีชนิดอื่นเพราะไม่เป็นอันตรายและไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร
- 1.4 อุตสาหกรรมเครื่องดื่มและแอลกอฮอล์ เช่น วิสกี้ ไวน์ น้ำอัดลม ใช้ในการดูดซับกลิ่นและทำให้รสชาติดีขึ้น
- 1.5 อุตสาหกรรมเคมีและยา ถ่านกัมมันต์ใช้ในการผลิตสารเคมีและยาหลายชนิด เช่น acetanilide, atabrine, caffeine, glyceline, calcium ferrocyanide, sodium

acetate, citric acid และ streptomycin และในต่างประเทศมีการทดลองใช้ถ่านรักษาโรคโดยตรงแล้ว (มูลนิธิโกมลคีมทอง 2530) เช่น แพทย์ชาวอังกฤษนิยมใช้ถ่านเพื่อรักษาอาการอักเสบจากการติดเชื้อ, ในฝรั่งเศสใช้ผงถ่านเพื่อขจัดสารพิษ, ส่วนนักวิทยาศาสตร์ชาวสหรัฐฯ ใช้ผงถ่านเพื่อช่วยลดแก๊สในกระเพาะอาหาร หรือใช้ดูดเชื้อแบคทีเรียที่เป็นตัวผลิตแก๊สในลำไส้ ตลอดจนบรรเทาอาการท้องเดินจากการรับประทานอาหารที่เป็นพิษด้วย

1.6 อุตสาหกรรมการทำน้ำให้บริสุทธิ์โดยใช้เป็นตัวดูดกลืนและฟอกสี เช่น น้ำดื่ม น้ำประปา

1.7 อุตสาหกรรมการแยกสารที่ต้องการ เช่น การแยกทองหลังการสกัดจากแร่ด้วยวิธีไซยาไนด์, การแยกไฮโดรเจนออกจาก petroleum oil-well brines (น้ำเกลือที่เกิดในหลุมน้ำมัน พบมากในประเทศจีน) ตลอดจนการผลิตวิตามินและฮอร์โมนอีกหลายชนิด

1.8 ขบวนการที่มีการใช้สารเร่ง (Catalytic process) โดยถ่านจะทำหน้าที่เป็นตัวพาสารเร่ง (catalyst carrier) ในปฏิกิริยาที่มีการใช้สารเร่งหลายชนิด รวมทั้งทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของตัวเร่งให้ดีขึ้นด้วย

(ข) ชนิดที่เป็นเม็ด หรือ เกล็ด (**Granular Activated Carbon**) ถ่านกัมมันต์เม็ดที่ใช้กันทั่วไปนั้นมีหลายขนาด โดยขึ้นกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน ในการดูดซับระบบที่เป็นแก๊สมักใช้ถ่านกัมมันต์รูปทรงกระบอกขนาด 4 – 6 มิลลิเมตร สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ หรือการทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์ขึ้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ได้แก่

2.1 อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ ใช้ในการดูดซับก๊าซต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์, ไฮโดรเจน, ไนโตรเจนและอะเซทิลีน เป็นต้น

2.2 อุตสาหกรรมการทำน้ำกากป้องกันก๊าซพิษ ทั้งที่ใช้กันโดยทั่วไปและในด้านการทหาร เพื่อการดูดซับก๊าซพิษและไอของสารพิษ

2.3 อุตสาหกรรมเกี่ยวกับการนำไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และจะคายออกที่ความดันของไอระเหยต่ำๆ เช่น อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมใยสังเคราะห์ อุตสาหกรรมการพิมพ์ เป็นต้น

2.4 อุตสาหกรรมการผลิตบุหรี่บางยี่ห้อ เพื่อกรองก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และน้ำมันดิน (tar) โดยนำถ่านกัมมันต์มาไว้ที่ก้นกรอง

มีการผลิตถ่านกัมมันต์ทุกแบบทั่วโลกประมาณปีละ 300,000 – 400,000 ตัน มีถ่านกัมมันต์ชนิดผงประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ โดยที่เหลือจะเป็นถ่านกัมมันต์ในรูปแบบอื่น ซึ่ง 80 เปอร์เซ็นต์ของถ่านกัมมันต์ทั้งหมดใช้กับระบบที่เป็นของเหลว และอีก 20 เปอร์เซ็นต์ใช้ในระบบที่เป็นแก๊ส ซึ่งประเทศที่มีการใช้กันมากที่สุดคือ ญี่ปุ่นและสหรัฐอเมริกา โดยมีอัตราการใช้ถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นปีละประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ ราคาขายถ่านกัมมันต์เม็ดโดยประมาณ คือ 1,500 – 4,000 ดอลลาร์ต่อตัน (ราคาในปี พ.ศ.2539) สำหรับถ่านกัมมันต์ผงราคาโดยประมาณคือ 500 – 1200 ดอลลาร์ต่อตัน (ราคาในปี พ.ศ.2539) ซึ่งราคาขายอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามพื้นที่ผิว ความแข็ง และความทนทานต่อการขัดสีของถ่านกัมมันต์

7. กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

เทคโนโลยีในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยทั่วไป แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือขั้นตอนแรกคือการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่านหรือการเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนในโครงสร้าง เรียกขั้นตอนนี้ว่า คาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) โดยการให้ความร้อนในการเผาประมาณ 300-600 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเพื่อกำจัดองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ระเหยง่าย ขั้นตอนที่สองคือการนำถ่านไปเพิ่มคุณภาพด้วยเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ เรียกขั้นตอนนี้ว่า การกระตุ้น (Activation) โดยการกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ภายใต้อุณหภูมิประมาณ 600-1200 °C แบ่งได้เป็นสองวิธีคือการกระตุ้นทางเคมีและการกระตุ้นทางกายภาพ

(ก) กระบวนการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่านหรือการเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนในโครงสร้าง (Carbonization) เป็นกระบวนการนำวัตถุดิบมาเผาในสภาวะที่มีออกซิเจนน้อย ซึ่งเกิดขึ้นในที่อับอากาศ โดยการให้ความร้อนในการเผาประมาณ 300-600 °C เรียกกระบวนการนี้ว่าการไพโรไลซิส (Pyrolysis) เป็นการเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของสารอินทรีย์ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สามประเภทได้แก่ ถ่านที่มีลักษณะสีดำที่เรียกว่า ชาร์ (Char) ส่วนที่เป็นของเหลวเรียกว่า น้ำมันดินหรือทาร์ (Tar) และแก๊ส กระบวนการคาร์บอนไนเซชันเป็นขั้นตอนการพัฒนาโครงสร้างรูพรุนเบื้องต้นในวัตถุดิบ โดยในระหว่างการคาร์บอนไนเซชันธาตุและองค์ประกอบต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนรวมถึงสารระเหยต่างๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และน้ำ จะถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปแบบ

ของแก๊สและน้ำมันทาร์ จากนั้นก็จะได้ถ่านชาร์ซึ่งมีการจัดตัวของโครงสร้างผลึกที่ไม่เป็นระเบียบซึ่งจะมีช่องว่างรูพรุนระหว่างผลึก โดยจะมีสารอินทรีย์ที่เป็นทาร์ไปอุดช่องว่างเหล่านั้น ซึ่งในส่วนประกอบของถ่านชาร์ที่ได้จะมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจน และคาร์บอนต่อออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นจากวัตถุดิบในตอนแรกด้วย

ขั้นตอนของกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนในโครงสร้างและวัตถุดิบนั้น Anthony J. Buonicore และ William D. Byel ได้อธิบายถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงไว้ดังนี้

(ก) เมื่อให้ความร้อนแก่วัตถุดิบจนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 100°C น้ำและสารอินทรีย์ที่ระเหยภายใต้อุณหภูมิต่ำจะถูกกำจัดออกไป

(ข) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 170°C เกิดการสลายตัวของโครงสร้างในรูปของสารประกอบคาร์บอนมอนนอกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์และกรดอินทรีย์ (เช่น กรดอะซิติก)

(ค) ในช่วงอุณหภูมิ $270-280^{\circ}\text{C}$ จะเกิดการก่อตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เมทานอล ทาร์และสารอื่นๆ กระบวนการที่เกิดขึ้นในขั้นนี้เป็นกระบวนการคายความร้อน

(ง) กระบวนการคายความร้อนสิ้นสุดที่อุณหภูมิประมาณ 350°C เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง $400-600^{\circ}\text{C}$ สารพวกทาร์และสารระเหยยากจะถูกกำจัดออกไป

(จ) เมื่อสิ้นสุดกระบวนการนี้จะได้ถ่านเป็นผลิตภัณฑ์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสมบัติต่างๆ ของถ่านชาร์ ในช่วงของการคาร์บอนไนซ์เซชันได้แก่

(1) อุณหภูมิ จะมีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์มากที่สุด คือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณการเกิดถ่านชาร์จะลดลง ส่วนน้ำมันทาร์และแก๊สที่ได้เพิ่มมากขึ้น และคุณสมบัติของน้ำมันทาร์จะมีกลุ่มโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปด้วย เพราะการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานเพื่อทำลายพันธะภายในโครงสร้างของวัตถุดิบนั้น

(2) อัตราการให้ความร้อนจะมีผลต่อคุณสมบัติและปริมาณของน้ำมันทาร์และสารระเหย การเพิ่มอัตราความร้อนอย่างรวดเร็วจะมีผลทำให้ปริมาณสารระเหยถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็วทำให้ถ่านที่ได้มีรูพรุนขนาดใหญ่ ความว่องไวในการทำปฏิกิริยา สูงกว่าถ่านที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่า เพราะถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูง คาร์บอนจะ

เรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่า ทำให้เกิด ช่องว่างเป็นรูพรุนขนาดใหญ่เมื่อทำการกระตุ้น สารกระตุ้น จะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่าย

(3) ตัวกลางของปฏิกิริยา (Medium of reaction) จะมีผลกระทบตอปฏิกิริยา ถ้า แก๊ส และ ไอที่เกิดขึ้นระหว่างการไพโรไลซิส ถูกพาออกไปอย่างรวดเร็ว โดยแก๊สที่เป็นตัวกลาง เช่น แก๊ส ไนโตรเจน (เฉื่อยตอปฏิกิริยาการเผาไหม้ของคาร์บอน) และแก๊สจากการเผาไหม้ ถ้าตัวกลางเป็น แก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ ปริมาณถ่านที่ได้จะน้อยกว่าตัวกลางที่เป็นแก๊สไนโตรเจน แต่มีความ ร่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า

(4) ธรรมชาติของวัตถุดิบ โดยวัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีภาวะที่เหมาะสมแตกต่างกันในการ คาร์บอไนซ์ โดยถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบที่ต่างกันอาจใช้วิธีกระตุ้นที่ต่างกัน เพื่อที่จะได้ถ่านกัมมันต์ ที่มีคุณภาพดีที่สุด ซึ่งจะเหมาะกับการนำไปใช้ในระบบที่เหมาะสมต่อไป

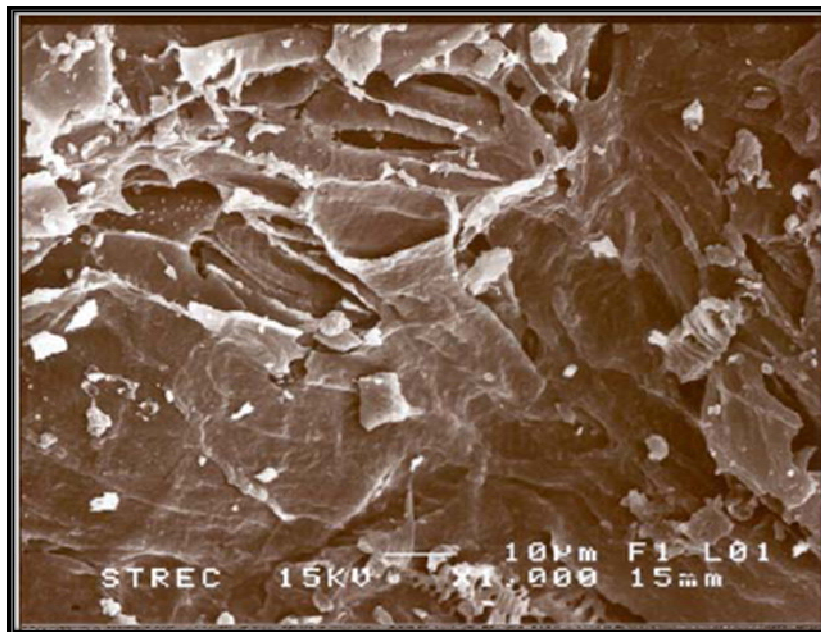
จุดมุ่งหมายหลักของกระบวนการคาร์บอไนเซชันก็เพื่อผลิตให้ได้ถ่านที่มีรูพรุน และการ จัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมให้เป็นระเบียบมากกว่าวัตถุดิบ ถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอไนเซชัน ควรมีลักษณะดังนี้

- มีสีดำสม่ำเสมอ (Uniformly Black)
- มีลักษณะแข็งแรงแรง ไม่แตกหักง่าย
- เมื่อหักดู ส่วนที่หักจะมีผิวมันเงา (Shiny Surface)
- ปลายที่หักจะแหลมคม (Sharp)
- ปราศจากผงฝุ่นและขี้เถ้าหรือส่วนที่ยังไม่เป็นถ่านติดอยู่

ในทางการค้าผู้ผลิตถ่านจากวัตถุดิบต่างๆ มักพิจารณาค่าดังต่อไปนี้

- น้ำหนักของคาร์บอนคงตัว (Fix Carbon)
- ปริมาณความชื้นต่ำ (5-10%)
- ปริมาณขี้เถ้าต่ำ

อย่างไรก็ตาม ถ่านที่ได้จากขั้นตอนนี้ มีความสามารถในการดูดซับต่ำ เพราะยังมีพื้นที่ผิว จำเพาะหรือรูพรุนอยู่น้อยและยังคงมีน้ำมันดิน (Tar) บางส่วนตกค้างอยู่ในรูพรุนหรือเกาะอยู่ตามผิว จึงจำเป็นต้องนำถ่านจากกระบวนการนี้ไปผ่านกระบวนการกระตุ้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับต่อไป



ภาพประกอบ 11 แสดงถ่านชาร์จากกะลาปาล์ม ขนาด 1.18-2.36 ก่อนการกระตุ้น

(ข) กระบวนการกระตุ้น (Activation) เป็นกระบวนการทำให้ถ่านชาร์เปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้นโดยการทำให้มีรูพรุนมากขึ้น หรือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสารอื่นๆ ของถ่านกัมมันต์ ในการผลิตถ่านกัมมันต์ต้องพยายามทำให้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซช่วยกระตุ้นกับถ่านชาร์ มีอัตราการแพร่ของก๊าซเข้าไปในรูพรุนของถ่านชาร์ได้ทั่วถึง เพื่อให้การพัฒนาเกิดขึ้นตลอดทั้งพื้นผิวและรูพรุน กระบวนการกระตุ้นนี้จะทำให้เลขออกซิเดชันของคาร์บอนเพิ่มขึ้นหรือเป็นการทำให้คาร์บอนที่ผิวของถ่านเกิดพันธะกับออกซิเจน กระบวนการกระตุ้นมีหน้าที่หลักอยู่ 2 ประการ คือ เผาสารพวกทาร์ที่เหลืออยู่ในถ่านและขยายขนาดของรูพรุนที่เกิดอยู่ในถ่าน Paul N. Cheremisinoff และ Angelo C. Morresi ได้สรุปปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการกระตุ้นไว้ ดังต่อไปนี้

(1) การกำจัดความชื้น (Dehydration) โดยให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 170 °C ที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ จะไล่ก๊าซ คาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และกรดอะซิติก จนถึงอุณหภูมิ 270 °C คาร์บอนบางส่วนจะเปลี่ยนไปเป็นทาร์ เมทานอล และสารพลอยได้อื่นๆ

(2) ที่อุณหภูมิ 400-600 °C สารที่มีคาร์บอนจะสลายตัวออกไปจนมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูงถึงประมาณ 80% แล้วจึงนำไปกระตุ้น

(3) ระหว่างกระตุ้นทาร์จะถูกเผาทั้ง ฐพรุนจะขยายออก

วัตถุประสงคในการกระตุ้นถ่านชาร์ (นิชชี นิลนนท์, 2541) คือ

- เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (active surface area) โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไป และเกิดส่วนที่มีความสามารถในการดูดซับขึ้นมาแทน
- เป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้พื้นที่ผิวที่มีอยู่แล้ว ซึ่งหมายถึง ทำให้อะตอมของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้น โดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ ให้มีความว่องไวในการดูดซับสูงขึ้น
- เป็นการกำจัดอินทรีย์วัตถุ หรือนินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ (active centers)

ปฏิกิริยาที่เกิดระหว่างการกระตุ้นยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด เนื่องมาจากวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากมายหลายวิธี และประสิทธิภาพของการกระตุ้นขึ้นกับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบรวมถึงวิธีการอื่นๆ ก่อนการกระตุ้นด้วย โดยทั่วไปแล้วมี 2 วิธีในการผลิตถ่านกัมมันต์คือ

- นำวัตถุดิบหรือวัตถุดิบที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์แล้ว มากระตุ้นโดยใช้สารกระตุ้นเช่น $ZnCl_2$, $CaCl_2$, H_3PO_4 วิธีนี้โดยทั่วไปเรียกว่า “การกระตุ้นทางเคมี”
- นำวัตถุดิบที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์แล้วมาทำปฏิกิริยากับแก๊สที่ใช้ในการออกซิไดซ์ ซึ่งอาจเป็นไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน วิธีนี้โดยทั่วไปเรียกว่า “การกระตุ้นทางกายภาพ”

(1) การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้กันมากในการผลิตถ่านกัมมันต์ในทางการค้า โดยปกติแล้ววิธีการกระตุ้นแบบนี้มักใช้กับวัตถุดิบที่เป็นไม้ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นอยู่ในช่วง 500 – 900 องศาเซลเซียส สารกระตุ้นที่ใช้กันทั่วไปในทางอุตสาหกรรม ดังแสดงในตาราง 4-2 การกระตุ้นทางเคมีจะช่วยลดการเกิดทาร์และสารอื่นๆที่เกิดในกระบวนการ ดังนั้นร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงค่อนข้างมีปริมาณสูง

ตาราง 16 สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์

ชนิดที่เป็นกรด	ชนิดที่เป็นด่าง	ชนิดที่เป็นเกลือ
กรดบอริก (H_3BO_3)	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	เฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$)
กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)	แคลเซียมไฮดรอกไซด์	ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)
กรดไนตริก (HNO_3)	($Ca(OH)_2$)	โพแทสเซียมซัลไฟด์ (K_2S)
กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	โพแทสเซียมไธโอไซยาเนต (KSCN)
	(KOH)	แคลเซียมฟอสเฟต ($Ca_3(PO_4)_2$)
		แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)
		โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

ที่มา: ญญา พูนสุวรรณ. (2545).

สารเคมีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) (Patrick.1995) ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสังกะสีคลอไรด์จะมีรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) มากกว่าการกระตุ้น โดยสารเคมีอื่น แต่มีข้อเสีย คือ การล้างสังกะสีคลอไรด์ที่เหลือออกจากถ่านกัมมันต์ทำได้ยาก ต้องล้างด้วยน้ำเดือดนานกว่า 48 ชั่วโมง (พลวัฐฐ์ โสภณากิจโกศล. 2544) เป็นสารเคมีที่มีการกัดกร่อนสูงและก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม (Patrick. 1995) ดังนั้นในปัจจุบันจึงนิยมใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกเป็นตัวกระตุ้นแทน เนื่องจากเป็นสารที่มีความสามารถในการทำลายสูง สามารถแทรกตัวเข้าไปในเนื้อถ่านอย่างสม่ำเสมอได้ดีกว่าสังกะสีคลอไรด์และยังเป็นตัวออกซิแดนท์ ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเกิดขึ้นมาก (พลวัฐฐ์ โสภณากิจโกศล. 2544)

ข้อดีของการใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้น คือการแทรกซึมได้ทั่วถึง ได้รูพรุนของถ่านกัมมันต์ค่อนข้างกว้างชนิดที่เรียกว่า Micro pore และใช้อุณหภูมิในการเผาไม่ต้งสูงมาก (400-600 องศาเซลเซียส) แต่มีข้อเสียตรงที่จะต้องล้างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นซึ่งติดมากับถ่านกัมมันต์นั้นออกให้หมดไม่ให้เหลือตกค้างอยู่เลย เพื่อความปลอดภัยในการนำไปใช้งานจึงนับว่าเป็นการสิ้นเปลืองทั้งเวลาและแรงงาน นอกจากนี้สารเคมีบางชนิดที่ใช้ยังมีฤทธิ์กัดกร่อนภาชนะบรรจุหรือเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต เป็นเหตุให้อายุการใช้งานของภาชนะเหล่านั้นสั้นไม่นานเท่าที่ควร ดังนั้นการผลิตด้วยวิธีนี้จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ภาชนะที่ผลิตด้วยวัสดุชนิดพิเศษที่ทนกรดหรือด่าง

- **การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์** กระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดวิธีหนึ่ง โดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ผสมกับวัตถุดิบโดยใช้สภาวะที่ อุณหภูมิประมาณ 130 องศาเซลเซียส การใช้อุณหภูมิที่ต่ำในช่วงนี้มีผลอย่างมากต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ หลังจากนั้นจะนำไปทำการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 600-850 องศาเซลเซียส ซึ่งกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมจะคำนึงถึงประสิทธิภาพในการนำเอาซิงค์คลอไรด์กลับมาใช้ใหม่เป็นอย่างมาก ด้วยประสิทธิภาพการนำซิงค์คลอไรด์กลับมาใช้ใหม่ที่ค่อนข้างจำกัด ประกอบกับปัญหาการกัดกร่อนต่อเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้การใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นในระยะหลังจึงลดลงบ้าง

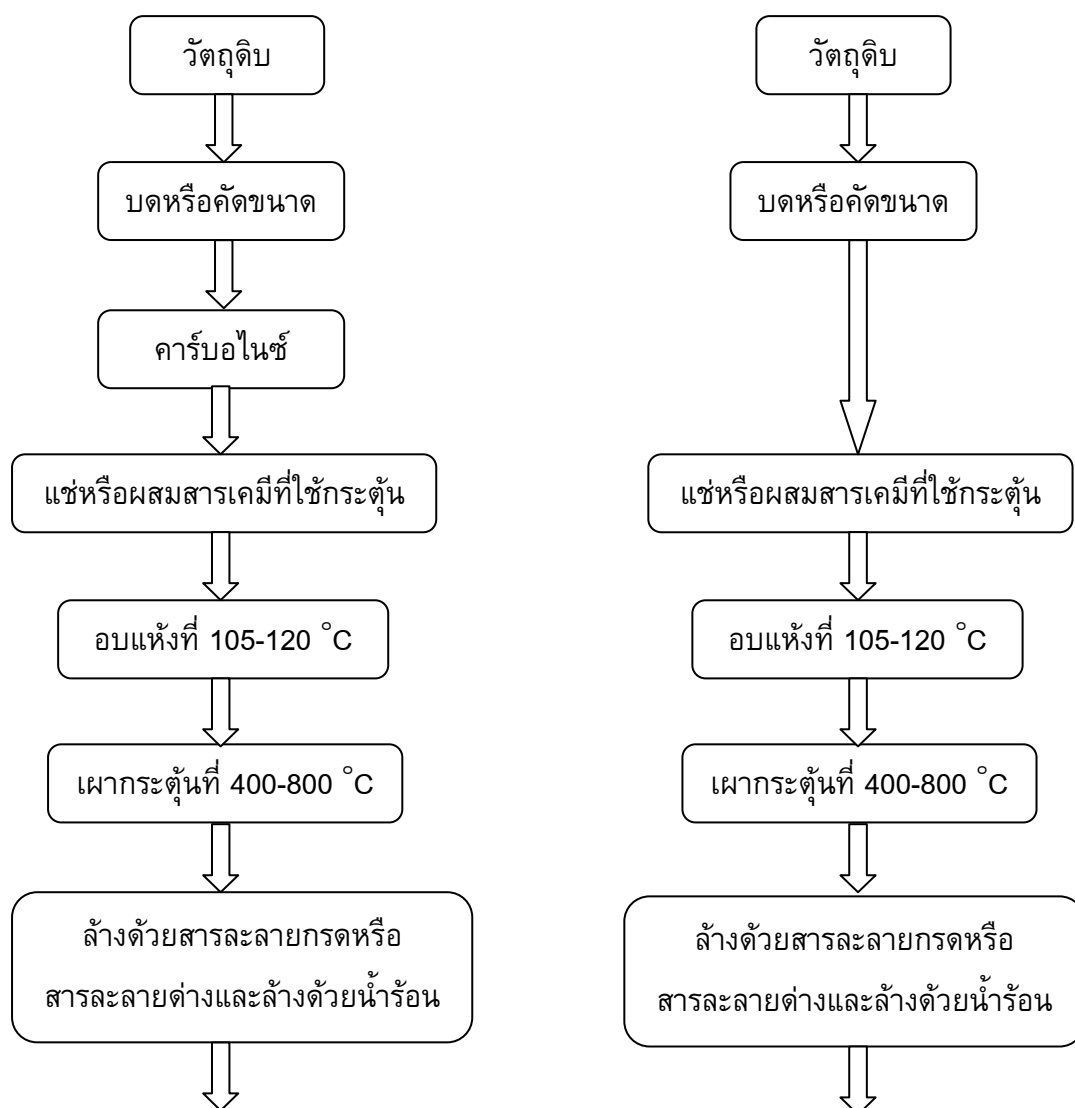
- **การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก** กระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้น จะใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ค่อนข้างต่ำคือ 400-500 องศาเซลเซียส ซึ่งการใช้กรดฟอสฟอริกนั้นสามารถผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่โดยยังได้กรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูงพบว่าวัตถุดิบที่เป็นไม้สามารถผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพดีโดยวิธีนี้มีงานวิจัยจำนวนมากได้ศึกษาวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ซิงค์คลอไรด์และกรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้น ซึ่งวัตถุดิบที่ได้ทำการศึกษาคือเมล็ดถั่ว เปลือกถั่ว เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและไม้ชนิดต่างๆ อย่างไรก็ตามกระบวนการกระตุ้นทางเคมีก็มีหลายกระบวนการที่แตกต่างกัน เพื่อให้ให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีขึ้น ซึ่งพบว่าสารกระตุ้นชนิดอื่นๆก็สามารถให้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงได้ เช่น โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ อลูมิเนียม คลอไรด์ หรือ เฟอริกคลอไรด์ ซึ่งเราจะพบว่ามีปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ได้คือ

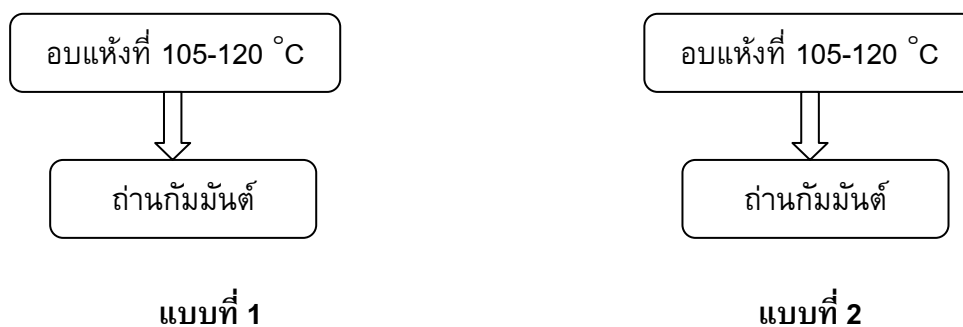
1. อัตราส่วนของลิกนินต่อเซลลูโลสในวัตถุดิบ
2. อัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อวัตถุดิบ
3. อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น
4. อัตราการให้ความร้อน

จากการที่ใช้ไม้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางเคมีนี้คือจะได้คุณสมบัติของถ่านที่มีปริมาตรรูพรุนสูง และความหนาแน่นปรากฏต่ำ (ประมาณ 0.27 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของถ่านกัมมันต์ผง ซึ่งนำมาใช้งานในการดูดซับสภาวะที่เป็นของเหลว เช่น ระบบการบำบัดน้ำให้บริสุทธิ์ คุณสมบัติที่ดีของไม้และสารชีวมวลที่ใช้เป็นวัตถุดิบคือ มี

ปริมาณต่ำ (0.3-1.1%โดยน้ำหนัก) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณถ่านหินและลิกไนต์จะมีปริมาณสูงกว่า (2-15%โดยน้ำหนัก) และไนโตรเจนและสารชีวมวลจะมีปริมาณกำมะถันต่ำด้วย

กลไกการเกิดรูปพูนยังไม่ทราบชัดเจนและจะแตกต่างกันขึ้นกับสารเคมีแต่ละชนิดที่ใช้ เป็นไปได้ว่าสารเคมีที่เติมลงไปจะไปทำลายโครงสร้างเดิมของวัตถุดิบและขณะทำการคาร์บอนไนซ์ สารอินทรีย์ในวัตถุดิบเกิดการสลายตัวและเชื่อมโซ่กันของโครงสร้างทำให้ถ่านเกิดรูปพูนขึ้นได้ สารระเหยบางประเภทไม่สามารถหลุดออกจากโครงสร้างนี้ได้ทำให้ได้เนื้อถ่านเพิ่มขึ้นและเกิดการาร์น้อยลง ประกอบกับสารเคมีที่ใช้สามารถแทรกตัวอยู่ภายในทำให้เกิดการหดตัวน้อยเมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาล้างสารเคมีออกด้วยน้ำหรือกรดจะเกิดช่องว่างหรือรูปพูนเพิ่มเติมขึ้นอีก





ภาพประกอบ 12 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี

ที่มา: มานพ ตีระรัตนสมโภช. (2545).

(2) การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation) เป็นวิธีการเพิ่มปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวโดยใช้ปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน (gasification) ด้วยแก๊สออกซิไดซ์ที่ช่วงอุณหภูมิ 700-1200 องศาเซลเซียส แก๊สที่ใช้โดยทั่วไปคือ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ส่วนก๊าซชนิดอื่นมี ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) หรือคลอรีน (Cl_2) โดยอาจใช้ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือรวมแก๊สดังกล่าวก็ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไชน์ยังเป็นตัวดูดซับที่ไม่ดีต้องทำการกระตุ้นให้ได้ถ่านที่มีการดูดซับสูง โดยใช้การกระตุ้นให้ทำปฏิกิริยากับแก๊สที่เป็นตัวออกซิไดซ์

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ คือ (Hassler. 1974)

- ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบ
- สมบัติทางเคมีและอัตราส่วนของก๊าซที่ใช้
- อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา
- ระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา

ในกระบวนการกระตุ้น คาร์บอนจะทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนออกไซด์ แปรออกจากผิวของคาร์บอน เกิดแก๊สซิฟิเคชันบางส่วนของเม็ดถ่าน เป็นรูพรุนขึ้นในโครงสร้างของถ่าน ถ่านจากการคาร์บอนไชน์ประกอบด้วยรูพรุนเล็กๆ จำนวนมากเกิดจากช่องว่างระหว่างผลึกในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอม รูพรุนนี้มักจะถูกบรรจุไว้ด้วยทาร์ที่เกิดจากการสลายตัวด้วย

ความร้อน และถูกขวางด้วยคาร์บอนอสัณฐาน การกระตุ้นจึงเป็นทั้งการเปิดรูที่ถูกปิด และการสร้างรูใหม่ขึ้นด้วย

ข้อดีของการใช้วิธีนี้คือหลังจากการกระตุ้นจนได้ถ่านกัมมันต์แล้ว สามารถนำไปใช้ได้เลยทันที ไม่มีสารเคมีตกค้างไม่ต้องมีปัญหาในการล้างสารที่เหลือ เพราะไม่มีสารที่อาจจะเป็นอันตรายติดไป ข้อเสียคือต้องใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นค่อนข้างสูงกว่าวิธีแรก เพราะไอน้ำที่ใช้จะต้องเป็น Super heated steam ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงเหมือนกัน สำหรับรูพรุนของถ่านที่ได้จะเล็กกว่าชนิดที่ผลิตด้วยวิธีแรก รูพรุนแบบนี้เรียกว่า Micro pore ซึ่งเหมาะสำหรับดูดกลืนไอหรือก๊าซพิษได้ดี ตัวอย่างการกระตุ้นโดยวิธีทางกายภาพ เช่น

- การกระตุ้นด้วยไอน้ำ สำหรับการกระตุ้นด้วยไอน้ำนั้น ถือได้ว่าเป็นการกระตุ้นโดยวิธีทางกายภาพ ไอน้ำจะเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อนจากปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันของคาร์บอนอะตอม และมีการใช้กันมาก เนื่องจากโมเลกุลของไอน้ำนั้นมีขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และในการกระตุ้นด้วยไอน้ำนั้นจะมีข้อดีคือ

1. โมเลกุลของน้ำจะแพร่เข้าไปได้อย่างรวดเร็วในโครงสร้างรูพรุน
2. เนื่องจากโมเลกุลที่เล็กจึงสามารถเข้าไปในรูพรุนขนาดเล็กได้
3. มีการเกิดปฏิกิริยาที่รวดเร็ว ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถึงสามเท่า ที่สภาวะความดัน 10 กิโลพาสคัลและอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส รูปแบบของปฏิกิริยาในการกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำคือ



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน และเป็นปฏิกิริยาที่ซับซ้อน แต่โดยทั่วไปจะสมมุติเป็นปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันของถ่านชาร์ อาจเขียนอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (r) แบบ Langmuir – Hinshellwood ได้ดังนี้

$$r = \frac{k_1 P_{\text{H}_2\text{O}}}{1 + k_2 P_{\text{H}_2\text{O}} + k_3 P_{\text{H}_2}}$$

- ซึ่ง P_{H_2O} คือ ความดันย่อยของไอน้ำ
 P_{H_2} คือ ความดันย่อยของแก๊สไฮโดรเจน
 k_1, k_2, k_3 คือ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

การกระตุ้นด้วยไอน้ำโดยส่วนใหญ่พบว่า เมื่อร้อยละน้ำหนักที่หายไปในช่วงการกระตุ้น (% burn – off) มีค่าต่ำจะเกิดการสร้างรูพรุนขนาดเล็กเท่านั้น และเมื่อ % burn – off มีค่าเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กเพิ่มขึ้นพร้อมๆ กับการเพิ่มปริมาตรของรูพรุนขนาดใหญ่ เกิดการกระจายขนาดของรูพรุนที่กว้างขึ้น รวมถึงมีปริมาตรรวมของรูพรุนเพิ่มตามด้วย เมื่อ % burn – off มีค่ามากกว่าร้อยละ 50 พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จะไม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันในช่วงนี้จะเป็นการเพิ่มขนาดของรูพรุนมากกว่าการสร้างรูพรุนขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามในปฏิกิริยาของการกระตุ้นด้วยไอน้ำ จะมีการยับยั้งปฏิกิริยาเกิดขึ้นอันเกิดจากจะมีไฮโดรเจนไปเกาะติดบนตำแหน่งของความว่างไวบนผิวของคาร์บอน ซึ่งจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงได้

- การกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องเป็นปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันระหว่างคาร์บอนอะตอมและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีกลไกในการเกิดคือ



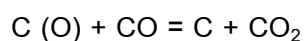
ปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน เช่นเดียวกับไอน้ำ ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยา คือ

$$r = \frac{k_1 P_{CO_2}}{1 + k_2 P_{CO} + k_3 P_{CO_2}}$$

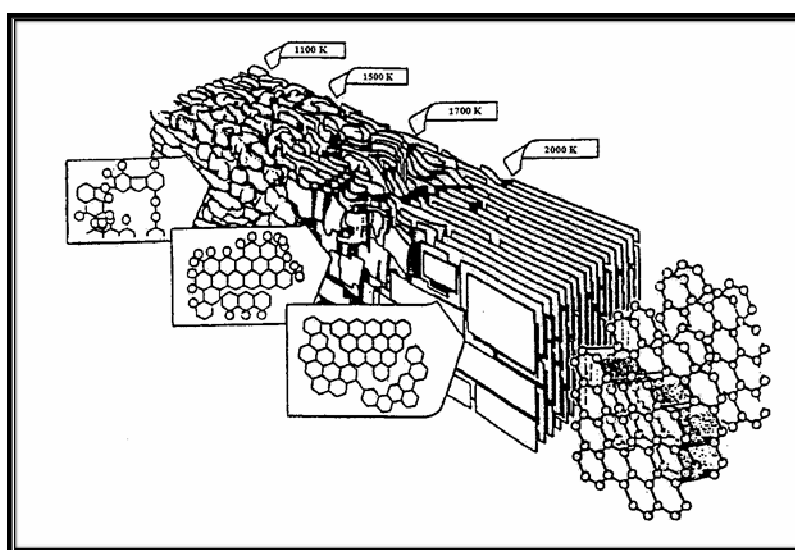
- ซึ่ง P_{CO_2} คือ ความดันย่อยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
 P_{CO} คือ ความดันย่อยของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์
 k_1, k_2, k_3 คือ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

ในปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 800 – 900 องศาเซลเซียส ซึ่งกลไกในการเกิดปฏิกิริยานั้นมีการศึกษากันอย่างมากมาย ในปฏิกิริยานี้มีการยับ

ยังปฏิกิริยาอันเกิดจาก คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน โดยคาร์บอนมอนอกไซด์จะเกิดจากปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยา



Rand and Marsh ได้กล่าวว่าการเกิดขึ้นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์นั้นจะมีผลดีคือจะมีการกระตุ้นที่ให้อุณหภูมิขนาดเล็กที่ดี แต่ในขณะเดียวกันอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลง จากการทดลองโดยทั่วไปจะพบว่า การกระตุ้นโดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จะต้องใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นสูงกว่าการกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำ แต่โดยทั่วไปมักจะใช้แก๊สผสมระหว่าง แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับไอน้ำ



ภาพประกอบ 13 แสดงการจัดเรียงโครงสร้างคาร์บอนของถ่านกัมมันต์ ตามการเพิ่มของอุณหภูมิ

เนื่องจากปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันด้วย CO_2 จะใช้พลังงานมากกว่าการใช้ไอน้ำ จึงต้องใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่สูงกว่า อนุพันธ์ส่วนใหญ่ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย CO_2 จะเป็นอนุพันธ์ขนาดเล็ก ($< 2 \text{ nm}$) โดยมีปริมาตรประมาณ 70% ของปริมาตรอนุพันธ์ทั้งหมด ซึ่งจะให้พื้นที่ผิวประมาณ 90% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด และยังพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีปริมาตรอนุพันธ์น้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยไอน้ำ เมื่อพื้นที่ผิวมีค่าใกล้เคียงกัน

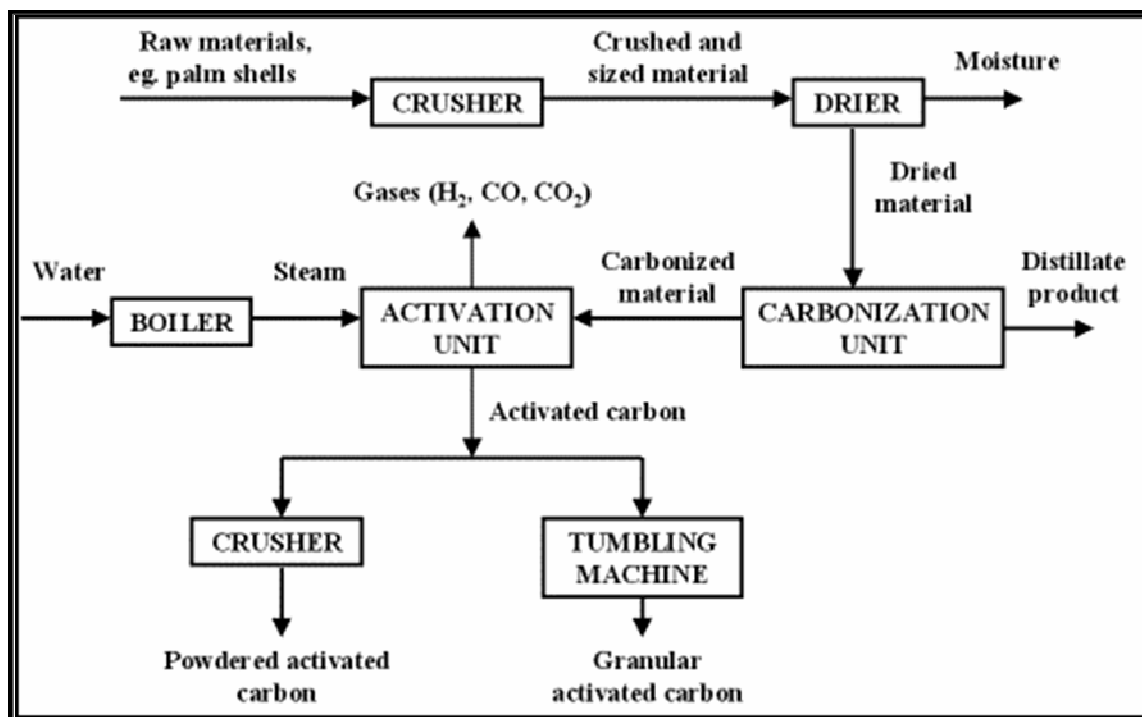


ภาพประกอบ 14 แสดงถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มขนาด 0.6-1.18 950 °C 1 ชั่วโมง อัตราการกระตุ้นด้วยอากาศ 0.005 ลิตร/นาที่ และอัตราส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ต่อจุดเดือดไอน้ำ 1:1

- การกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิเจนหรืออากาศ ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องของเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน มีกลไกในการเกิดปฏิกิริยา คือ



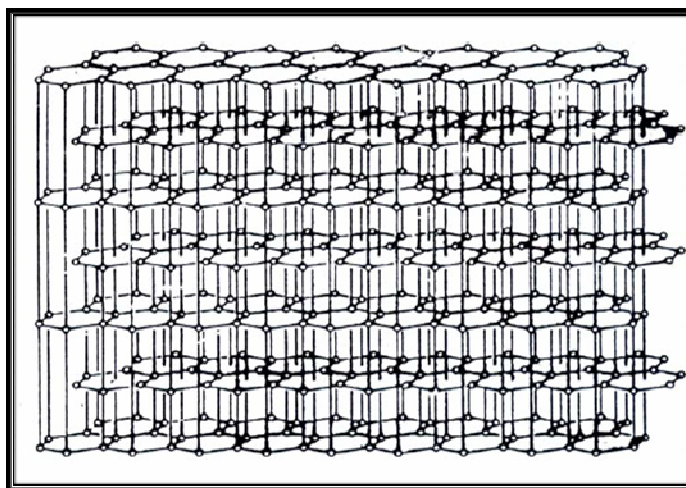
การกระตุ้นด้วยออกซิเจนหรืออากาศ มีการเผาไหม้เกิดขึ้นทำให้ควบคุมปฏิกิริยาได้ยาก จึงมักไม่เป็นที่นิยมใช้



ภาพประกอบ 15 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ

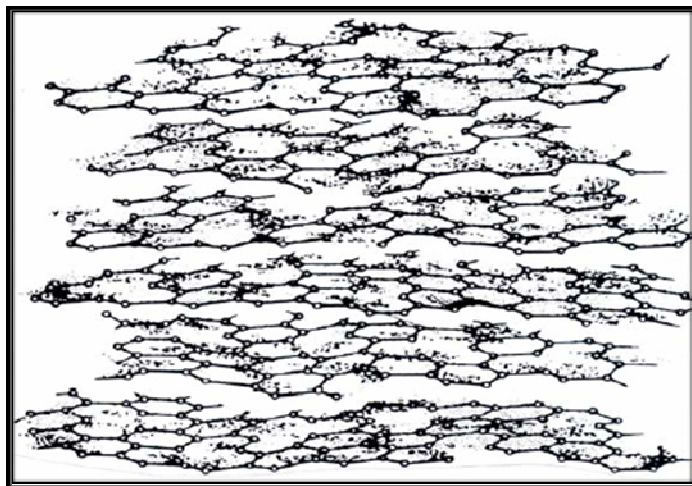
8. โครงสร้างรูปพรุนของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะคล้ายกราฟไฟต์ (Graphite) แต่แตกต่างกันที่พื้นที่ผิวภายในของถ่านกัมมันต์ซึ่งมีมากมาย แกรไฟต์ประกอบด้วยแผ่นชั้นที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอนซึ่งเรียงตัวกันแบบหกเหลี่ยมด้านเท่า (Regular Hexagons) ระยะห่างระหว่างอะตอมของคาร์บอนในแต่ละชั้นมีขนาด 3.35 อังสตรอม มี 3 อิเล็กตรอนของคาร์บอนจะสร้างพันธะโควาเลนต์ (Covalent Bond) กับอะตอมที่ติดกันอีก 3 อะตอม เกิดเป็นโครงสร้างแหวนแนวนอน ขณะที่อิเล็กตรอนอีก 1 ตัวที่เหลือจะเคลื่อนที่ระหว่างโครงสร้างวาเลนซ์เพื่อจะไปรวมกับอะตอมอื่นหรือสร้างพันธะต่อเนื่องเป็นโครงผลึกร่างตาข่ายซึ่งคล้ายกับโครงสร้างของแกรไฟต์ ดังแสดงในภาพประกอบ 16



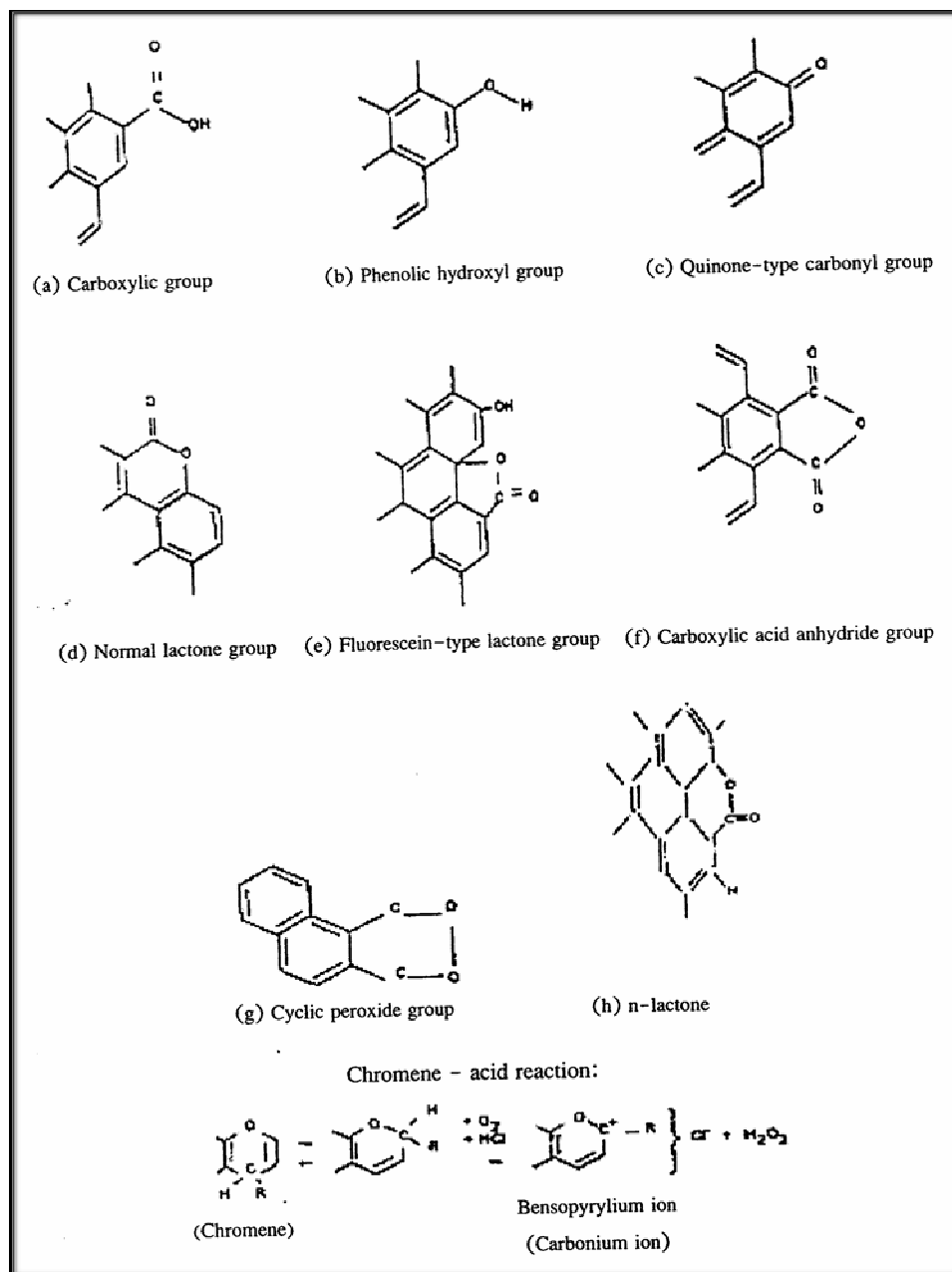
ภาพประกอบ 16 แสดงโครงสร้างของกราไฟต์

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์แตกต่างจากกราไฟต์ ซึ่งจะมีโครงสร้างเป็นผลึกที่เล็กมาก (Microcrystallites) ประกอบด้วยวงหกเหลี่ยมด้านเท่าของอะตอมคาร์บอนผสมกัน เส้นผ่าศูนย์กลางของชั้นคาร์บอนที่สร้างผลึกเล็กๆ มีขนาดประมาณ 150 อังสตรอม และระยะห่างระหว่างผลึกเล็กๆนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 20-50 อังสตรอมซึ่งประกอบด้วยชั้นของคาร์บอนที่คล้ายแกรไฟต์ประมาณ 5-15 ชั้น ขนาดของผลึกขนาดเล็กซึ่งเป็นโครงสร้างของถ่านกัมมันต์เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิในกระบวนการเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนในโครงสร้างและโครงสร้างของวัตถุดิบ ซึ่งจะมีคาร์บอนบางอะตอมหลุดออกไปจากโครงร่างทำให้เกิดเป็นช่องว่างหรือถูกแทนที่ด้วยอะตอมชนิดอื่น โดยเฉพาะอะตอมของออกซิเจนและไฮโดรเจน ดังแสดงในภาพประกอบ 17



ภาพประกอบ 17 แสดงโครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ชนิดของสารตั้งต้นและวิธีการกระตุ้นที่แตกต่างกันทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีกลุ่มฟังก์ชันแตกต่างกัน โดยมีออกซิเจนเป็นธาตุองค์ประกอบที่สำคัญของกลุ่มฟังก์ชันบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติการดูดซับเป็นอย่างมาก พบว่ามีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในถ่านกัมมันต์ประมาณ 1-25 % โดยน้ำหนัก ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากก๊าซช่วยกระตุ้นสร้างพันธะกับพื้นผิวคาร์บอน เกิดเป็นกลุ่มออกไซด์ขึ้นบนพื้นผิว กลุ่มออกไซด์ที่พบมากที่สุดบนพื้นผิวคือ กลุ่มคาร์บอกซิลิก กลุ่มฟีนอลิก-ไฮดรอกซิล และกลุ่มของควิโนนคาร์บอนิล ดังแสดงในภาพประกอบ 18



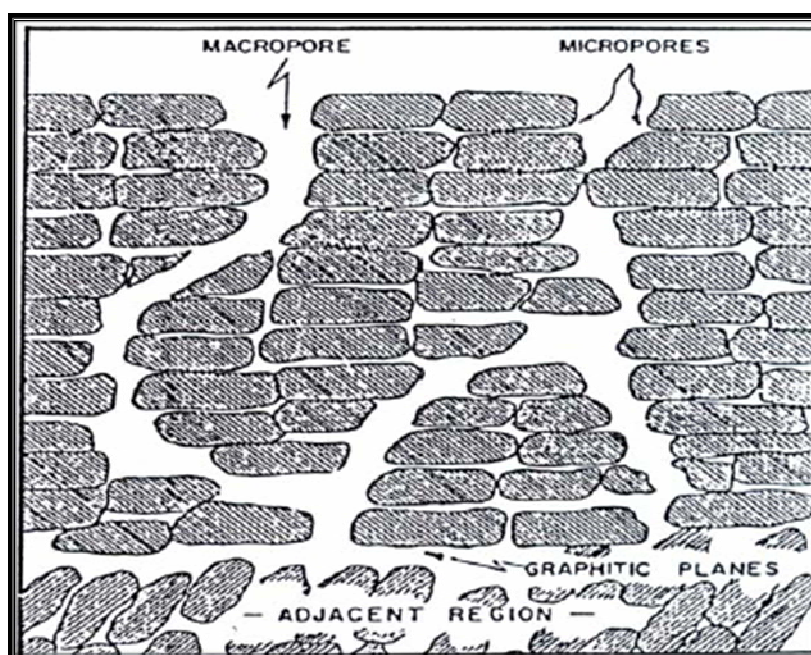
ภาพประกอบ 18 แสดงกลุ่มฟังก์ชันของออกซิเจนบนผิวถ่านกัมมันต์

- ความพรุน (**Porosity**) โดยปกติแล้วถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปมีปริมาตรความพรุนอยู่ระหว่าง 0.5-1.5 ml/g จากลักษณะและขนาดของรูพรุน สามารถแบ่งรูพรุนได้เป็น 3 ขนาด

ก.รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores) ขนาดของรูพรุนขนาดใหญ่ที่พบในถ่านกัมมันต์ มีค่าอยู่ระหว่าง 5,000-20,000 อังสตรอม ปริมาตรความพรุนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2-0.8 ml/g ส่วนพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนขนาดใหญ่นี้มักจะไม่ค่อยสนใจ สามารถตัดทิ้งได้เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า $2 \text{ m}^2/\text{g}$

ข.รูพรุนขนาดกลาง (Transitional Pores) มีรัศมีอยู่ระหว่าง 20-1,000 อังสตรอม มีปริมาตรความพรุนอยู่ระหว่าง 0.02-0.1 ml/g มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด

ค.รูพรุนขนาดเล็ก (Micropores) มีรัศมีน้อยกว่า 20 อังสตรอม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6-8 อังสตรอม ปริมาตรความพรุนมีอยู่ระหว่าง 0.15-0.5 ml/g และมีพื้นที่ผิวจำเพาะอย่างน้อยที่สุด 95 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด



ภาพประกอบ 19 แสดงลักษณะของรูพรุนในถ่านกัมมันต์

ในภาพประกอบ 19 แสดงลักษณะของรูพรุนในถ่านกัมมันต์ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น รูพรุนขนาดใหญ่จะเป็นรอยแตกที่ผิวของคาร์บอน รูพรุนขนาดกลางจะแตกสาขาออกมาจากรูพรุนขนาดใหญ่ และรูพรุนขนาดเล็ก ก็จะแตกสาขาออกมาจากรูพรุนขนาดกลาง

9. การศึกษาการดูดซับที่เกี่ยวกับเคมีพื้นผิว (Surface Chemistry)

ความจุของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ (Adsorption Capacity) จะขึ้นกับ

- พื้นที่ผิวทั้งหมด (total surface area)
- โครงสร้างรูพรุนในเนื้อถ่าน

- **การมีฟังก์ชันลกรุ๊ป (functional group)** ต่างๆบนผิวรูพรุนของถ่านขนาดรูพรุนบริเวณผิวจะเป็นสิ่งหนึ่งที่กำหนดความจุในการดูดซับ โดยโครงสร้างทางเคมีที่ผิวถ่านกัมมันต์ จะมีผลต่อสารที่ถูกดูดซับในกรณีที่สารนั้นมีขั้วหรือไม่มีขั้ว นอกจากนั้นตำแหน่งที่ว่องไวบริเวณผิวถ่านกัมมันต์จะเป็นสิ่งกำหนดชนิดของปฏิกิริยาเคมีที่ผิวถ่านกับโมเลกุลอื่น

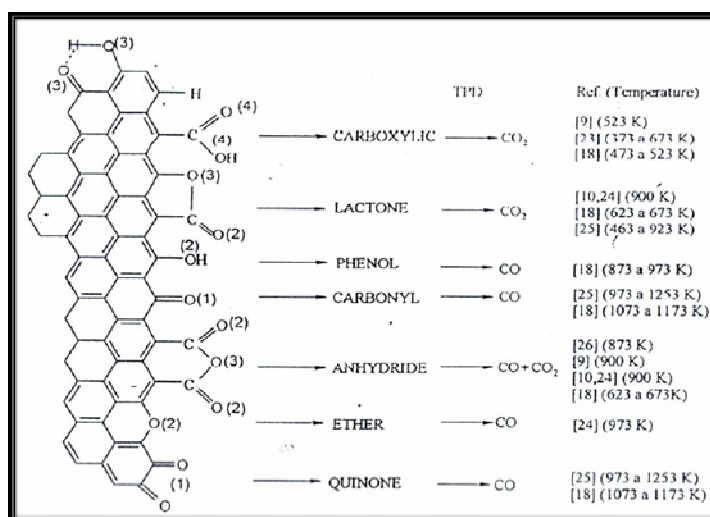
ดังนั้นในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ จึงไม่ได้ขึ้นกับพื้นที่ผิวอย่างเดียว ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวเท่ากันแต่ได้จากการเตรียมที่มีวิธีต่างกัน อาจจะเป็นวิธีการกระตุ้นที่ต่างกันก็จะให้ลักษณะการดูดซับ (adsorption characteristics) ที่ต่างกัน ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่ดีจึงควรมีพื้นที่ผิวมาก และมีขนาดรูพรุนที่เหมาะสมกับสปีชีส์ (species) ที่ถูกดูดซับที่บริเวณผิวของถ่านกัมมันต์ จะมีผลึกคาร์บอนอยู่ที่บริเวณผิวและขอบของผลึกคาร์บอนโดยจะมีตำแหน่งวาเลนซ์ที่เหลืออยู่จึงทำให้บริเวณดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่ว่องไว จะเห็นได้จากการดูดซับทางเคมีที่บริเวณผิวถ่าน ธาตุที่ถูกดูดซับเข้ามาอาจเป็น ออกซิเจน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน คลอรีน โบรมีน ไอโอดีน และซัลเฟอร์ ซึ่งเป็นการดูดซับแบบซับซ้อนที่บริเวณผิวจึงไม่สามารถเขียนกลไกการดูดซับออกมาในรูปแบบของสมการเคมีได้เมื่อพิจารณาหมู่ฟังก์ชันลกรุ๊ปที่บริเวณผิวของถ่านกัมมันต์ พบว่าหมู่ฟังก์ชันลกรุ๊ปที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ มีความสำคัญมากที่สุด เมื่อตรวจสอบที่บริเวณผิวของคาร์บอนโดยใช้เอ็กซ์เรย์อะตอมของออกซิเจนจะสร้างพันธะกับอะตอมของคาร์บอน ซึ่งจะมีเป็นจำนวนมากที่บริเวณขอบของโมเลกุลคาร์บอนที่เกาะตัวเป็นอะโรมาติก โดยพันธะระหว่างออกซิเจนและไฮโดรเจน จะมีอิทธิพลมากที่สุดต่อลักษณะพื้นผิวถ่านกัมมันต์ เช่น ความเป็นกรดที่บริเวณผิวการแลกเปลี่ยนไอออนบวก รวมถึงการดูดซับแก๊สและไอที่มีขั้วและไม่มีขั้ว

การที่จะให้เกิดหมู่ฟังก์ชันลกรุ๊ปที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่บริเวณผิวถ่านกัมมันต์ ทำได้โดยการออกซิไดซ์ถ่านกัมมันต์ ซึ่งทำได้ทั้งในภาวะแก๊สและภาวะของเหลว จากวิธีการดังกล่าวจะทำให้พื้นที่ผิวถ่านกัมมันต์เป็นได้ทั้ง กรด เบส และเป็นกลาง ตัวอย่างของพื้นผิวที่เป็นกรดเช่นคาร์

บอกลิก ฟีนอลิก ไฮดรอกซิล แล็คโทน และควิโนน ซึ่งจะได้แบบใดนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการออกซิไดซ์ พบว่าเมื่อมีหมู่ที่แสดงความเป็นกรดที่บริเวณผิวของถ่านกัมมันต์ จะทำให้มีสมบัติในการชอบดูดน้ำมากขึ้น (Hydrophilic) และจะมีผลต่อพื้นที่ผิว และลักษณะต่างๆของถ่านกัมมันต์จากการมีหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้จึงมีบทบาทที่สำคัญต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์เทคนิคต่างๆในการหาลักษณะของหมู่ฟังก์ชันเหล่านั้นบนผิวของถ่านกัมมันต์ที่ใช้กันโดยทั่วไปเช่น

- **Chemical titration method** เป็นเทคนิคที่ใช้ร่วมกับเทคนิคแบบอื่น แต่ไม่สามารถใช้ได้เมื่อตัวอย่างมีปริมาณน้อย และถ้ามีหมู่ที่มีออกซิเจนในปริมาณมากก็ไม่สามารถให้ค่าที่ถูกต้องได้

- **XPS** เป็นเทคนิคที่จะสามารถบอกองค์ประกอบทางเคมีที่ผิวได้



ภาพประกอบ 20 แสดงกลุ่มฟังก์ชันต่างๆ ที่ผิวคาร์บอน และอุณหภูมิต่างๆ ที่สลายตัวโดย TPD

- Infrared spectroscopic เป็นวิธีที่ใช้ในกรณีที่ถ่านมีหมู่ที่มีออกซิเจนมาก ไม่เช่นนั้นจะไม่สามารถตรวจสอบได้

- Temperature – programmed methods เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน โดยจะหาหมู่ฟังก์ชันได้จากการหลุดออกมาของ CO, CO₂ เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ โดยงานวิจัยต่างๆบางครั้งจะมีผลไม่สอดคล้องกันทำให้ค่อนข้างสับสน จากรูปที่ 4-11 จะได้พีคของ CO₂ จากการคาร์บอกซิลิกที่อุณหภูมิต่ำ และหมู่แลคโทนที่อุณหภูมิสูงขึ้น หมู่คาร์บอกซิลิกแอนด์ไฮโดรได้จากพีคทั้ง CO และ CO₂ โดยหมู่ฟีนอล อีเทอร์และคาร์บอนิล ได้จากพีคของ CO ในปัจจุบัน

ถ่านกัมมันต์จะมีเทคนิคต่าง ๆ ในการผลิตที่ต่างกัน เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติต่างกัน โดยเทคนิคที่ใช้ต่าง ๆ ในการผลิตพยายามที่จะหาหุ้ฟุ้งกัซนบนผิวถ่านกัมมันต์

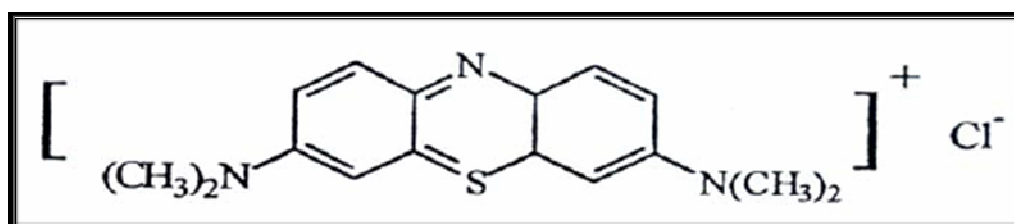
10. การวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์หาสมบัติของถ่านกัมมันต์นั้นสามารถพิจารณาได้จากหลายสมบัติคือ พื้นที่ผิว สมบัติทางกายภาพ เช่น ค่าความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density) สมบัติในการดูดซับเช่นการดูดซับไอโอดีน การดูดซับเมทิลีนบลู และสมบัติด้านเคมีฟิสิกส์ เช่น ปริมาณสารระเหยปริมาณความชื้น และปริมาณเถ้า

- **สมบัติในการดูดซับ** สมบัติในการดูดซับของถ่านกัมมันต์หาได้จากไอโซเทอมของการดูดซับของถ่านกัมมันต์เมื่อนำไปดูดซับของเหลว ตัวอย่างของสมบัติในการดูดซับคือ

(1) **การดูดซับไอโอดีน** การศึกษาการดูดซับไอโอดีนเป็นวิธีที่ง่ายในการหาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยเป็นการหาจำนวนมิลลิกรัมของสารละลายไอโอดีนที่ถูกดูดซับ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 1 กรัมที่จุดซึ่งความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือเท่ากับ 0.02 นอร์มัล ซึ่งอาจมีค่าแตกต่างจาก 0.02 นอร์มัลได้โดยให้อยู่ในช่วง 0.007 – 0.03 นอร์มัล ในบางครั้งถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดเล็กสูง ค่าไอโอดีนอาจมีค่าต่ำ เนื่องจากโมเลกุลของไอโอดีนไม่สามารถเข้าไปสู่รูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่า 1 นาโนเมตรได้

(2) **การดูดซับเมทิลีนบลู** ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูจะสามารถบอกค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ได้สำหรับโมเลกุลที่ถูกดูดซับมีขนาดใกล้เคียงกับโมเลกุลของเมทิลีนบลู ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วงของรูพรุนขนาดกลางคือจะมีขนาดใหญ่กว่า 1.5 นาโนเมตร โดยโครงสร้างของโมเลกุลเมทิลีนบลูแสดงดังภาพประกอบ 21



ภาพประกอบ 21 แสดงโครงสร้างทางเคมีของเมทิลีนบลู

- สมบัติด้านเคมีฟิสิกส์ เป็นวิธีการตามแบบ Jankowska

(1) ปริมาณสารระเหย เป็นค่ามาตรฐานที่ใช้กำหนดค่าสารระเหยที่อยู่ในถ่านหินและโค้ก โดยนำมาประยุกต์ใช้กับถ่านกัมมันต์ได้ ทำการทดสอบได้โดยนำตัวอย่างมาบดให้มีขนาดเล็กกว่า 0.1 นาโนเมตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 950 ± 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที ± 10 วินาที ค่าของปริมาณสารระเหยจะเป็นมวลที่หายไปอันเกิดจากการให้ความร้อนที่ภาวะดังกล่าวแก่ ถ่านกัมมันต์

(2) ปริมาณความชื้น เป็นการหาปริมาณน้ำที่มีในถ่านกัมมันต์ โดยการอบให้แห้งในเตาอบ ทำการวิเคราะห์โดยบดถ่านกัมมันต์ชนิดผงปริมาณ 1- 2 กรัม หรือชนิดเม็ด 5 – 10 กรัม นำไปทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ (ประมาณ 3 ชั่วโมง) สามารถคำนวณปริมาณความชื้นได้จากน้ำหนักที่หายไป

(3) ปริมาณเถ้า ปริมาณเถ้าในถ่านกัมมันต์อาจมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงและเวลาสูงปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เถ้าโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยออกไซด์ นอกจากนั้นจะเป็นสารประกอบพวกซิลิเกต คาร์บอนเนต และสารประกอบอื่นๆของเหล็ก อะลูมิเนียม แคลเซียม โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และโลหะอื่นๆซึ่งจะมี สารประกอบเหล่านี้อยู่ในปริมาณเท่าใดนั้นขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะประกอบด้วย ซิลิกอน ซึ่งวิธีการที่จะใช้ในการกำจัดเถ้าออกจากถ่านกัมมันต์นั้นจะใช้ กรดหากมีเถ้าที่มีองค์ประกอบที่ซับซ้อนมากจะใช้กรดที่ผสมกัน เช่นใช้กรดที่ผสมกันระหว่าง กรดไฮโดรฟลูออริกและกรดไฮโดรคลอริก การหาปริมาณเถ้าสามารถทำได้โดยนำตัวอย่างใส่ในครุชีเบิล และนำใส่ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 650 ± 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 – 16 ชั่วโมง ซึ่งมวลของเถ้าจะคงที่ที่เวลาเท่าใดนั้นจะขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ

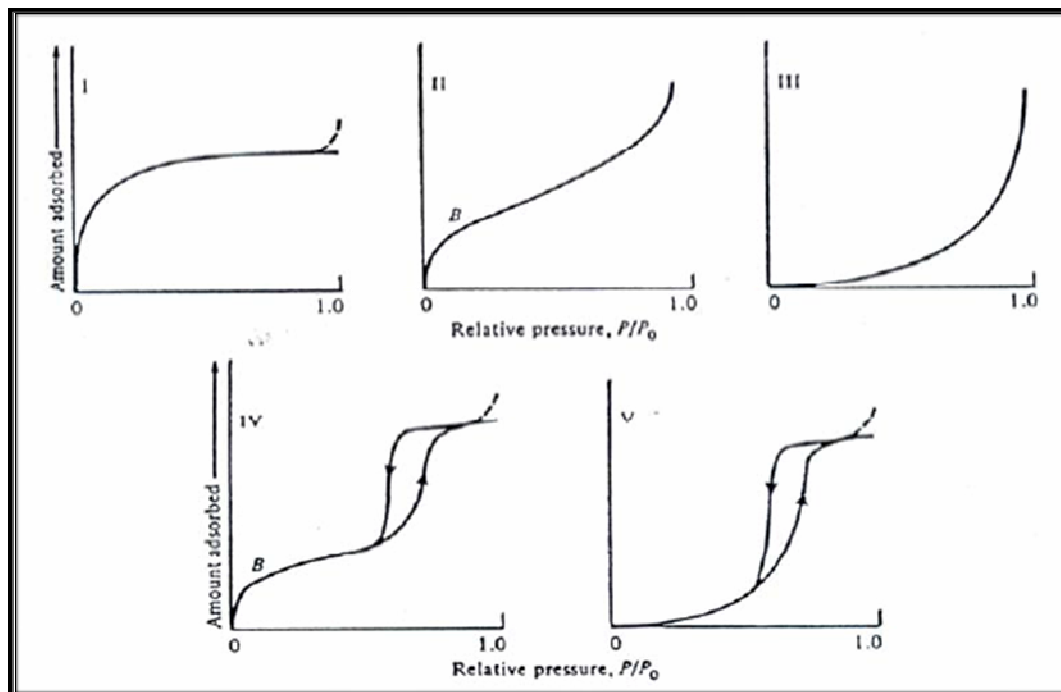
11. พื้นที่ผิว (Surface area)

ในการวัดพื้นที่ผิวจะต้องใช้ไอโซเทอม (Isotherm) ของการดูดซับ ซึ่งไอโซเทอมนีจะมีรูปแบบตามธรรมชาติของตัวดูดซับที่เป็นของแข็ง ซึ่งจะทำให้การทดลองที่อุณหภูมิคงที่ ที่ความดันย่อยต่างๆเพื่อสร้างไอโซเทอมของการดูดซับ จากไอโซเทอมของการดูดซับข้อมูลที่ได้คือ

- ค่าของพื้นที่ผิว
- ค่าของปริมาตรรูพรุน
- ทราบลักษณะเคมีพื้นผิว (surface chemistry) ของตัวดูดซับ
- ทราบข้อมูลพื้นฐานของการดูดซับ
- ทราบประสิทธิภาพของตัวดูดซับที่ใช้ในระบบการแยกหรือการทำให้บริสุทธิ์

ไอโซเทอมของการดูดซับทางกายภาพ ทั้งหมดสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่ม โดยในตอนแรกเสนอโดย Brunauer, Deming, and Teller (BDDT) ในปัจจุบันการแบ่งกลุ่มได้ถูกเรียกว่า Brunauer, Emmett and Teller (BET) classification ในทุกกรณีเมื่อค่าความดันย่อยมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยจนการดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเป็นแบบหลายชั้น รูปของชนิดไอโซเทอมแสดงที่ภาพประกอบ 22

- ไอโซเทอมชนิดที่ 1 เป็นการดูดซับของของแข็งที่มีลักษณะรูพรุนขนาดเล็กและการดูดซับส่วนใหญ่จะเป็นการดูดซับในรูพรุนขนาดเล็ก พื้นที่ผิวภายนอก (external surface area) จะต่ำที่ความดันย่อยต่ำ (< 0.1 p/po) ก็จะสามารถดูดซับได้มากแล้ว ซึ่งการดูดซับจะเสร็จสมบูรณ์ที่ความดันย่อยประมาณ 0.5 p/po ตัวอย่างการดูดซับของไอโซเทอมแบบที่ 1 คือ การดูดซับของไนโตรเจนบนถ่านที่มีรูพรุนขนาดเล็กที่ อุณหภูมิ 77 องศาเคลวิน การดูดซับของแอมโมเนียบนผิวถ่านชาร์ที่ อุณหภูมิ 273 องศาเคลวิน และการดูดซับบนซีโอไลต์



ภาพประกอบ 22 แสดงไอโซเทอมของการดูดซับทั้ง 5 ชนิด

- ไอโซเทอมชนิดที่ 2 บางครั้งอาจเรียกว่าไอโซเทอมที่มีรูปแบบ ซิกมอยด์ หรือแบบเอส (sigmoid or Sshaped) เป็นรูปแบบไอโซเทอมการดูดซับของตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุนหรือตัวดูดซับที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเกิดการดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) จากไอโซเทอมตรงบริเวณจุด B จะแสดงถึงการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) นั้นเสร็จสมบูรณ์ จากนั้นที่ความดันสูงขึ้นจะเกิดการดูดซับที่ต่อเนื่องจากชั้นแรกต่อไป และจะเกิดการดูดซับเสร็จสมบูรณ์ที่ความดันย่อยสูงๆ

- ไอโซเทอมชนิดที่ 3 เป็นรูปแบบของการดูดซับที่มีแรงดึงดูดที่อ่อนระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ แต่แรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับด้วยกันมีค่อนข้างมาก จากกรณีนี้จะทำให้เกิดการรวมตัวกันของตัวถูกดูดซับก่อนที่การดูดซับชั้นแรกจะเสร็จสมบูรณ์ ตัวอย่างการดูดซับของไอโซเทอมแบบที่ 3 คือ การดูดซับของไอน้ำบนผิวถ่านที่ไม่มีรูพรุน

- ไอโซเทอมชนิดที่ 4 จะพบในสารที่มีขนาดรูพรุนประมาณ 15 – 1,000 อังสตรอม ความชันของกราฟเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อความดันเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ากราฟเริ่มเข้าเติมในรูพรุน และการเปลี่ยนระดับของกราฟเมื่อความดันเพิ่มขึ้นอีกเป็นผลมาจากการควบแน่นภายในรูพรุนของของแข็ง (capillary condensation in pores) โดยลักษณะกราฟในช่วงแรกจะเหมือนกับชนิด 2 ซึ่งจุดเปลี่ยน

โค้งหรือจุด B จะแสดงถึงการดูดซับชั้นแรกอย่างสมบูรณ์ ตัวอย่างเช่น การดูดซับเบนซีน (benzene) บนไฮดรอกไซด์เจล (iron (III)oxide gel) ที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส

- ไอโซเทอมชนิดที่ 5 จะพบในสารที่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของแก๊สกับผิวของของแข็งน้อย มีลักษณะคล้ายชนิด 3 แต่ชนิด 5 จะสามารถเกิดการควบแน่นในรูพรุนได้สำหรับรูพรุนที่มีขนาดในช่วงเดียวกับชนิด 4 ตัวอย่างเช่น การดูดซับไอน้ำ (water vapor) บนถ่านหิน ที่อุณหภูมิ 373 องศาเซลเซียสสำหรับไอโซ-เทอมชนิด 3 และชนิด 5 นี้จะคำนวณหาพื้นที่ผิวได้ยากเนื่องจากชั้นการดูดซับชั้นที่ 2 จะถูกสร้างขึ้นก่อนที่ชั้นแรกจะเสร็จสมบูรณ์

- การคำนวณพื้นที่ผิวโดยสมการแลงเมียร์ (Langmuir equation) โดยสมการแลงเมียร์มีสมมติฐานคือ

1. เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียวเท่านั้น
2. เป็นการดูดซับที่ไม่เกิดปฏิกิริยาระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ
3. แต่ละตำแหน่งของผิวการดูดซับมีลักษณะเหมือนกันหมด

เราสามารถหาพื้นที่ผิวได้จากสมการของแลงเมียร์โดยมีรูปแบบจากไอโซเทอมชนิดที่ 1 สมการมีรูปแบบคือ

$$\frac{P}{V} = \frac{P}{V_m} + \frac{1}{BV_m}$$

ซึ่ง V คือ ปริมาณการดูดซับของแก๊สที่ถูกดูดซับ (mmol g^{-1}) ต่อหน่วยมวลของตัวดูดซับ ที่ความดันย่อย (p/p_0) ต่างๆ

V_m คือ ปริมาณการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer capacity, mmol g^{-1})

B คือ ค่าคงที่

P คือ ความดัน

ค่าพื้นที่ผิวจะได้จากความสัมพันธ์ของสมการ

$$S = V_m L \sigma$$

ซึ่ง S คือ พื้นที่ผิว (m^2/g)

L คือ เลขอวกาโตร (Avogadro's number, 6.02×10^{23})

คือ พื้นที่ฉายเงาของโมเลกุลตัวถูกดูดซับ ($\text{m}^2 \text{ molecule}^{-1}$)

สมการดังกล่าวมีประโยชน์มากที่ได้จากไอโซเทอม อย่างไรก็ตามสมการแลงเมียร์ซึ่งมีสมมุติฐานดังกล่าวอาจไม่เหมาะสมกับตัวดูดซับบางชนิด

- การคำนวณพื้นที่ผิวโดยวิธีบีอีที (BET) เนื่องจากแรงในการเกิดการดูดซับทางกายภาพ จะคล้ายกับแรงในการเกิดการควบแน่น (liquefaction) คือเป็นแรงวานเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) ดังนั้นการดูดซับทางกายภาพ (ทั้งบนพื้นผิวแบนและบนพื้นผิวโค้ง) จึงไม่จำกัดเฉพาะการดูดซับแบบชั้นเดียว (monomolecular layer) แต่สามารถเกิดต่อไปจนเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (multimolecular layer) ของของเหลวปกคลุมพื้นผิวได้

ทฤษฎีของบีอีที (Braunauer Emmett and Teller, BET) จะเพิ่มเติมจากทฤษฎีของแลงเมียร์ คือจะสามารถเกิดการดูดซับแบบหลายชั้น บนพื้นผิวที่ไม่มีรูพรุน ได้โดยสมการบีอีที จะมีสมมุติฐานว่า ชั้นการดูดซับชั้นบนสุดจะอยู่ในสภาพสมดุลกับไอของแก๊ส นั่นคืออัตราการระเหยของชั้นโมเลกุลต่างๆ เท่ากับอัตราการควบแน่น และมีสมมุติฐานอย่างง่ายว่าสำหรับการดูดซับชั้นแรก (first monolayer) จะใช้พลังงานการดูดซับ (heat of adsorption, ΔH_1) ส่วนชั้นการดูดซับชั้นที่สองขึ้นไปจะใช้พลังงานการควบแน่น (heat of liquefaction, ΔH_L) ซึ่งสมการโดยทั่วไปของบีอีที (BET) คือ

$$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C - 1)P}{V_m C P_0}$$

เมื่อ P_0 คือ ความดันไออิ่มตัว

V_m คือ ปริมาณการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer capacity)

C คือ ค่าคงที่ ($C \approx \exp [(\Delta H_L - \Delta H_1) / (RT)]$)

เมื่อพลอตค่า $\{P / [V(P_0 - P)]\}$ กับ P/P_0 จะได้เส้นตรงความชัน $[(C-1) / V_m C]$ และตัดแกน $\{P / [V(P_0 - P)]\}$ ที่จุด $1 / (V_m C)$ ซึ่งจะหา V_m ได้

จุดประสงค์หลักของสมการบีอีที คือ เพื่ออธิบายไอโซเทอมชนิดที่ 2 นอกจากนี้ยังลดรูปลงเป็นสมการแลงเมียร์ได้ที่มีความดันต่ำๆ และสามารถอธิบายไอโซเทอมชนิดที่ 3 ได้ในกรณีที่มีการดูดซับชั้นแรก (monolayer adsorption) คายความร้อนน้อยกว่าการควบแน่น (liquefaction) ($C < 1$) นั่นคือ สามารถใช้คำนวณหาพื้นที่ผิวจากข้อมูลไอโซเทอมได้แม้ว่าการดูดซับชั้นแรกจะเกิดได้ไม่สมบูรณ์

สมการบีอีที (BET) สามารถใช้กับสารที่มีรูพรุนได้ ถ้าการดูดซับเกิดขึ้น n ชั้น (n สัมพันธ์กับขนาดของรูพรุน) จะได้ดังสมการ

$$V = \frac{V_m CX}{(1 - X) + (C - 1) X^n} + \frac{nX^{n+1}}{CX^{n+1}}$$

เมื่อ $X = P/P_0$

สมการนี้เป็นรูปแบบทั่วไป ซึ่งจะลดรูปเป็นสมการแลงเมียร์ (Langmuir) เมื่อ $n=1$ และเป็นสมการบีอีที (BET) เมื่อ $n = \infty$

วิธีบีอีที (BET) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการคำนวณพื้นที่ผิว โดยใช้หลักการคำนวณเหมือนกับวิธีแลงเมียร์ แต่การคำนวณค่า V_m จะต่างกันโดยกราฟบีอีทีจะเป็นการพลอตระหว่าง

$\{P / [V (P_0 - P)]\}$ กับ P/P_0 ซึ่งมักจะได้เส้นตรงในช่วงความดันสัมพัทธ์ P/P_0 ระหว่าง 0.05 ถึง 0.35

ความชัน คือ $[(C-1) / V_m C]$

จุดตัด คือ $[1 / V_m C]$

จากสมการของจุดตัดและความชันจะได้

$$V_m = 1 / (\text{จุดตัด} + \text{ความชัน})$$

และจากค่า V_m ก็จะมาคำนวณหาพื้นที่ผิวของสารตัวอย่างได้เช่นเดียวกับวิธีแลงเมียร์

ในความเป็นจริงการดูดซับทางกายภาพจะไม่มีการดูดซับในชั้นแรกเต็มพื้นที่ผิวอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของแก๊สกับผิวของแข็งไม่เท่ากับการดูดซับทางเคมี แต่สมการบีอีทีก็สามารถคำนวณค่าจำนวนโมเลกุลที่ใช้ในการปกคลุมพื้นที่ผิวของแข็งให้เต็ม 1 ชั้นได้ แม้ว่าการดูดซับชั้นแรกอย่างเต็มพื้นที่ผิวจะเกิดเฉพาะในการดูดซับทางเคมีเท่านั้น

แม้ว่าสมการบีอีที่จะใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากความง่ายของรูปแบบสมมุติฐาน และยังสามารถคล้อยกับผลการทดลองที่เป็นการดูดซับแบบหลายชั้น โดยเฉพาะที่ความดันสัมพัทธ์ระหว่าง 0.05 ถึง 0.35 ซึ่งเป็นช่วงความดันที่เกิด V_m ได้ อย่างไรก็ตามสำหรับสารที่มีรูพรุนซึ่งมักจะเกิดปรากฏการณ์ช่องว่าง (hysteresis) จากการควบแน่นในรูพรุน (pore condensation) หรือเมื่อจุด B บนกราฟไอโซเทอมไม่เด่นชัด ค่าของ V_m ที่คำนวณจากสมการบีอีก็ก็จะมีความน่าเชื่อถือน้อยลง เช่น ซี-โอไลต์ จะได้กราฟบีอีที่เป็นเส้นตรงที่ความดันสัมพัทธ์ต่ำประมาณ 0.01 หรือน้อยกว่านั้น ถ้ายอมรับความผิดพลาดเล็กน้อย เส้นกราฟบีอีที่สามารถประมาณเป็นเส้นตรงที่ผ่านจุดเริ่มต้น (origin) และคำนวณ V_m ได้จากการวัดปริมาตรของแก๊สที่ถูกดูดซับที่ความดันสัมพัทธ์ระหว่าง 0.2 ถึง 0.3 ได้

12. การตรวจสอบถ่านกัมมันต์เบื้องต้น

ถ่านกัมมันต์กับถ่านธรรมดาที่คาร์บอนแล้ว เมื่อดูลักษณะภายนอกที่เป็นเม็ดหรือเป็นผงจะไม่เห็นความแตกต่างกันมาก ด้วยเหตุนี้การซื้อขายที่ไม่มีการรับรองผลการตรวจคุณภาพถ่านกัมมันต์จึงเป็นการเสี่ยงที่จะถูกหลอกขายเป็นถ่านธรรมดาหรือถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพต่ำ การซื้อขายถ่านกัมมันต์ในระดับที่มีปริมาณมากมักจะไม่มีปัญหาเพราะต้องผ่านกระบวนการตรวจสอบและรับรอง แต่การขายในระดับรายย่อยที่มีขนาดเล็กไม่มาก เช่นซื้อเป็นถุงๆละ 25 ก.ก. การตรวจสอบโดยละเอียดมักจะไม่ได้กระทำกัน เป็นเพียงแต่การอ้างถึงคุณภาพของถ่านกัมมันต์ของผู้ขายเท่านั้น ดังนั้นผู้บริโภคควรจะมีความรู้เบื้องต้นในการตรวจสอบถ่านกัมมันต์ก่อนที่จะตัดสินใจซื้อชิ้นตอนดังต่อไปนี้

1) ให้ดูลักษณะผิวของถ่านที่เป็นเม็ดหรือเป็นผง โดยนำผงถ่านใส่มือแล้วให้แดดส่องลงบนผงถ่าน ใช้นิ้วเขี่ยเพื่อดูว่าผิวผงถ่านเป็นเงาสะท้อนเมื่อเจอแสงแดดหรือไม่ ถ้าผิวมันวาวและมีปริมาณมาก ให้สันนิษฐานว่าเป็นถ่านธรรมดา ก่อน เพราะถ่านธรรมดาหลังการคาร์บอนเมื่ออบหรือหัก รอยที่หักจะดำมันวาวเนื่องจากฟีนที่ผิวไม่มีความพรุนเป็นผิวเรียบจึงสะท้อนแสงได้ดี ถ้าผิวดำด้านไม่วาวแสดงการมีรูพรุนที่ผิว รูพรุนนี้จะดูดแสงทำให้ไม่มีการสะท้อนแสงจึงเห็นเป็นสีดำด้านๆก็ให้สันนิษฐานว่าเป็นถ่านกัมมันต์เช่นกัน

2) การวัดค่าความหนาแน่นปรากฏ กระทำโดยนำตัวที่ร่อนแล้วขนาด 1-3 มิลลิเมตรอย่างใส่ในกระบอกตวงที่ทราบน้ำหนักและวัดปริมาตรได้อย่างแน่นอนของชิ้นถ่านในกระบอกตวง เมื่อนำ

น้ำหนักถ่านที่มีหน่วยเป็นกรัมหารด้วยปริมาตรที่มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าเป็นถ่านกัมมันต์จะได้ค่าความหนาแน่นปรากฏ มีค่าระหว่าง 0.2 ถึง 0.7 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตรให้สันนิษฐานว่าเป็นถ่านกัมมันต์ ค่าความหนาแน่นปรากฏที่มีค่าน้อยวัตถุดิบมักจะเป็นพวกที่มาจากไม้ และค่าความหนาแน่นปรากฏที่มีค่ามากวัตถุดิบจะเป็นพวกที่มาจากกะลาต่างๆและถ่านหิน ถ้าค่าความหนาแน่นปรากฏสูงกว่าค่านี้นี้ถือว่าเป็นถ่านที่ยังไม่ได้กระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ แต่ถ่านที่ยังไม่ได้กระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์อาจจะมีค่าความหนาแน่นปรากฏ น้อยกว่า 0.7 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าวัตถุดิบเริ่มต้นมาจากไม้ ดังนั้นวิธีวัดค่าความหนาแน่นปรากฏของตัวอย่างจะไม่ถูกต้องนักถ้าไม่ทราบว่ตัวอย่างทำมาจากวัสดุอะไร

3) การให้ตัวอย่างดูดสารละลายไอโอดีนเจือจาง ถ้าเป็นถ่านกัมมันต์ไม่ที่มีคุณภาพสีจะจางและหายไปอย่างรวดเร็วได้สารละลายที่ใสพร้อมทั้งเห็นฟองขณะขับสารละลายฟองมาจากอากาศที่อยู่ในรูปฟอง ถ้าเป็นถ่านธรรมชาติการดูดสีจะช้ามากหรือไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีเลย การทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นการทดสอบที่ผู้ซื้อและผู้ขายนิยมใช้กันแต่ปริมาณการขายไม่มาก (5 - 10 ตัน)

เมื่อทั้ง 3 วิธีดังกล่าวเป็นตามข้อสันนิษฐานว่าเป็นถ่านกัมมันต์ การตรวจคุณสมบัติอย่างละเอียดก็สามารถดำเนินต่อไปได้ การตรวจคุณสมบัติเบื้องต้นดังกล่าวช่วยให้ประหยัดเวลาเพราะถ้าตรวจเบื้องต้นแล้วตัวอย่างไม่มีคุณสมบัติที่ดีก็ไม่ควรนำไปตรวจอย่างละเอียดเพราะจะทำให้เสียเวลาและเสียค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์อย่างมาก

13. การเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ในประเทศไทยสามารถผลิตจากวัตถุดิบเช่นกะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ไม้ยูคาลิปตัส ไม้ยางพารา วัตถุดิบแต่ละตัวจะให้คุณสมบัติการใช้งานที่ต่างกัน ดังเช่น ถ่านกัมมันต์จากกะลาซึ่งปกติจะใช้ในการบำบัดน้ำ ทั้งน้ำดื่มและน้ำเสีย ดูดซับไอเสีย ดูดสารทองคำ ดูดสารละลายอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นต่ำ การนำไปใช้ต้องขึ้นกับขนาดของอนุภาคด้วย ในทางปฏิบัติถูกแบ่งตามขนาดเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผง (Powder Activated Carbon, PAC) โดยถือว่ามีขนาดอนุภาคต่ำกว่า 0.8 มม. ถ้าโตกว่า 0.8 มม. จะถูกจัดให้เป็นชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon, GAC) ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดโดยทั่วไปพบว่าจะมีพื้นที่ผิวภายในมากโดยมีขนาดรูที่เล็ก ในขณะที่ชนิดผงจะมีขนาดที่กว้างกว่าจึงทำให้มีพื้นที่ผิวภายในต่ำกว่า ต่อไปนี้เป็นการเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ให้ตรงกับอุตสาหกรรมที่ใช้กันมากดังนี้

- ถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ใช้ในกระบวนการทางเคมี

ถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาด 100 เมช ผลิตจากวัตถุดิบที่เป็นกะลาและไม้ เหมาะที่จะใช้กับสารละลายเคมีทางธรรมชาติและสังเคราะห์เช่น

- | | |
|--------------------------------|------------------------|
| 1. Glucose Syrup (Dextrose) | 2. Crystalline Glucose |
| 3. Crystalline Fructose | 4. Citric Acid Crystal |
| 5. Starch | 6. Analgin |
| 7. Paracetamol | 8. Fine & Sulk Drugs |
| 9. Insecticides | 10. Crystalline Waxes |
| 11. Liq. Paraffin Oil | 12. Shellac |
| 13. Opium and opiate alkaloids | 14. Pepperextract |
| 15. Rice bran oil | 16. Fine Chemicals |
| 17. Antibiotics | 18. Amylalcohols |
| 19. Tartaric acid | 20. Petroleum fraction |
| 21. Anti-Leprosy drugs | 22. Sugar Syrup |
| 23. Glycerine | 24. Spl. Applications |
| 25. Light color Liquids | 26. Deep color Liquids |

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการกรองน้ำต้องมีประสิทธิภาพการกรองที่เร็วในการที่จะดูดกลืน รสออกจากน้ำ ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ทำมาจาก กะลามะพร้าว ลิกไนต์และไม้เนื้อแข็ง ลักษณะของตัวกรองสามารถแบ่งเป็น 3 แบบ คือ เป็นม้วนทรงกระบอก เป็นเม็ด และเป็นบล็อก ประสิทธิภาพการดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะการออกแบบและการไหลของของน้ำผ่านตัวกรอง

- การใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon PAC) ทำความสะอาดสารละลาย

ส่วนใหญ่การทำทำความสะอาดสารละลายเช่น น้ำตาลและกลูโคสในรูปของเหลวหรือผลึก ด้วยการดูดซับสีของสารละลายมักจะใช้ถ่านกัมมันต์ที่มีรูขนาด 55-70 อังสตรอม (รูขนาดเล็กจะน้อยกว่า 20 อังสตรอม ดังนั้นการใช้วัสดุที่เป็นไม้อยู่คาร์ลิปตัสและไม้อย่างจะเหมาะสมกับ

การเป็นตัวดูดซับที่ดีคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ พบว่าจะมีค่าความหนาแน่นปรากฏ 0.32-0.37 กรัม/มล. pH 5-8 เมทิลลิเนล 220-240 มก/ก. ไอโอดีน 700-800

- การใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon GAC)

วัตถุดิบที่ใช้ทำถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่เป็น กะลามะพร้าว กะลาปาล์มน้ำมัน ถ่านหินเพราะมีความแข็งเมื่อถูกกระตุ้นจะให้พื้นที่ผิวที่สูง ซึ่งจะให้ขนาดรูพรุนที่มีขนาดเล็กถึงเล็กมากที่สามารถจับคลอรีน โอโซน สารละลายอินทรีย์ที่ปนเปื้อนได้ตัวอย่างการนำไปใช้

1. Solvent Recovery.
2. Removal of Mercury from Hydrogen in mercury alkali.
3. Removal of Mercury from effluents of alkali industry.
4. Decoiling of hot condensates.
5. Dechlorination of Bottling Plant Process Water.
6. Removal of pesticides from waste water.
7. Removal of organic from waste water.
8. In Portable alcohol Industry to remove higher alcohol, aldehydes and thereby improving the taste of spirits such as Whisky. Gin, and Rum.
9. Protection of Ion Exchange resin (Both cation and anion)
10. Thin layer applications like gas mask and air purification.
11. As the catalyst carrier.
12. Exhaust system of internal combustion engines to reduces pollution.
13. Dechlorination of process water prior to Ion Exchange resin.
14. Gold Recovery
15. Gas purification

คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ พบว่าจะมีค่าความหนาแน่นปรากฏ 0.55-0.60 กรัม/มล. pH 5-8 ไอโอดีน 750-800 พื้นที่ผิว 800-1000 ม²/ก Hardness 70 min. ความชื้นไม่เกิน 10%

- การดูดซับโลหะหนักด้วยถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับอนุภาคที่มีประจุบวกและลบที่ละลายอยู่ในน้ำได้ โดยเฉพาะอนุภาคที่มีประจุบวกพบว่าการดูดซับจะมีค่ามากไปน้อยดังนี้ $H^+ > Al^{3+} > Ca^{2+} > Li^+ > Na^+ > K^+$ และสำหรับอนุภาคที่มีประจุลบ NO_3^- จะถูกดูดซับดีกว่า Cl^- จึงไม่เป็นที่แปลกใจเลยว่าทำไม pH จึงมีผลต่อการดูดซับของอนุภาคที่มีประจุเหล่านี้ เนื่องจากที่ pH ต่ำจะก่อให้เกิด H^+ มากและถูกดูดแทนไอออนตัวอื่นๆ แต่กระนั้นที่ pH เปลี่ยนแปลงไม่มาก สารประกอบอนินทรีย์ก็ถูกดูดซับด้วยค่าที่แตกต่างกันมาก เช่น สรละลายเกลือที่มี KCl และ Na_2SO_4 เกือบจะไม่ถูกดูดเลย ในขณะที่ไอโอดีนเป็นสารที่ถูกดูดมากที่สุด

โดยทั่วไปพบว่าถ่านกัมมันต์จะมีประสิทธิภาพไม่ดีนักต่อการดูดซับโลหะในสารละลายอินทรีย์สารเท่าในสารละลายอนินทรีย์สาร เนื่องจากโลหะจะแตกตัวไม่ดีในสารละลายอินทรีย์สาร

โลหะหนักที่ปนอยู่ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีปริมาณน้อยจะถูกถ่านกัมมันต์ดูดซับจนหมดเรียงตามลำดับต่อไปนี้ Cadmium, Chromium, Zinc, Lead, Mercury, Copper Cyanide

- การดูดซับอินทรีย์สารด้วยถ่านกัมมันต์

ถึงแม้ว่าถ่านกัมมันต์จะสามารถดูดซับสารเคมีได้หลายชนิด โดยเฉพาะอินทรีย์สารแล้วแต่โดยความจริงประสิทธิภาพของการดูดซับอินทรีย์สารของถ่านกัมมันต์ผูกพันกับสารประกอบที่ละลายน้ำได้ คือจะดูดซับได้ดีต่อสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ดี และยังพบว่าอินทรีย์สารที่โมเลกุลโตจะถูกดูดซับด้วยแรงที่มากกว่าโมเลกุลเล็ก เช่น เมทิลฟีนอล ถูกดูดด้วยแรงมากกว่า ฟีนอลและไธเมทิลฟีนอลถูกดูดซับแรงที่สุด ตารางข้างล่างบอกถึงการดูดซับสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ

Class	Example Compound
Aromatics	Benzene, Toluene
Ethers	Butyl ether
Ketones	Acetone
Glycols	Ethylene Glycol
Halogenated	Ethylene Dichloride
Esters	Ethyl acetate
Aldehydes	Formaldehyde
Amines	Butyl amine

ตัวอย่างสารข้างต้นที่ถ่านกัมมันต์สามารถใช้บำบัดกรณีที่ปนเปื้อนอยู่ในระบบน้ำทิ้งในอุตสาหกรรม น้ำทิ้งชุมชน โรงกลั่นน้ำมัน โรงเยื่อต่างๆ

14. การวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนทั้งหมดของถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ตามวิธี ASTM C 819-77 และคู่มือการใช้เครื่องหาพื้นที่ผิว โดยเลือกการคำนวณแบบ “Multipoints” มีหลักการที่สำคัญของการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

การเตรียมตัวอย่าง

- บดและคัดขนาดให้ละเอียดน้อยกว่า 250 mm. (No. 60)
- ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างเท่ากับ M ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (คือมีความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม)

- ใส่ตัวอย่างลงในหลอด ให้มีน้ำหนักประมาณ 0.1 กรัม สำหรับถ่านกัมมันต์ และ 1 กรัม สำหรับถ่านจากการคาร์บอนไซยารถยนต์ (แปรน้ำหนักเพื่อให้พื้นที่ผิวในการวิเคราะห์ประมาณ 20 ถึง 50 ตารางเมตร

- นำไปล้างโมเลกุลปนเปื้อนที่อยู่ของบนผิวถ่านกัมมันต์ (Outgas) ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ภายใต้ความดันสุญญากาศ

- ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างและหลอด และหักน้ำหนักของหลอด เพื่อให้ทราบน้ำหนักของตัวอย่าง ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณ

การวิเคราะห์

- กำหนดความดันสัมพัทธ์ที่สมดุล (P/P_0) ทั้งหมด 4 จุด ดังนี้ 0.0490, 0.1177, 0.1765, 0.2354

- ล้างโมเลกุลปนเปื้อนที่อยู่บนผิวถ่านกัมมันต์ (Outgas) อีกครั้งที่อุณหภูมิห้อง นานประมาณ 5 นาที

- ผ่านไนโตรเจนที่ปราศจากออกซิเจนซึ่งมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 จนกระทั่งความดันสัมพัทธ์ที่สมดุลเท่ากับที่กำหนด บันทึกปริมาตรซิงแก๊สไนโตรเจนที่ใช้

การคำนวณ

นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแก๊สราบ คือความดันสัมพัทธ์ (P/P_0) แกนตั้งฉากคือ ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ ที่ความดันสัมพัทธ์ในเทอมของ $[W (P_0/P)-1]-1$ จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ s จุดตัดบนแกนตั้งฉากคือ คำนวณค่าพื้นที่ผิว (SBET) (ตารางเมตรต่อกรัม) ได้ดังนี้

$$SBET = NACS/(s+i)(M_w)$$

โดย N = เลขอาโวกาโดร = 6.023×10^{23}

ACS = พื้นที่หน้าตัดของโมเลกุลไนโตรเจน = 1.62 ตารางอังสตรอม

M_w = น้ำหนักโมเลกุลของไนโตรเจน

15. เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต

ขั้นตอนการผลิตที่สำคัญที่สุดคือกระบวนการกระตุ้น (Activation) ในการทำถ่านชาร์ให้เป็นถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) โดยมีอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในการผลิต คือ เตาเผา ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 จำพวกใหญ่ๆ ดังนี้

- เตาแบบหมุน (Rotary Oven) เป็นวิธีการเผาจากแก๊สโดยตรงด้วย Coke, Generator gas หรือน้ำมัน (Oil) แก๊สที่ติดไฟจะถูกนำเข้าไปพร้อมกับสารที่จะทำการกระตุ้น (activate) ให้ไอน้ำเข้าไปทางปลายหนึ่งของเตา ซึ่งจะทำให้เกิดบรรยากาศการลดออกซิเจน แก๊สที่เหลือจะถูกเผาไหม้

ไปโดยอากาศซึ่งอัดพ่นเข้าไปตามท่อเล็กๆ ตามความยาวของเตา ซึ่งโดยวิธีนี้จะถูกเผาโดยสม่ำเสมอให้ถึงอุณหภูมิขึ้น activation โดยอาจทำให้ฝาน้ำของเตาขรุขระเป็นปุ่มขึ้นเพื่อช่วยให้การกลับวัตถุดิบเตาและการสัมผัสกับ activating gas ได้ดี

ข้อดีของเตาแบบหมุน (Rotary Oven) คือต้นทุนครั้งแรกต่ำและความสามารถในการผลิตสูง ข้อเสียคือมีการเคลื่อนไหวของวัตถุดิบมากเกินไปทำให้สูญเสียโดยการกักต้อน เตาเผาแบบหมุนมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

- แหล่งกำเนิดไอน้ำ เป็นส่วนที่เปลี่ยนน้ำที่เป็นของเหลวให้กลายเป็นไอน้ำ
- ตัวเครื่อง ประกอบด้วย ท่อบรรจุสาร มอเตอร์หมุน ที่วัดอุณหภูมิและเครื่องควบแน่น
- แหล่งให้ความร้อน เพื่อให้ไอน้ำผ่านเข้ามาในตัวเครื่องเป็นไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูง

โดยในการผลิตเตาเผา จะใช้ที่วิศวกร นักเคมี และผู้เชี่ยวชาญในการดำเนินการก่อสร้าง ซึ่งโครงสร้างของเตาเผาอาจต้องมีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์

- **เตาแบบหอยสูงและนิ่ง** ประกอบด้วยระบบของปล่องแคบๆ หลายสิบปล่องมีความสูง 10-20 เมตร ปล่องทำขึ้นมาด้วยอิฐพิเศษมีรูปร่างคล้ายหลังคา โดยมีวิธีการเผาคือ เอาวัตถุดิบที่ต้องการ activated ใส่เข้าไปในช่องว่างมันจะเคลื่อนลงตามปล่องโดยน้ำหนักของมันเอง ในอัตราที่อาจทำได้โดยระยะเวลาที่ทางออกคู่ที่ฐานของปล่องเปิดออกเวลาที่ผ่านปล่องประมาณ 70 ชั่วโมง ในทางแนวดิ่งตรง แต่ละเตาแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนบนเป็นส่วนเผาให้เป็นถ่าน (carbonization section) ส่วนกลางเป็นส่วน activation และส่วนล่างเป็นส่วนทำให้เย็น

เตาประกอบด้วย 2 หน่วย ซึ่งอาจสับเปลี่ยนทำหน้าที่กันได้ในช่วงเวลาหนึ่ง ในหน่วยหนึ่งซึ่งใช้ในการ activation ให้ไอน้ำที่ได้เผาให้ร้อน (preheated steam) เข้าไปซึ่งพุ่งลงไปข้างล่างผ่านระบบของปล่องต่างๆ ในระหว่างการสัมผัสกับวัตถุดิบที่ต้องการ activated จะเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อนระหว่างถ่านกับไอน้ำ เป็นผลทำให้สารที่ถูกเผาราวก่อนแล้วเย็นลงเหลือประมาณ 800 °C แก๊สที่ส่งออกไปประกอบด้วยไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนนอกไซด์ เป็นจำนวนมากจะถูกเผาด้วยอากาศในห้องเผาไหม้ ผลผลิตจะถูกนำไปยังหน่วยที่ 2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเผาให้ร้อนก่อน วัตถุดิบที่ได้ activated แล้วในหน่วยนี้ซึ่งได้ทำให้เย็นลงระหว่างช่วง activation ที่แล้ว จะถูกทำให้ร้อนประมาณ 950 °C แก๊สที่ออกจากหน่วยเผาให้ร้อนประกอบด้วยผลผลิตที่เผาไหม้ได้และจะถูกนำไปยังเครื่อง

ทำไอน้ำให้ร้อนซึ่งมันจะติดไฟไหม้เมื่อให้อากาศเพิ่มเติมความร้อนที่เกิดขึ้นจะช่วยเผาพื้นผนังของเครื่องทำให้ร้อน แล้วควันแก๊สจะออกไปทางปล่องควันไฟ สองหน่วยนี้จะทำหน้าที่สับเปลี่ยนกันทุก ระยะ 30 นาที

ข้อดีของเตาแบบหอสองและหนึ่งคือ มีกำลังเพียงพอ แต่ต้องทำให้ร้อนก่อนในระยะแรกด้วยความร้อนจากภายนอก ข้อเสียต้นทุนครั้งแรกสูง ความสามารถน้อยมีทางที่การ Activation จะไม่สม่ำเสมอในการเคลื่อนที่ลงข้างล่างของวัตถุ

- **เตาแบบชนิดที่ให้ไหลผ่านได้เหมือนของเหลว (Fluidized-bed ovens)** เป็นเตา activation ที่ใหม่ที่สุด ถ่านที่ต้องการ activated จะถูกทำให้เป็นของไหลได้โดยส่วนผสมของแก๊สที่ได้เผาให้ร้อนและไอน้ำ การ activation โดย Fluidized bed ทำให้ได้ active carbon ที่มีคุณภาพสูง โดยเฉพาะทำให้ได้ activation แบบ Fluidized bed ทำให้ได้ active carbon ที่มีคุณภาพสูง โดยเฉพาะทำให้ได้ activation โดยสม่ำเสมอซึ่งยากที่จะทำได้ในเตาแบบอื่น ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของการ activation แบบ Fluidized bed คือว่าวัตถุที่เป็นผงหรือบดอย่างละเอียดก็ทำได้ ดังนั้นจึงมีสำคัญโดยเฉพาะในการผลิต active carbon ชนิดถูก โดยเฉพาะในการผลิต active carbon ชนิดถูกที่ใช้สำหรับการ desulphurization ยังไม่ได้ใช้กรรมวิธีนี้กันมากนัก ในการผลิตคาร์บอนอัดที่ใช้ในการดูดแก๊สและคาร์บอนชนิดผงที่ใช้ดูดสี

บทที่ 5

การวิเคราะห์ทางด้านการลงทุน

การวิเคราะห์โครงการ

การวิเคราะห์โครงการ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ไปใช้ประโยชน์ เพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และใช้ในการตัดสินใจเลือกทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด นั้นไปใช้ในโครงการหรือกิจกรรมต่างๆ ทั้งในหน่วยงานของรัฐและเอกชน เพื่อตอบสนองความต้องการของคนในสังคม

1. ข้อสมมติในการวิเคราะห์โครงการ

การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม จะพิจารณาถึงประโยชน์ของสังคมโดยรวมที่จะได้รับ จากการใช้ประโยชน์จากถ่านกัมมันต์ และทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินและการลงทุนของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม โดยใช้ข้อมูลจากการรวบรวมจากเอกสารต่างๆ ที่ได้มีการจัดทำไว้ ตลอดจนเอกสารรายงานวิจัยในห้องสมุด ของสถาบันต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการพิจารณา

(1) **สถานที่ตั้งโครงการ** การตั้งโรงงานผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มมีวัตถุประสงค์หลักที่ใช้ คือ กะลาปาล์ม ดังนั้นจึงเลือกใช้พื้นที่ จังหวัดชุมพร ในการจัดตั้งโรงงานโดยมีสาเหตุในการเลือกพื้นที่ดังนี้คือ

- จังหวัดชุมพร เป็นจังหวัดที่สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) กำหนดให้เป็นพื้นที่เขต 3 ซึ่งกำหนดให้มีสิทธิประโยชน์ ตาม พ.ร.บ.ส่งเสริมการลงทุน พ.ศ.2520 ฉบับเพิ่มเติม พ.ศ.2534

- จังหวัดชุมพร เป็นแหล่งวัตถุดิบของปาล์มน้ำมัน และมีจังหวัดใกล้เคียงที่มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันเป็นจำนวนมาก

- จังหวัดชุมพร มีการคมนาคมและระบบสาธารณูปโภคที่สะดวกและครบครัน

(2) **อายุโครงการ** หมายถึง ช่วงระยะเวลาที่โครงการให้ผลประโยชน์ ซึ่งขึ้นอยู่กับอายุทางกายภาพของปัจจัยประเภททุนที่สำคัญของโครงการ (ประสิทธิ์ ตงยั้งศิริ, หน้า 53) อายุโครงการที่จะศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงินและการลงทุนของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม จะกำหนดให้อายุโครงการเท่ากับ 10 ปี ตามอายุของเครื่องจักร โดยมีระยะเวลาในการก่อสร้างและติดตั้งเครื่องจักรเป็นระยะเวลา 1 ปี และระยะเวลาในการดำเนินโครงการ 9 ปี โดยยึดเอาปี พ.ศ. 2553 เป็นปีฐาน

(3) **อัตราคิดลด (Discount Rate)** คือ ค่าเสียโอกาสของเงินทุน (OCC : Opportunity Cost of Capital) ซึ่งหมายถึงค่าเสียโอกาสหรืออัตราผลตอบแทนที่จะต้องสูญเสียไป เมื่อนำเงินทุนมาลงทุนในโครงการใดๆ ซึ่งอัตราผลตอบแทนที่คาดว่าจะสูญเสียนี้ พิจารณาได้จากโอกาสที่จะใช้เงินทุนจำนวนนั้นไปในการลงทุนอื่นๆ ดังนั้นค่าเสียโอกาสของเงินทุนจะสะท้อนถึงควมมีอยู่อย่างจำกัดของทรัพยากรที่ใช้ในการลงทุน โดยการศึกษาค้างนี้จะใช้อัตราคิดลดร้อยละ 10% ต่อปี ตามสภาวะเศรษฐกิจของประเทศไทยในปัจจุบัน ซึ่งเป็นประเทศกำลังพัฒนาโดยจะมีอัตราการคิดลดหรือค่าเสียโอกาสของทุนอยู่ระหว่าง 8% - 15% ต่อปี และให้ค่างานของเงินมีอัตราการเสื่อมค่าที่คือให้อัตราคิดลดมีค่าคงที่ตลอดอายุโครงการ

(4) **เงินเฟ้อ** การศึกษาค้างนี้จะไม่คำนึงถึงภาวะเงินเฟ้อ โดยสมมุติว่าราคาสัมพัทธ์ (Relative Price) ไม่เปลี่ยนแปลง หรืออีกนัยหนึ่งราคาทุกอย่างจะเพิ่มขึ้นโดยประมาณ ในร้อยละที่เท่ากัน จึงทำให้เงินเฟ้อไม่มีผลต่อโครงการ (ชูชีพ พิพัฒนศิริ, หน้า 55)

(5) **การดำเนินการผลิต** การดำเนินการผลิตและปริมาณการผลิต สำหรับการศึกษาค้างนี้คือ

- จำนวนวันในการทำงานที่ทำการผลิต	330	วันต่อปี
- จำนวนชั่วโมงที่ทำการผลิต	22	ชั่วโมงต่อวัน
- ปริมาณการผลิต	15.15	ตันต่อวัน
- เทคนิคที่ใช้ในการผลิตคือ การผลิตด้วยวิธีทางกายภาพ เนื่องจากวิธีทางเคมีไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน โดยมีอัตราการผลิต 5,000 ตันต่อปี		

- ในการเริ่มผลิต กำหนดให้ผลผลิตที่ได้เป็นดังนี้

ปีที่ 1	=	-
ปีที่ 2	=	100%
ปีที่ 3	=	100%
ปีที่ 4	=	100%
ปีที่ 5-10	=	100%

(6) **มูลค่าทรัพย์สินคงเหลือ (Salvage Value)** โดยในการศึกษาค้างนี้กำหนดให้มูลค่าทรัพย์สินคงเหลือของโครงการ มีที่ดินเป็นมูลค่าซาก 100% ของราคาซื้อเริ่มแรก เครื่องจักรและ

อุปกรณ์มีมูลค่าซาก 10% ของราคาซื้อ ค่าก่อสร้างอาคารและสำนักงานคิดค่าเสื่อม 10% ต่อปี เมื่อสิ้นอายุโครงการ

2. การวิเคราะห์ทางการเงิน

การวิเคราะห์ทางการเงินของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม จะเป็นการพิจารณาถึงผลประโยชน์สุทธิทางการเงินที่มีต่อผู้ที่สนใจในด้านการลงทุน โดยอาศัยการพิจารณาต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost-Benefit) ของโครงการ โดยใช้ราคาตลาด (Market price) ในการตีค่า ซึ่งจะพิจารณาว่าโครงการดังกล่าว จะให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่อย่างไร

(1) ต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงิน

ต้นทุนทางการเงินของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม ประกอบด้วยต้นทุนประเภทต่างๆ ดังนี้

- ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Investment Cost) ได้แก่ ค่าลงทุนเครื่องจักร อุปกรณ์ การติดตั้งเครื่องจักร และระบบต่างๆ โดยใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง 1 ปี โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพเป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 114,519,155.00 บาท โดยจะแสดงรายละเอียดในตาราง 5-1

- เงินสำรองจ่าย (Contingencies) เป็นเงินสำรองที่กันไว้สำหรับงานก่อสร้าง คิดเป็นร้อยละ 5 ของมูลค่าการลงทุน โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพเป็นจำนวนเงิน 4,555,958.00 บาท

- ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา (Operating & Maintenance Cost) ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายต่างๆ ดังนี้

1.1 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ซ่อมแซม อุปกรณ์และเครื่องจักร โดยจะมีค่าประมาณร้อยละ 1 ของมูลค่าการลงทุน (Investment Cost) เท่ากันทุกปีตลอดอายุโครงการ โดยจะเริ่มจ่ายตั้งแต่ปีที่เริ่มทำการผลิตถ่านกัมมันต์ ดังนั้นจะมีค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาโดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพเป็นจำนวนเงิน 911,192.00 บาท

1.2 ค่าใช้จ่ายในการบริหารและควบคุม ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายด้านค่าจ้างแรงงาน ในการดูแลควบคุมระบบ โดยมีระดับค่าจ้างแรงงานแตกต่างกันไปตามหน้าที่ความรับผิดชอบโดยคิดจากจำนวนตำแหน่งบุคลากรคูณด้วยอัตราค่าจ้างประจำตำแหน่ง จะเริ่ม

จ่ายตั้งแต่ปีที่เริ่มทำการผลิตถ่านกัมมันต์โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพเป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 5,098,800.00 บาท โดยจะแสดงรายละเอียดในตาราง 5-2

ตาราง 17 แสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายในการลงทุนของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ

(หน่วย:บาท)

รายละเอียด	มูลค่า
------------	--------

งานเตรียมการและงานโยธา (Civil work & Side Preparation)	23,400,000.00
เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated carbon mechanical)	
1. Pre-processing of raw coal.	3,042,992.00
- Elevator, crushing, screening machine, and conveyer equipment	
2. Carbonization.	18,191,800.00
- Carbonizing furnace, feeding system, discharging, and cooling system, control, as well as control system.	
3. Activation.	49,614,000.00
- Feeding system, activation furnace, temperature and pressure testing system, PCL automatic discharging system, cooling and transporting system, as well as control system.	
4. Post-processing of finished activated carbon.	3,572,208.00
- Crusher, screening machine, stoner, magnetic separator, packing system and elevator etc.	
5. Design, manufacturing, the instruction of installation and debugging.	2,646,080.00
6. Transportation	13,872,075.00
ระบบบำบัดน้ำเสีย (Water Treatment System)	180,000.00
รวมมูลค่าก่อสร้าง (Investment Cost)	114,519,155.00

ตาราง 18 แสดงรายละเอียดของต้นทุนค่าบริหารและควบคุมของโครงการ โดยวิธีการกระตุ้นทาง
กายภาพ

ตำแหน่ง	จำนวนพนักงาน (คน)	อัตราเงินเดือน (บาท)	รวมเงินเดือน (บาท/ปี)
1. ผู้จัดการ	1	42,000.00	504,000.00
2. เลขานุการ	1	9,200.00	110,400.00
3. พนักงานธุรการ	1	8,300.00	99,600.00
4. พนักงานบัญชี	3	9,200.00	331,200.00
5. พนักงานบุคคล	2	8,300.00	199,200.00
6. เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย	2	8,100.00	194,400.00
7. พนักงานประจำห้องแล็บ	2	19,000.00	456,000.00
8. แผนกดำเนินการ			
8.1 หัวหน้าแผนก	1	34,000.00	408,000.00
8.2 วิศวกรเครื่องกล/ไฟฟ้า/โรงงาน	3	27,000.00	972,000.00
8.3 ช่างเทคนิคเครื่องกล	3	13,000.00	468,000.00
9. พนักงานขาย	2	10,000.00	240,000.00
10. พนักงานขับรถ	3	6,000.00	216,000.00
11. แม่บ้าน	3	5,000.00	180,000.00
12. คนงาน	10	6,000.00	720,000.00
รวม			5,098,800.00

ตามข้อกำหนดที่กล่าวมา ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาในแต่ละปีโดยวิธี
 กระตุ้นทางกายภาพมีค่าเท่ากับ 6,009,992.00 บาทต่อปี ซึ่งเป็นผลรวมของค่าใช้จ่ายในการ
 บำรุงรักษา ซ่อมแซม อุปกรณ์ เครื่องจักร ผลิตถ่านกัมมันต์โดยวิธีกระตุ้นทางกายภาพ 911,192.00
 บาทต่อปี ค่าใช้จ่ายในการบริหารและควบคุมงานโดยวิธีกระตุ้นทางกายภาพ 5,098,800.00 บาทต่อ
 ปี โดยกำหนดให้ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้คงที่ตลอดอายุโครงการ

- **ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง** เชื้อเพลิงที่ใช้ในโครงการเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ โดยใช้เชื้อเพลิง
 ไฟฟ้าในการดำเนินการผลิต จะมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงในแต่ละปี โดยวิธีกระตุ้นทางกายภาพ
 ประมาณ 600,000.00 บาทต่อปี กำหนดให้คงที่ตลอดอายุโครงการ

- **ต้นทุนค่าขนส่งเชื้อเพลิง** หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการขนย้ายกะลาปาล์ม ที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม และค่าขนส่งถ่านกัมมันต์จากการผลิต โดยจะมีอัตราการใช้ค่าขนส่งเชื้อเพลิงในแต่ละปี โดยวิธีกระตุ้นทางกายภาพ ประมาณ 720,000.00 บาทต่อปี คงที่ตลอดอายุโครงการ

- **ต้นทุนที่ดิน** คือ ค่าใช้จ่ายเพื่อให้ได้มาซึ่งกรรมสิทธิ์ในการใช้ประโยชน์ที่ดินของโครงการ โดยในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ราคาประเมินตามบัญชีกำหนด ราคาประเมินทุนทรัพย์ที่ดิน ในการจดทะเบียนสิทธิ และนิติกรรมเกี่ยวกับอสังหาริมทรัพย์ตามประมวลกฎหมายที่ดิน ของจังหวัดชุมพร มีมูลค่า 700,000.00 บาทต่อไร่ ค่าปรับปรุงที่ดิน มีมูลค่า 30,000.00 บาทต่อไร่ โดยโครงการจะดำเนินการได้ต้องใช้พื้นที่ทั้งหมด 5 ไร่ ดังนั้นจะมีต้นทุนค่าที่ดินเท่ากับ 3,650,000.00 บาท

- **ต้นทุนค่าวัตถุดิบ** คือ ค่าใช้จ่ายเพื่อให้ได้มาซึ่งกะลาปาล์มน้ำมัน ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ราคาค่าวัตถุดิบจากราคาในท้องตลาด โดยจะมีอัตราค่าวัตถุดิบในแต่ละปี โดยวิธีกระตุ้นทางกายภาพ ประมาณ 250,000,000.00 บาทต่อปี กำหนดให้คงที่ตลอดอายุโครงการ

ผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม ประกอบด้วยผลประโยชน์ประเภทต่างๆ ดังนี้

- **รายรับจากการขาย** การขายถ่านกัมมันต์ เป็นรายได้หลักทางด้านการเงินของการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้กะลาปาล์ม โดยถ่านกัมมันต์ที่ได้แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ชนิดผงและชนิดเม็ด โดยมีระดับราคาชนิดผงตันละประมาณ 1 แสนบาท ส่วนชนิดเม็ดราคาตันละประมาณ 2 หมื่นถึง 6 หมื่นบาท โดยในแต่ละปี สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ได้ประมาณ 5,000.00 ตันต่อปี โดยแบ่งการผลิตชนิดผงประมาณ 3,000.00 ตัน คิดเป็นเงิน 300,000,000.00 บาท ชนิดเม็ดประมาณ 2,000.00 ตัน คิดเป็นเงินประมาณ 80,000,000.00 บาท รวมรายได้จากการขายถ่านกัมมันต์มีค่าเท่ากับ 380,000,000.00 บาทต่อปี

(2) ผลการวิเคราะห์ทางการเงิน

จากข้อมูลต้นทุนและผลประโยชน์ในตาราง 5-3 สามารถนำมาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงิน ให้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

ณ อัตราคิดลดร้อยละ 10 พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีทางกายภาพเท่ากับ 631,028,982.99 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) ด้วยวิธีทาง

กายภาพเท่ากับ 1.37 อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (FIRR) ด้วยวิธีทางกายภาพเท่ากับร้อยละ 57% และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ด้วยวิธีทางกายภาพเท่ากับ 3 ปี (ตาราง 5-4)

ตาราง 19 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ

รายละเอียด	หน่วย
ต้นทุน (Cost)	
1. ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	114,519,155.00 บาท
2. เงินสำรองจ่าย	4,555,958.00 บาท
3. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา	6,009,992.00 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและบำรุงรักษา	
ค่าใช้จ่ายในการบริหารและควบคุมงาน	
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	
4. ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง	600,000.00 บาท/ปี
5. ต้นทุนค่าขนส่ง	720,000.00 บาท/ปี
6. ต้นทุนที่ดิน	3,650,000.00 บาท
7. ต้นทุนค่าวัตถุดิบ	250,000,000.00 บาท/ปี
ผลประโยชน์ (Benefits)	
1. รายรับจากการขายถ่านกัมมันต์	380,000,000.00 บาท/ปี
รวมรายได้ทั้งหมด	380,000,000.00 บาท/ปี

จากผลการวิเคราะห์ทางการเงินของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม โดยใช้เกณฑ์การตัดสินใจต่างๆ ซึ่งนำค่าที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ในการวัดความคุ้มค่าโครงการ ซึ่งได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่ามากกว่าศูนย์ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) มีค่ามากกว่า 1 อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (FIRR) มีค่ามากกว่าอัตราคิดลดที่ใช้ ($r = 10\%$) พบว่าผลการวิเคราะห์ มีค่าความคุ้มค่าการลงทุน

ตาราง 20 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดย
วิธีการกระตุ้นทางกายภาพ กรณีปกติ

ปีที่	ต้นทุน (Cost)	มูลค่าปัจจุบันของ ต้นทุน	ผลประโยชน์ (Benefits)	มูลค่าปัจจุบันของ ผลประโยชน์	ผลตอบแทนสุทธิ	ผลตอบแทน สุทธิสะสม
0	122,725,113.00	122,725,113.00	-	-	-122,725,113.00	-122,725,113.00
1	257,329,992.00	233,936,356.36	380,000,000.00	345,454,545.46	122,670,008.00	-55,105.00
2	257,329,992.00	212,669,414.88	380,000,000.00	314,049,586.78	122,670,008.00	122,614,903.00
3	257,329,992.00	193,335,831.71	380,000,000.00	285,499,624.34	122,670,008.00	245,284,911.00
4	257,329,992.00	175,759,847.01	380,000,000.00	259,545,113.04	122,670,008.00	367,954,919.00
5	257,329,992.00	159,781,679.10	380,000,000.00	235,950,102.76	122,670,008.00	490,624,927.00
6	257,329,992.00	145,256,071.91	380,000,000.00	214,500,093.42	122,670,008.00	613,294,935.00
7	257,329,992.00	132,050,974.46	380,000,000.00	195,000,084.93	122,670,008.00	735,964,943.00
8	257,329,992.00	120,046,340.42	380,000,000.00	177,272,804.48	122,670,008.00	858,634,951.00
9	257,329,992.00	109,133,036.74	380,000,000.00	161,157,094.98	122,670,008.00	981,304,959.00
10	257,329,992.00	99,211,851.59	380,000,000.00	146,506,449.98	122,670,008.00	1,103,974,967.00
		1,703,906,517.18		2,334,935,500.17	1,103,974,967.00	5,396,874,197.00
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)						631,028,982.99
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน						1.37
อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ						57%
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)						3

3. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการทางการเงิน (Sensitivity analysis)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการต่อการเปลี่ยนแปลง (Sensitivity Analysis) เป็นการวิเคราะห์โครงการภายใต้สภาพความไม่แน่นอน ซึ่งมีผลทำให้ต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ค่าของเกณฑ์ในการตัดสินใจที่ใช้วัดความคุ้มค่าของโครงการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการวิเคราะห์โครงการตามกรณีต่างๆดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านต้นทุน โดยกำหนดให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ผลประโยชน์คงที่

กรณีที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านผลประโยชน์ โดยกำหนดให้ ผลประโยชน์ลดลง ร้อยละ 25 ต้นทุนคงที่

ตาราง 21 แสดงการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงินของของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลา
ปาล์มโดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ

รายการ	NPV (บาท)	B/C ratio	FIRR (%)
กรณีปกติ	631,028,982.99	1.37	57%
กรณีที่ 1	460,638,331.30	1.25	55%
กรณีที่ 2	47,295,107.97	1.03	30%

ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการทั้ง 2 กรณี พบว่ากรณีต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 โดยผลประโยชน์คงที่ กรณีผลประโยชน์ลดลงร้อยละ 25 โดยให้ต้นทุนคงที่ ให้ผลการวิเคราะห์มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนทุกกรณี

4. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ จะเป็นการพิจารณาโดยใช้หลักการวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ของโครงการ ซึ่งจะมีความแตกต่างจากการวิเคราะห์ทางการเงิน ซึ่งต้นทุนและผลประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์ จะใช้วิธีการนำเอารายการต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินมาปรับให้เป็นต้นทุนและผลประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้ค่าแปรราคาเงา (Conversion Factor) เพื่อให้สะท้อนถึงมูลค่าที่แท้จริงของทรัพยากร และจะมีการรวมเอาผลกระทบภายนอก (Externalities) ที่สามารถตีค่าออกมาเป็นตัวเงินได้ รวมเข้ากับต้นทุนและผลประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการด้วย ซึ่งต้นทุนและผลประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการสามารถจำแนกได้ดังนี้

- **ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Investment Cost)** ประกอบด้วย ค่าลงทุนเครื่องจักร อุปกรณ์ การติดตั้งเครื่องจักร และระบบต่างๆ โดยเป็นรายการเดียวกันกับรายการทางการเงิน สามารถทำให้เป็นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยการคูณด้วยค่าแปรราคาเงา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.88 ดังนั้นจะมีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพเป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 100,776,856.40 บาท

- **เงินสำรองจ่าย (Contingencies)** เป็นเงินสำรองที่กันไว้สำหรับงานก่อสร้าง โดยจะเป็นรายการเดียวกันกับรายการทางการเงิน สามารถทำให้เป็นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยการคูณด้วยค่าแปรราคาเงา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.88 ดังนั้นจะมีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพเป็นจำนวนเงิน 4,009,243.04 บาท

- **ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา (Operating & Maintenance Cost)** ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายต่างๆ ดังนี้

- 1.1 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ซ่อมแซม อุปกรณ์และเครื่องจักร โดยจะเป็นรายการเดียวกันกับรายการทางการเงิน สามารถทำให้เป็นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยการคูณด้วยค่าแปรราคาเงา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.92 ดังนั้นจะมีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพเป็นจำนวนเงิน 838,296.64 บาท

1.2 ค่าใช้จ่ายในการบริหารและควบคุมงาน โดยจะเป็นรายการเดียวกันกับรายการทางการเงิน สามารถทำให้เป็นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยการคูณด้วยค่าแปรราคาเงา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.92 ดังนั้นจะมีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพเป็น จำนวนเงินทั้งสิ้น 4,690,896.00 บาท และโดยวิธีการกระตุ้น

ตามข้อกำหนดที่กล่าวมา ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาในแต่ละปีโดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพมีค่าเท่ากับ 5,529,192.64 บาทต่อปี ซึ่งเป็นผลรวมของค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ซ่อมแซม อุปกรณ์ เครื่องจักร ผลิตถ่านกัมมันต์โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ 838,296.64 บาทต่อปี ค่าใช้จ่ายในการบริหารและควบคุมงานโดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ 4,690,896.00 บาทต่อปี โดยกำหนดให้ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้คงที่ตลอดอายุโครงการ

- **ต้นทุนค่าเสียโอกาสของกะลาปาล์ม** กะลาปาล์ม ที่ใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ของโครงการ เมื่อนำกะลาปาล์มมาใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ทำให้เสียโอกาสในการนำกะลาปาล์มไปใช้ประโยชน์ในทางอื่น สำหรับการศึกษาครั้งนี้ จะทำการประเมินต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) โดยเป็นการวัดต้นทุนของทรัพยากรโดยการประมาณการจากรายได้ที่จะได้รับ ถ้าทรัพยากรนั้นถูกใช้ไปในกิจกรรมอย่างอื่น ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จะประเมินต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) ของกะลาปาล์มจากความสูญเสียในการเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล โดยมีราคาเฉลี่ยกิโลกรัมละ 2.50 บาท และใช้กะลาปาล์มในการผลิตถ่านกัมมันต์ต่อปีประมาณ 50,000,000 กิโลกรัม ดังนั้นค่าเสียโอกาสของกะลาปาล์ม จากความสูญเสียในการเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล มีค่า 125,000,000 บาทต่อปี

- **ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง** เชื้อเพลิงที่ใช้ในโครงการเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ โดยจะเป็นรายการเดียวกันกับรายการทางการเงิน สามารถทำให้เป็นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยการคูณด้วยค่าแปรราคาเงา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.87 ดังนั้นจะมีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ จะมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงในแต่ละปี โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ ประมาณ 522,000.00 บาท กำหนดให้คงที่ตลอดอายุโครงการ

- **ต้นทุนค่าขนส่งเชื้อเพลิง** หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการขนย้ายกะลาปาล์ม ที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม และค่าขนส่งถ่านกัมมันต์จากการผลิต โดยจะเป็นรายการเดียวกันกับรายการทางการเงิน สามารถทำให้เป็นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยการคูณด้วยค่าแปรราคาเงา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.87 ดังนั้นจะมีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ ประมาณ 626,400.00 บาท กำหนดให้คงที่ตลอดอายุโครงการ

- **ค่าเสียโอกาสที่ดิน** คือ มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของที่ดิน เมื่อมีการนำที่ดินไปใช้ทำโครงการใดโครงการหนึ่งแล้ว ที่ดินนั้นก็ไม่สามารถนำไปใช้ในทางเลือกอื่นๆได้ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ค่าเสียโอกาสจากการปลูกปาล์มน้ำมัน เพื่อแสดงถึงค่าเสียโอกาสที่ดิน

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงใช้ผลตอบแทนสุทธิที่สูญเสียไป (Net benefits forgone) เนื่องจากที่ดินดังกล่าวหมดโอกาสที่จะถูกนำไปปลูกปาล์มน้ำมัน จากข้อมูลในพื้นที่โครงการพบว่ารายได้จากการปลูกปาล์มน้ำมันเฉลี่ย 10,000.00 บาทต่อไร่ โดยโครงการจะดำเนินการได้ต้องใช้พื้นที่ทั้งหมด 5 ไร่ ดังนั้นโครงการมีขนาดเดียวกันกับรายการทางการเงิน โดยผลตอบแทนสุทธิจากการปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่จังหวัดชุมพร มีค่าเท่ากับ 50,000.00 บาทต่อปี เนื่องจากใช้ราคาตลาดในการตีค่า ดังนั้นต้องทำให้เป็นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้ ค่าแปรราคาเงา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.11 ดังนั้นค่าเสียโอกาสที่ดินมีค่าเท่ากับ 55,500.00 บาทต่อปี

- **ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม** เนื่องจากการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้กะลาปาล์มนั้น พบว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบที่มีต่อคุณภาพอากาศ ในการศึกษานี้จะพิจารณาจากมลพิษทางอากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่เพิ่มขึ้นโดยคิดจากค่าใช้จ่ายในการเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) โดยการปลูกปาล์มมีค่าเท่ากับ 0.05 บาทต่อการผลิตถ่านกัมมันต์ 1 Kg. ดังนั้นในแต่ละปีมูลค่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ 250,000.00 บาทต่อปี ปรับให้เป็นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้ค่าแปรราคาเงาเท่ากับ 0.90 ดังนั้นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้ค่าแปรราคาเงาเท่ากับ 0.90 ดังนั้นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์เท่ากับ 225,000.00 บาทต่อปี

ผลประโยชน์ทางด้านการเศรษฐศาสตร์ของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มประกอบด้วยผลประโยชน์ประเภทต่างๆ ดังนี้

- **รายรับจากการขาย** การขายถ่านกัมมันต์ เป็นรายได้หลักทางด้านการเงินของการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้กะลาปาล์ม โดยจะเป็นรายการเดียวกันกับรายการทางการเงิน สามารถทำให้เป็นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยการคูณด้วยค่าแปรราคาเงา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.92 ดังนั้นจะมีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ รวมรายได้จากการขายถ่านกัมมันต์มีค่าเท่ากับ 349,600,000.00 บาทต่อปี

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ จะทำการวิเคราะห์เพื่อดูว่าผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นจะมีผลอย่างไรต่อความเป็นไปได้ของโครงการลงทุน เพื่อเป็นประโยชน์ในการพิจารณาถึงผลประโยชน์ที่สังคมได้รับ จากข้อมูลต้นทุนและผลประโยชน์ในตารางที่ 5.6 สามารถนำมาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ให้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

ณ อัตราคิดลดร้อยละ 10 พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีทางกายภาพเท่ากับ 1,229,694,728.82 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) ด้วยวิธีทางกายภาพเท่ากับ 2.34 อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (FIRR) ด้วยวิธีทางกายภาพเท่ากับร้อยละ 59% และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ด้วยวิธีทางกายภาพเท่ากับ 2 ปี (ตาราง 5-7)

ตาราง 22 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม
โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ

รายละเอียด	วิธีการ	มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์
------------	---------	----------------------

ต้นทุน (Cost)		
1. ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	มูลค่าตลาด (Market Value)	100,776,856.40 บาท
2. เงินสำรองจ่าย	มูลค่าตลาด (Market Value)	4,009,243.04 บาท
3. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา	มูลค่าตลาด (Market Value)	5,529,192.64 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและบำรุงรักษา	มูลค่าตลาด (Market Value)	
ค่าใช้จ่ายในการบริหารและควบคุมงาน	มูลค่าตลาด (Market Value)	
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	มูลค่าตลาด (Market Value)	
4. ต้นทุนค่าเสียโอกาสของกะลาปาล์ม	ค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost)	125,000,000.00 บาท/ปี
5. ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง	มูลค่าตลาด (Market Value)	522,000.00 บาท/ปี
6. ต้นทุนค่าขนส่งเชื้อเพลิง	มูลค่าตลาด (Market Value)	626,400.00 บาท/ปี
7. ค่าเสียโอกาสที่ดิน	ต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost)	3,175,500.00 บาท
8. ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	ต้นทุนการทดแทน (Replacement Cost)	225,000.00 บาท/ปี
ผลประโยชน์ (Benefits)		
1. รายรับจากการขายถ่านกัมมันต์	มูลค่าตลาด (Market Value)	349,600,000.00 บาท/ปี
รวมรายได้ทั้งหมด		349,600,000.00 บาท/ปี

จากผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม โดยใช้เกณฑ์การตัดสินใจต่างๆ ซึ่งนำค่าที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ในการวัดความคุ้มค่าโครงการ ซึ่งได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่ามากกว่าศูนย์ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) มีค่ามากกว่า 1 อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (FIRR) มีค่ามากกว่าอัตราคิดลดที่ใช้ ($r = 10\%$) พบว่าผลการวิเคราะห์ มีค่าความคุ้มค่าการลงทุน

ตาราง 23 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ

ปีที่	ต้นทุน (Cost)	มูลค่าปัจจุบัน ของต้นทุน	ผลประโยชน์ (Benefits)	มูลค่าปัจจุบัน ของผลประโยชน์	ผลตอบแทน สุทธิ	ผลตอบแทน สุทธิสะสม
0	107,961,599.44	107,961,599.44	-	-	-107,961,599.44	-107,961,599.44
1	131,902,592.64	119,911,447.86	349,600,000.00	317,818,181.82	217,697,407.36	109,735,807.92
2	131,902,592.64	109,010,407.14	349,600,000.00	288,925,619.84	217,697,407.36	327,433,215.28
3	131,902,592.64	99,100,370.13	349,600,000.00	262,659,654.40	217,697,407.36	545,130,622.64
4	131,902,592.64	90,091,245.57	349,600,000.00	238,781,504.00	217,697,407.36	762,828,030.00
5	131,902,592.64	81,901,132.34	349,600,000.00	217,074,094.54	217,697,407.36	980,525,437.36
6	131,902,592.64	74,455,574.85	349,600,000.00	197,340,085.95	217,697,407.36	1,198,222,844.72
7	131,902,592.64	67,686,886.23	349,600,000.00	179,400,078.13	217,697,407.36	1,415,920,252.08
8	131,902,592.64	61,533,532.94	349,600,000.00	163,090,980.12	217,697,407.36	1,633,617,659.44
9	131,902,592.64	55,939,575.40	349,600,000.00	148,264,527.38	217,697,407.36	1,851,315,066.80
10	131,902,592.64	50,854,159.45	349,600,000.00	134,785,933.99	217,697,407.36	2,069,012,474.16
		918,445,931.35		2,148,140,660.17	2,069,012,474.16	10,785,779,810.96
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)						1,229,694,728.82
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน						2.34
อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ						59%
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)						2

5. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการทางเศรษฐศาสตร์ (Sensitivity analysis)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการต่อการเปลี่ยนแปลง (Sensitivity Analysis) เป็นการวิเคราะห์โครงการภายใต้สภาพความไม่แน่นอน ซึ่งมีผลทำให้ต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ค่าของเกณฑ์ในการตัดสินใจที่ใช้วัดความคุ้มค่าของโครงการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการวิเคราะห์โครงการตามกรณีต่างๆ ดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านต้นทุน โดยกำหนดให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ผลประโยชน์คงที่

กรณีที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านผลประโยชน์ โดยกำหนดให้ ผลประโยชน์ลดลงร้อยละ 25 ต้นทุนคงที่

ตาราง 24 แสดงการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ

รายการ	NPV (บาท)	B/C ratio	FIRR (%)
กรณีปกติ	1,229,694,728.82	2.34	59%
กรณีที่ 1	1,137,850,135.69	2.13	59%
กรณีที่ 2	692,659,563.78	1.78	58%

ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการทั้ง 2 กรณี พบว่ากรณีต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 โดยผลประโยชน์คงที่ กรณีผลประโยชน์ลดลงร้อยละ 30 โดยให้ต้นทุนคงที่ ให้ผลการวิเคราะห์มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนทุกกรณี

6. การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางการเงินและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์ทางการเงินและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าดัชนีวัดความคุ้มค่า คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) และอัตราผลตอบแทนภายใน

(IRR) ของการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ให้ผลการวิเคราะห์คุ้มค่าง่าผลการวิเคราะห์ทางการเงิน แสดงให้เห็นว่าโครงการมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน (ตารางที่ 5-9)

ตาราง 25 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทางการเงินและทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิต ถ่านกัมมันต์โดยวิธีทางกายภาพ

รายละเอียด	NPV (บาท)	B/C ratio	FIRR (%)	ระยะเวลาคืน ทุน (ปี)
การวิเคราะห์ทางการเงิน	631,028,982.99	1.37	57	3
การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	1,229,694,728.82	2.34	59	2

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านการลงทุน ของโครงการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม ได้แบ่งการศึกษาเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ

ส่วนที่ 1 ศึกษาเทคโนโลยีกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

ส่วนที่ 2 ศึกษาสภาพทั่วไปและการใช้ประโยชน์จากถ่านกัมมันต์

ส่วนที่ 3 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการลงทุนของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

1 การศึกษาเทคโนโลยีกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

จากการศึกษาเทคโนโลยีกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม พบว่าเทคโนโลยีในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยทั่วไป แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือขั้นตอนแรกคือการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่านหรือการเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนในโครงสร้าง เรียกขั้นตอนนี้ว่า คาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) โดยการให้ความร้อนในการเผาประมาณ 300-600 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเพื่อกำจัดองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ระเหยง่าย ขั้นตอนที่สองคือการนำถ่านไปเพิ่มคุณภาพด้วยเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ เรียกขั้นตอนนี้ว่า การกระตุ้น (Activation) โดยการกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ภายใต้อุณหภูมิประมาณ 600-1200 °C แบ่งได้เป็นสองวิธีคือการกระตุ้นทางเคมีและการกระตุ้นทางกายภาพ

ข้อดีของการกระตุ้นทางเคมี คือการแทรกซึมได้ทั่วถึง ได้รูพรุนของถ่านกัมมันต์ค่อนข้างกว้างชนิดที่เรียกว่า Micro pore และใช้อุณหภูมิในการเผาไม่ต้งสูงมาก (400-600 องศาเซลเซียส) แต่มีข้อเสียตรงที่จะต้องล้างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นซึ่งติดมากับถ่านกัมมันต์นั้นออกให้หมดไม่ให้เหลือตกค้างอยู่เลย เพื่อความปลอดภัยในการนำไปใช้งานจึงนับว่าเป็นการสิ้นเปลืองทั้งเวลาและแรงงาน นอกจากนี้สารเคมีบางชนิดที่ไ้ยังมีฤทธิ์กัดกร่อนภาชนะบรรจุหรือเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตเป็นเหตุให้อายุการใช้งานของภาชนะเหล่านั้นสั้นไม่นานเท่าที่ควร ดังนั้นการผลิตด้วยวิธีนี้จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ภาชนะที่ผลิตด้วยวัสดุชนิดพิเศษที่ทนกรดหรือด่าง

ข้อดีของการกระตุ้นทางกายภาพคือหลังจากการกระตุ้นจนได้ถ่านกัมมันต์แล้ว สามารถนำไปใช้ได้เลยทันที ไม่มีสารเคมีตกค้างไม่ต้องมีปัญหาในการล้างสารที่เหลือ เพราะไม่มีสารที่อาจจะเป็นอันตรายติดไป ข้อเสียคือต้องใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นค่อนข้างสูงกว่าวิธีแรก เพราะ

ไอน้ำที่ใช้จะต้องเป็น Super heated stream ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงเหมือนกัน สำหรับรูพรุนของถ่านที่ได้จะเล็กกว่าชนิดที่ผลิตด้วยวิธีแรก รูพรุนแบบนี้เรียกว่า Micro pore ซึ่งเหมาะสำหรับดูดกลืนไอหรือก๊าซพิษได้ดี

2 การศึกษาสภาพทั่วไปและการใช้ประโยชน์จากถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาสภาพทั่วไปและการใช้ประโยชน์จากถ่านกัมมันต์ พบว่าถ่านกัมมันต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มาผ่านวิธีการก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นสีดำ มีโครงสร้างเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง ทำให้มีความสามารถในการดูดซับสารเคมีจากก๊าซและของเหลวได้ในปริมาณสูง ถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งตามลักษณะรูปร่าง ได้ 2 ชนิด คือ ชนิดผงละเอียดและชนิดเม็ดหรือเกล็ดชนิดผงละเอียดสามารถกระจายตัวในน้ำได้ดี ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ชนิดเม็ดหรือเกล็ดสามารถนำกลับมา Re-used เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งต่อไปได้ โดยถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด สามารถนำมาใช้ประโยชน์ ที่แตกต่างกันไปในหลายอุตสาหกรรม จำแนกได้ดังนี้

- ชนิดที่เป็นผงละเอียด นำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารละลายหรือของเหลว ได้แก่

- 1 อุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล ใช้ในการฟอกสีและทำให้น้ำตาลบริสุทธิ์ขึ้น
- 2 อุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันพืชสำหรับการบริโภค ใช้ในการฟอกสีและทำให้

มีรสดีขึ้น

- 3 อุตสาหกรรมอาหาร ใช้ในการฟอกสีและดูดกลิ่น

4 อุตสาหกรรมเครื่องดื่มและแอลกอฮอล์ เช่น วิสกี้ ไวน์ น้ำอัดลม ใช้ในการดูดซับกลิ่นและทำให้รสชาติดีขึ้น

- 5 อุตสาหกรรมทำน้ำให้บริสุทธิ์ เช่น น้ำดื่ม น้ำประปา

- ชนิดที่เป็นเม็ด หรือ เกล็ด ใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ หรือการทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์ขึ้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เช่น

- 1 อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ ใช้ในการดูดซับก๊าซต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย
- 2 อุตสาหกรรมการทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ ทั้งที่ใช้กันโดยทั่วไปและในด้านการทหาร เพื่อการดูดซับก๊าซพิษและไอของสารพิษ

- 3 อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้

ใหม่ เพื่อดูดซับไอระเหยเหล่านี้ที่อุณหภูมิห้อง และจะคายออกที่ความดันของไอระเหยต่ำๆ เช่น
อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมใยสังเคราะห์ อุตสาหกรรมการพิมพ์ เป็นต้น

4 อุตสาหกรรมการผลิตบุหรีบางยี่ห้อ เพื่อกรองก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์
และน้ำมันดิน (tar) โดยนำถ่านกัมมันต์มาไว้ที่ก้นกรอง

3 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการลงทุนของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม
จากการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการลงทุนของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลา
ปาล์มจากผลการวิเคราะห์ทางการเงินของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม โดยใช้เกณฑ์การ
ตัดสินใจต่าง ๆ ซึ่งนำค่าที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ในการวัดความคุ้มค่าโครงการ ซึ่ง
ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่ามากกว่าศูนย์ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) มีค่า
มากกว่า 1 อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (FIRR) มีค่ามากกว่าอัตราคิดลดที่ใช้ ($r = 10\%$)
พบว่าผลการวิเคราะห์ มีค่าความคุ้มค่าการลงทุน

ข้อเสนอแนะ

1 อุปทานของกะลาปาล์ม

กะลาปาล์มเป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำมันปาล์ม ซึ่งปริมาณเปลี่ยนแปลงตามอุป
ทานการผลิตน้ำมันปาล์ม จากการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการลงทุน ให้ผลการวิเคราะห์ที่
คุ้มค่าต่อการลงทุน ในการนำกะลาปาล์มมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตนั้น เพื่อให้เกิดความมั่นคงด้าน
วัตถุดิบ ควรมีการส่งเสริมให้มีการปลูกปาล์มน้ำมัน เพื่อให้ได้ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่เพิ่มสูงขึ้น โดยจะมี
ผลทำให้ปริมาณกะลาปาล์มเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน

2 เทคโนโลยีการผลิตถ่านกัมมันต์

การผลิตถ่านกัมมันต์ เทคโนโลยีที่ใช้ในปัจจุบัน พบว่ามีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป
ดังนั้นควรมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตถ่านกัมมันต์ใหม่ๆ เข้ามาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการ
ผลิตถ่านกัมมันต์ หรือพัฒนาเทคโนโลยีเดิมให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น และควรมีการพัฒนา
เทคโนโลยีภายในประเทศ มาใช้ในการผลิต เนื่องจากเทคโนโลยีส่วนใหญ่จะเป็นการนำเข้าจาก
ต่างประเทศ ทำให้มีมูลค่าในการลงทุนสูง

3 ผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

ในการผลิตถ่านกัมมันต์ จะมีผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตซึ่งคือน้ำส้มควันไม้ (Wood vinegar) มีลักษณะเป็นของเหลวซึ่งได้จากการกระบวนการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่าน “คาร์บอนไนเซชัน (Carbonization)” โดยการให้ความร้อนในการเผาประมาณ 300-600 °C ของเหลวดังกล่าวมีลักษณะใส สีเหลืองปนน้ำตาล ซึ่งเกิดจากการดักเก็บควันที่ถูกควบแน่นแล้วกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ มีกลิ่นไหม้ ส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติกมีความเป็นกรดต่ำ มีสีน้ำตาลแกมแดง น้ำส้มควันไม้ที่ได้ทั้งไว้ในภาชนะพลาสติกประมาณ 3 เดือน ในที่ร่ม ไม่สัมผัสความร้อนเพื่อให้ น้ำส้มควันไม้ที่ได้นั้นตกตะกอนและแยกตัวเป็น 3 ชั้น คือ น้ำมันเบา (ลอยอยู่ผิวน้ำ) น้ำส้มไม้ และน้ำมันทาร์ (ตกตะกอนอยู่ด้านล่าง) แยกน้ำส้มควันไม้มาใช้ประโยชน์ต่อไป

น้ำส้มควันไม้มีสารประกอบต่างๆ มากมาย เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรจะมีคุณสมบัติ เช่น เป็นสารปรับปรุงดิน สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช และสารเร่งการเติบโตของพืช นอกจากนี้ มีการนำน้ำส้มควันไม้ไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม เช่น ใช้ผลิตสารดับกลิ่นตัว ผลิตสารปรับผิวนุ่ม ใช้ผลิตยารักษาโรคผิวหนัง รักษาแผลสด แผลถูกน้ำร้อนและไฟลวก รักษาโรคน้ำกัดเท้าและเชื้อราที่ผิวหนังหรือใช้ราดทำลายปลวกและมด ใช้ฉีดพ่นถึงขยะ เพื่อป้องกันกลิ่นและแมลงวัน และยังมีการนำน้ำส้มควันไม้ไปใช้ในด้านปศุสัตว์ลดกลิ่นและแมลงในฟาร์มปศุสัตว์ หรือใช้ผสมอาหารสัตว์ เพื่อช่วยการย่อยอาหารและป้องกันโรคท้องเสียเป็นต้น

4 การเงินการลงทุน

- เอกชน

จากการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงิน ให้ผลการวิเคราะห์คุ้มค่าต่อการลงทุน ดังนั้นควรส่งเสริมให้เอกชนเข้ามาลงทุนในธุรกิจการผลิตถ่านกัมมันต์ เพื่อเป็นการสร้างงาน และเป็นการสร้างรายได้ให้แก่ผู้ประกอบการด้วย

- รัฐบาลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

รัฐควรให้การสนับสนุนทางการเงินให้มีการลงทุน หรือมีส่วนร่วมในการลงทุน เพื่อเป็นการลดการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศ และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับกะลาปาล์ม และเป็นการใช้ทรัพยากรภายในประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์*. กรุงเทพฯ: สำนัก
งานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- การส่งเสริมพืชไร่ กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตร. (2541). *ปาล์มน้ำมัน*. กรุงเทพฯ:
กรมส่งเสริมการเกษตร.
- อริชัย นพแก้ว. (2539). *การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับผิวโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านบ่อกักเก็บ*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
ถ่ายเอกสาร.
- Anthony JB; & Wayne TD. (1992). *Air pollution engineering manual*. New York: Air and
waste management association.
- ASTM standards. (1995). *Annual book of ASTM standards: D2652-94*.
- Byrne, Jane F.; & Marsh, H. (1995). *Introductory Overview*. In Patrick, John W. (editor).
Porosity in Carbons: Characterization and Application, Great Britain: Edward
Arnold. pp.227-252.
- Carbon Link. (1998). *Activation carbon from carbon link: production operation and processing
techniques* [Homepage]. Retrieved September 28, 1998, from
<http://www.activated-carbon.com/1-2.html>.
- Chi-Cheng L, Neville GP. (1996). An Investigation of activated carbon. *Ind. Chem. Eng. Res.*
35: 2024-2031.
- Derbyshire, F.; Jagtoyen, M.; & Thwaites, M. (1995). *Activated Carbons – Production and
Application* In Patrick, John W., *Porosity in Carbons: Characterization and
Application*. pp.227-252. Great Britain : Edward Arnold.
- Faust, Samuel D.; & Aly, Osman M. (1987). *Adsorption Processes for Water treatment*. Butter
Worth.
- Jankowska, H., Swiatkowski, A.; & Choma, J. (1991). *Active Carbon*. Poland: Ellis Horwood

Limited.

John T. Cookson, Jr. (1978). *Adsorption Mechanisms: The Chemistry of Organic Adsorption on Activated Carbon*. In Cheremisinoff, Paul N. and Ellerbusch, F., Carbon Adsorption Handbook , pp.241-279. Michigan:Ann Arbor Science.

John WH. (1963). *Activated carbon*. New York: Chemical Publishing Company, INC..

Johns,Mitchell M.; Marshall, Wayne E.; & Toles,Christopher A. (1999). The Effect of Activation Method on the Properties of Pecan Shell Activated Carbon. *J.Chem. Tech.Biotechnol.* 74: 1,037-1,044.

Makkee M.; Vander de Ssandt,; & Wiersma A, Moulijn JA. (1998). Development of a satisfactory palladium on activated carbon catalyst for the selective hydrogenolysis of CCl_2F_2 (CFC-12) into CH_2F_2 (HFC-32). *Journal of molecular catalysis A:Chemical*. 134(1-3): 191-200.

Pual NC, Fred E, (1978). *Carbon adsorption handbook*. Michigan; Ann Arbor Science Publishers.

Ralp TY. (1987). *Gas separation by adsorption processes*. Boston; Butterworths.

Rodriguez-Reinoso F; & Molina-Sabio M. (1998). Textural and Chemical Characterization of Microporous carbons. *Advances in Colloid and Interface science*. 76-77: 271-294.

----- (1998). Textural and Chemical Characterization of Microporous carbons. *Advances in Colloid and Interface science*. 76-77: 271-294.

Roolworth Industries. (1999). *Carbon product*. Retrieved May 6, 1999, from <http://www.palmcarbon.com/products.html>.

Salvador F; & Jimenez CS. (1999). Effect of regression treatment with liquid water at high pressure and temperature on the characteristics of three commercial activated carbons. *Carbon*. 37: 4: 577-583.

Samuel DF, Osman MA. (183). *Chemistry of water treatment*. Boston: Butterworth Publisher.

Suzuki M. (1990). *Adsorption Engineering*. Tokyo; Kodansha.

Water Quality Association (WQA). (1997). *Activated carbon [WQA Glossary of Terms]*.

Retrieved September, 1998, from <http://www.wqa.org/Glossary/activated-carbon.h>

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล

นายชลสิทธิ์ กสิพล

วันเดือนปีเกิด

2 กรกฎาคม พ.ศ. 2526

สถานที่เกิด

จังหวัดพัทลุง

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

34/313 หมู่บ้านภัสสร2 ตำบลคลองสาม อำเภอลงทอง

จังหวัดปทุมธานี

ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน

วิศวกรโยธา

สถานที่ทำงานปัจจุบัน

บริษัทไทยอันโตคอนสตรัคชั่น จำกัด ยูนิต1 ชั้น11 อาคาร
บางกอก สหประกันภัย 177/1 ถนนสุขุมวิท แขวงสุริยวงศ์
เขตบางรัก กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2538

ประถมศึกษา

จาก โรงเรียนนาสาร

พ.ศ. 2541

มัธยมศึกษาตอนต้น

จาก โรงเรียนบ้านนาสาร

พ.ศ. 2544

มัธยมศึกษาตอนปลาย

จาก โรงเรียนพรหมคีรีพิทยาคม

พ.ศ. 2548

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมชลประทาน

จาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2549

วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต วิศวกรรมโยธา
จาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2553

วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต วิศวกรรมโยธา
จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ