รายงานการวิจัย

การใช้ประโยชน์ไม้โตเร็วเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์

Utilization of Fast Growing Tree for Activated Carbon Production.

แผนงานวิจัย

การใช้ประโยชน์ไม้ผลิตผลป่าไม้ และความหลากหลายทางชีวภาพ

สิริลักษณ์ ตาตะยานนท์

และ

ทินกร พิริยโยธา

ฐิติภรณ์ บุญแย้ม ชนะภัย โอสถ

สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

พ.ศ. 2557

การใช้ประโยชน์ไม้โตเร็วเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์

สิริลักษณ์ ตาตะยานนท์[๑] **ทินกร พิริยโยธา**[๑]
ฐิติภรณ์ บุญแย้ม[๑] **ชนะภัย โอสถ**[๑]

บทคัดย่อ

การศึกษาการใช้ประโยชน์ไม้โตเร็วเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ ได้ดำเนินการศึกษาระหว่างปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๑–๒๕๕๕ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำไม้โตเร็วบางชนิด คือ สนคาริเบีย กระถินเทพา สนประดิพัทธ์ และไผ่รวก มาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ และนำถ่านกัมมันต์จากไม้โตเร็วดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ในการดูดซับสี และกลิ่นในน้ำทิ้ง ดังนี้ ๑) การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย และไม้กระถินเทพา โดยนำตัวอย่างไม้มาเผาเป็นถ่าน ทำการบด ให้มีขนาด ๒.๐–๒.๕ เซนติเมตร แล้วนำไปกระตุ้นทางฟิสิกส์โดยเผาในเตาเผาถ่านกัมมันต์ที่มีเครื่องฉีดละอองน้ำอยู่ภายใน ที่อุณหภูมิ ๔๐๐ องศาเซลเซียส เป็นเวลา ๑ ชั่วโมง แล้วนำไปกระตุ้นทางเคมีโดยนำมาบดให้มีขนาดเล็กประมาณ ๐.๒–๐.๓ เซนติเมตร ๓๐๐ กรัม ผสมกับโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จำนวน ๖๐๐ กรัม และเติมน้ำ ในอัตราส่วน ๒ : ๑ โดยน้ำหนัก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ ๑๕๐ องศาเซลเซียสจนแห้ง แล้วนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ๕๐ มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน ๕ ระดับ คือ ๐, ๑๐, ๒๐, ๓๐, และ ๔๐ เปอร์เซ็นต์ แล้วเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิ ๘๐๐ องศาเซลเซียส เป็นเวลา ๑ ชั่วโมง พบว่าที่ระดับความเข้มข้น ๒๐ เปอร์เซ็นต์ ถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบียจะมีค่าไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ ๖๐๐ มิลลิกรัมต่อกรัม และที่ระดับความเข้มข้น ๑๐ เปอร์เซ็นต์ ถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพา จะมีค่าไอโอดีนเท่ากับ ๕๑๘ มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยของถ่านไม้สนคาริเบียและถ่านไม้กระถินเทพาที่ไม่ผ่านการกระตุ้นใดๆ ประมาณ ๒.๙๔ และ ๔.๑๔ เท่า ตามลำดับ ๒) การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้สนประดิพัทธ์ และไผ่รวก โดยนำตัวอย่างมาเผาเป็นถ่าน ทำการบด ให้มีขนาด ๒.๐–๒.๕ เซนติเมตร แล้วนำไปกระตุ้นทางฟิสิกส์โดยการเผาในเตาเผาถ่านกัมมันต์ที่มีเครื่องฉีดละอองน้ำอยู่ภายใน ที่อุณหภูมิ ๔๐๐ องศาเซลเซียส เป็นเวลา ๑ ชั่วโมง จะได้ถ่านที่มีค่าไอโอดีนเท่ากับ ๓๖๔ และ ๒๐๗ มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยของถ่านไม้สนประดิพัทธ์และถ่านไม้ไผ่รวกที่ไม่ผ่านการกระตุ้นใดๆ ประมาณ ๑.๙๖ และ ๑.๓๖ เท่า ตามลำดับ ๓) การนำถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย กระถินเทพา สนประดิพัทธ์และไผ่รวกไปใช้ประโยชน์ในการดูดซับสีและกลิ่นในน้ำทิ้งจากชุมชน โรงงาน และน้ำสีสังเคราะห์ โดยนำถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย กระถินเทพา สนประดิพัทธ์ และไผ่รวก ปริมาณแตกต่างกัน ๕ ระดับ คือ ๐, ๑, ๒, ๓ และ ๔ กรัม ใส่ลงในน้ำทิ้ง ๒๐ มิลลิลิตร พบว่า ๓.๑) ควรใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย ในปริมาณ ๑ กรัมต่อน้ำทิ้ง ๒๐ มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้ ๓ ชั่วโมง จะทำให้น้ำทิ้งใสไม่มีสี

---

[๑] สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

และตั้งทิ้งไว้ ๔๘ ชั่วโมง กลิ่นจะลดลงจนเหลือน้อย ๓.๒)ควรใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพา ในปริมาณ ๑ กรัมต่อน้ำทิ้ง ๒๐ มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้ ๖ ชั่วโมง จะทำให้น้ำทิ้งใสไม่มีสี และตั้งทิ้งไว้ ๒๔ ชั่วโมง กลิ่นจะลดลงจนเหลือน้อย ๓.๓) ควรใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้สนประดิพัทธ์ ในปริมาณ ๔ กรัมต่อน้ำทิ้ง ๒๐ มิลลิลิตรและตั้งทิ้งไว้ ๒๔ ชั่วโมง จะทำให้น้ำทิ้งไม่มีสี และกลิ่นลดลงจนเหลือน้อย ๓.๔) ควรใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่รวกในปริมาณ ๔ กรัมต่อน้ำสีสังเคราะห์ ๒๐ มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้ ๒๔ ชั่วโมง จะทำให้น้ำสีสังเคราะห์ใสไม่มีสีและไม่มีกลิ่น

คำสำคัญ : ถ่านกัมมันต์ ไม้โตเร็ว ค่าไอโอดีน การดูดซับ

ABSTRACT

The study of utilization of fast growing tree for activated carbon production was launched during 2008–2012. The aims of this study were to gain utilization some fast growing tree species to produce activated carbon for color and smell adsorption of waste water. Activated carbon preparation from *Pinus caribea* and *Acacia mangium* used charcoal size 2.0–2.5 centimeters to activated at 400 °C for 1 hour in activated carbon kiln, then maked charcoal size 0.2–0.3 centimeters to activate with sodium chloride at five level concentration at 800 °C for 1 hour in furnace was found activated carbon from *Pinus caribea* had iodine value 600 milligram/gram at 20% sodium chloride concentration and at 10% sodium chloride concentration iodine value of *Acacia mangium* was 518 milligram/gram. Activated carbon from *Casuarina equisetifolia* Linn. and *Thyrsostachys siamensis* Gamble used charcoal size 2.0–2.5 centimeters to activate at 400 °C for 1 hour in activated carbon kiln had iodine value 364 and 207 milligram/gram. Activated carbon utilization used activated carbon at five levels weight to adsorb color and smell of waste water. The results found that we should use activated carbon from *Pinus caribea* 1 gram for 20 milliliters of waste water and set for 3 hours, activated carbon from *Acacia mangium* 1 gram for 20 milliliters of waste water and set for 6 hours, activated carbon from *Casuarina equisetifolia* Linn. and activated carbon from *Thyrsostachys siamensis* Gamble 2 gram for 20 milliliters of waste water and set for 24 hours to make good water (no color and no smell)

Keyword: activated carbon, fast growing tree, iodine value, adsorption

คำนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันมีการปลูกสร้างสวนป่าและปรับปรุงพันธุ์ไม้โตเร็ว ซึ่งต้องมีการตัดสางขยายระยะไม้โตเร็วที่มีขนาดเล็กออก ส่วนไม้โตเร็วที่มีขนาดใหญ่ก็นำไปแปรรูปเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ทำให้มีเศษไม้ กิ่งไม้ หรือไม้ขนาดเล็ก ที่ได้จากการตัดสางขยายระยะ และมีเศษไม้ขนาดใหญ่ที่เหลือจากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์และอุตสาหกรรมอบไม้ เช่น ปีกไม้ ปลายไม้ เศษไม้บาง ขี้กบ ขี้เลื่อย เศษชิ้นไม้สับ ไม้มีตำหนิ ขอบไม้ และเศษไม้ระแนง ซึ่งเศษไม้ที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ดังกล่าวนี้ส่วนใหญ่จะทิ้ง ไม่นำมาใช้ประโยชน์ แต่เราสามารถนำเศษเหลือต่างๆ นี้มาเพิ่มมูลค่าโดยการนำมาทำเป็นถ่านกัมมันต์ได้

คณิตาและคณะ(2540) กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นถ่านที่ผ่านกระบวนการทางเคมีหรือกายภาพเพื่อทำให้เกิดรูพรุนในโครงสร้าง วัตถุดิบที่ใช้เป็นอินทรียวัตถุซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม เช่น ไม้ ขี้เลื่อย ถ่านหิน กะลามะพร้าว กระดูก ชานอ้อย กากเมล็ดกาแฟ ถ่านกัมมันต์ต่างจากถ่านชนิดอื่น ๆ เนื่องจากมีความพรุนมากกว่า ทำให้ถ่านมีพื้นที่ผิวภายในเพิ่มขึ้น สามารถดูดซับกลิ่นและสีได้มากกว่าถ่านธรรมดา จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น ฟอกสี ดูดกลิ่น แต่งรสของสารละลาย ทำก๊าซให้บริสุทธิ์และใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ คือ อุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมัน อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ อุตสาหกรรมเคมีและยา เป็นต้น จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ให้ประโยชน์หลายด้าน และเป็นการเพิ่มมูลค่าของเศษไม้ที่เหลือทิ้งให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์อย่างมีคุณค่า

วิชัยและคณะ (2534) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์ โดยใช้ไม้ไผ่และซังข้าวโพดเป็นวัตถุดิบ พบว่า

1. ไม้ไผ่ : เวลาที่เหมาะสมในการกระตุ้นคือ 50 นาที ค่า yield สูงสุด ประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์yield
2. ซังข้าวโพด : เวลาที่เหมาะสมในการกระตุ้น คือ 70 นาที ค่า yield สูงสุด ประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์yield ค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดที่ได้ คือ 736.98 เผาเป็นเวลา 70 นาที

อภิสิทธิ์ และคณะ (2533) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์โดยใช้กะลามะพร้าวและขี้เลื่อยเป็นวัตถุดิบ พบว่า

1. กะลามะพร้าว : เวลาที่เหมาะสมในการกระตุ้น คือ 1 ชั่วโมง ค่า yield สูงสุดประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ yield ค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดที่ได้ คือ 525.33 เผาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. ขี้เลื่อย : เวลาที่เหมาะสมในการกระตุ้น คือ 1 ชั่วโมง ค่า yield สูงสุดประมาณ 10% yield
3. ถ่านกะลามะพร้าว : เวลาที่เหมาะสมในการกระตุ้น คือ 45 นาที

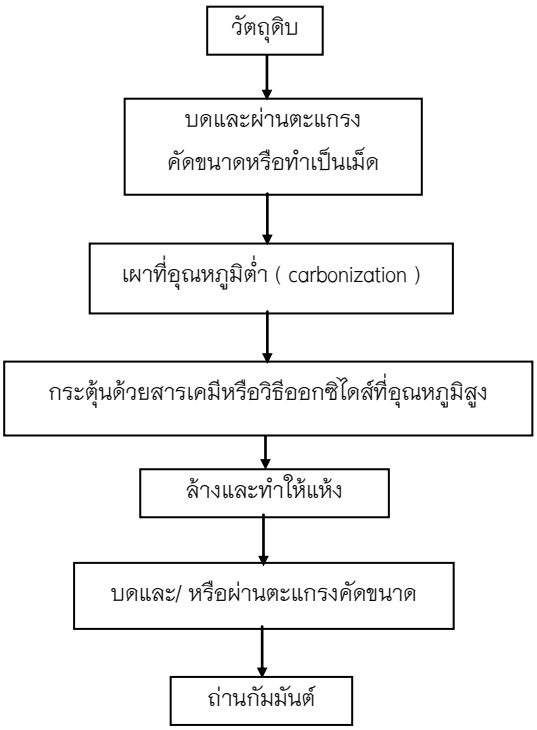
วิวัฒน์ และคณะ (2538) ได้ศึกษาการทำถ่านกัมมันต์จากต้นธูปฤาษี โดยใช้วิธีกระตุ้นด้วยซิงคลอไรด์ พบว่า สภาวะที่ดีที่สุดในการทำถ่านกัมมันต์ คือ เผาต้นธูปฤาษีด้วยอุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วกระตุ้นด้วยสารซิงค์คลอไรด์โดยใช้อัตราส่วนซิงคลอไรด์ต่อผลึกถ่าน 2 : 1 เผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีเลขไอโอดีนอยู่ในช่วง 1,570 – 1,600 และสามารถ

ดูดซับก๊าซคลอรีนได้ 410 มิลลิกรัมต่อถ่านกัมมันต์ 10 กรัม ถึงแม้ว่าถ่านกัมมันต์จากต้นธูปฤาษีที่ถูกกระตุ้นด้วยซิงคลอไรด์จะมีเลขไอโอดีน, ค่าการดูดซับก๊าซคลอรีนและอายุการใช้งานมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีตามท้องตลาด แต่พบว่าขณะที่ทำการทดลองจะมีปัญหาเกี่ยวกับภาชนะที่เหมาะสมที่บรรจุถ่านและสารเคมีขณะทำการหุงต้ม รวมทั้งการล้างสารเคมีที่ปนมากับถ่านกัมมันต์หลังจากผ่านขบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมีแล้ว จึงควรมีการพัฒนาเทคนิคและขบวนการผลิตต่าง ๆ ให้ดีขึ้น

จิราภรณ์ (2545) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นสารกระตุ้น พบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกระตุ้นถ่านกะลาให้เป็นถ่านกัมมันต์ คือ การกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ในเตาเผาความร้อนสูงเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้ตัวอย่างถ่านขนาด 1.68 ถึง 2.38 มิลลิเมตร ผสมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 3:1 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติดังนี้คือ ค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 849 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าความชื้นเท่ากับ 7.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์แล้วพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติเป็นถ่านกัมมันต์เนื่องจากค่าไอโอดีนนัมเบอร์มีค่ามากกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าความชื้นมีค่าน้อยกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ ตามที่ มอก.900-2523 ได้กำหนดไว้

กรรมวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์

ในปัจจุบันกรรมวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายอย่างขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้เป็นอะไรและต้องการถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติอย่างไร กรรมวิธีโดยทั่วไปประกอบด้วย การเตรียมวัตถุดิบซึ่งรวมถึงการอบแห้ง การบด การทำเป็นเม็ด การเผาที่อุณหภูมิต่ำ เป็นต้น จากนั้นจึงนำไปกระตุ้นด้วยสารเคมีหรือสารออกซิไดส์ต่างๆ เพื่อทำเป็นถ่านกัมมันต์ กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ มีดังนี้ (ชลธา และคณะ, 2538)



การศึกษาวิจัยการใช้ประโยชน์ไม้โตเร็วเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ในครั้งนี้ได้นำไม้โตเร็ว จำนวน 4 ชนิดจากแหล่งปลูกต่างๆมาศึกษา ดังนี้

1. ไม้สนคาริเบีย (*Pinus caribaea*) จากจังหวัดเชียงใหม่
2. ไม้กระถินเทพา (*Acacia mangium*) จากสวนป่าลาดกระทิง จังหวัดฉะเชิงเทรา
3. ไม้สนประดิพัทธ์ *(Casuarina equisetifolia* Linn.) จากจังหวัดสุราษฎร์ธานี
4. ไม้ไผ่รวก (Thyrsostachys siamensis Gamble) จากจังหวัดราชบุรี

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาทดลองนำไม้จากสวนป่าหรือไม้โตเร็วที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์แล้วมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

2.2 เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับสารไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากไม้โตเร็ว

2.3 เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

2.4 เพื่อเผยแพร่ความรู้ในการผลิตถ่านกัมมันต์อย่างง่ายและการใช้ประโยชน์ให้แก่ประชาชน รวมทั้งทำให้ประชาชนมีรายได้เพิ่มขึ้นด้วย

วิธีการศึกษา

(Material and Methods)

1. วัตถุดิบ

1.1 ไม้สนคาริเบีย (*Pinus caribaea*)

1.2 ไม้กระถินเทพา (*Acacia mangium*)

1.3 ไม้สนประดิพัทธ์ *(Casuarina equisetifolia* Linn.)

1.4 ไม้ไผ่รวก (*Thyrsostachys siamensis* Gamble)

2. อุปกรณ์และสารเคมี

2.1 เตาถังน้ำมัน 200 ลิตรแบบนอน

2.2 เตาอิฐก่อกรมป่าไม้ ขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร

2.3 เตาเผาถ่านกัมมันต์แบบสเปรย์น้ำ

2.4 เตาเผาความร้อนสูง

2.5 บีกเกอร์

2.6 หลอดทดลองแบบฝาปิด

2.7 ขวดเก็บสาร

2.8 กระบอกตวง

2.9 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด–ด่าง

2.10 ถ้วยเผา

2.11 สารละลายโซเดียมคลอไรด์

3. วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย (*Pinus caribaea*)

การศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย(*Pinus caribaea*) ในครั้งนี้ใช้ไม้ที่ตัดสางขยายระยะ (thinning) จากศูนย์วนวัฒนวิจัยภาคเหนือ จ.เชียงใหม่

วิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย (*Pinus caribaea*) โดยเผาในเตาเผาถ่านกัมมันต์และเผากับโซเดียมคลอไรด์ที่อัตราส่วนต่างกันในเตาเผาอุณหภูมิสูงมีดังนี้ (Figure 1)

3.1.1 การเตรียมตัวอย่าง นำตัวอย่างไม้สนคาริเบียไปเผาเป็นถ่านในเตาถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร

3.1.2 การกระตุ้นทางฟิสิกส์ นำถ่านที่ได้ในข้อ 3.1.1 มาบดย่อยให้มีขนาด 2.0–2.5 เซนติเมตร จำนวน 200 กรัม ใส่ในตะแกรงสี่เหลี่ยมแล้วนำไปเผาในเตาเผาถ่านกัมมันต์ (ที่มีเครื่องฉีดละอองน้ำอยู่ภายใน) ที่อุณหภูมิหัวเผา 400 องศาเซลเซียส แล้วฉีดละอองน้ำ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ออกจากเตาแล้วผึ่งให้แห้ง

3.1.3 การกระตุ้นทางเคมี นำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นแล้วในข้อ 3.1.2 มาบดให้มีขนาดเล็กประมาณ 0.2 – 0.3 เซนติเมตร จำนวน 300 กรัม ผสมกับโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จำนวน 600 กรัม และเติมน้ำในอัตราส่วน 2 : 1 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จนแห้ง (วิชัย และคณะ, 2534)

3.1.4 นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ในข้อ 3.1.3 จำนวน 30 กรัม โดยนำมาแช่กับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นโดยน้ำหนักต่อปริมาตรแตกต่างกัน คือ 0, 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แล้วนำไปกระตุ้นในเตาเผาอุณหภูมิสูง (furnace) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น

3.1.5 จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปล้างด้วยน้ำสะอาดหลาย ๆ ครั้ง แล้วนำไปล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และล้างด้วยน้ำร้อนอีกหลาย ๆ ครั้ง จน pH ได้เท่ากับ 7 แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (วิชัย และคณะ, 2534)

3.1.6 นำถ่านที่ได้ตามข้อ 3.1.1, 3.1.2 และ 3.1.4 ไปทดสอบความสามารถในการดูดซับไอโอดีน หรือค่าไอโอดีน โดยส่งให้กรมวิทยาศาสตร์บริการทำการวิเคราะห์ โดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM D 4607–94: Activated carbon, 2006, volume 15.01

3.1.7 นำค่าไอโอดีนที่ได้ในข้อ 3.1.5 มาพิจารณาเพื่อเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย

Figure 1 Methods of activated carbon preparation from *Pinus caribaea*

(a) = *Pinus caribaea*

(b) = Carbonized in single drum

(c) = *Pinus caribaea* charcoal

(d) = Activated with spray water in activated kiln

(e) = NaCl + Water ratio 2 : 1 and dry mass at 150 ^{o}C in dry oven chamber

(f) = Activated with NaCl in Furnace

(g) = leached with hot water and acid many times (pH = 7)

(h) = Activated carbon

3.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพา (*Acacia mangium*)

การศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพา (*Acacia mangium*) ในครั้งนี้ใช้ไม้ที่ตัดสางขยายระยะ (thinning) จากสวนป่าลาดกระทิง จังหวัดฉะเชิงเทรา

วิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพา (*Acacia mangium*) โดยเผาในเตาเผาถ่านกัมมันต์ และเผากับโซเดียมคลอไรด์ที่อัตราส่วนต่างกันในเตาเผาอุณหภูมิสูงมีดังนี้ (Figure 2)

3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง นำตัวอย่างไม้กระถินเทพา ไปเผาเป็นถ่านในเตาถังน้ำมัน ขนาด 200 ลิตร

3.2.2 การกระตุ้นทางฟิสิกส์ นำถ่านที่ได้ในข้อ 3.2.1 มาบดย่อยให้มีขนาด 2.0–2.5 เซนติเมตร จำนวน 200 กรัม ใส่ในตะแกรงสี่เหลี่ยมแล้วนำไปเผากระตุ้นในเตาเผาถ่านกัมมันต์ (ที่มีเครื่องฉีดละอองน้ำอยู่ภายใน) ที่อุณหภูมิหัวเผา 400 องศาเซลเซียส แล้วฉีดละอองน้ำ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ออกจากเตาแล้วผึ่งให้แห้ง

3.2.3 การกระตุ้นทางเคมี นำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นแล้วในข้อ 3.2.2 มาบดให้มีขนาดเล็กประมาณ 0.2 – 0.3 เซนติเมตร จำนวน 300 กรัม ผสมกับโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ต่อน้ำ ในอัตราส่วน 2 : 1 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จนแห้ง (วิชัย และคณะ, 2534)

3.2.4 นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ในข้อ 3.2.3 จำนวน 30 กรัม มาแช่กับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นโดยน้ำหนักต่อปริมาตรแตกต่างกัน คือ 0, 10, 20, 30, และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แล้วนำไปกระตุ้นในเตาเผาอุณหภูมิสูง (furnace) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น

3.2.5 จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปล้างด้วยน้ำสะอาดหลาย ๆ ครั้ง แล้วนำไปล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และล้างด้วยน้ำร้อนอีกหลาย ๆ ครั้ง จน pH ได้เท่ากับ 7 แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (วิชัย และคณะ, 2534)

3.2.6 นำถ่านที่ได้ตามข้อ 3.2.1, 3.2.2 และ 3.2.4 ไปทดสอบความสามารถในการดูดซับไอโอดีน หรือค่าไอโอดีน โดยส่งให้กรมวิทยาศาสตร์บริการทำการวิเคราะห์ โดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM D 4607–94: Activated carbon, 2006, volume 15.01

3.2.7 นำค่าไอโอดีนที่ได้ในข้อ 3.2.6 มาพิจารณาเพื่อเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพา

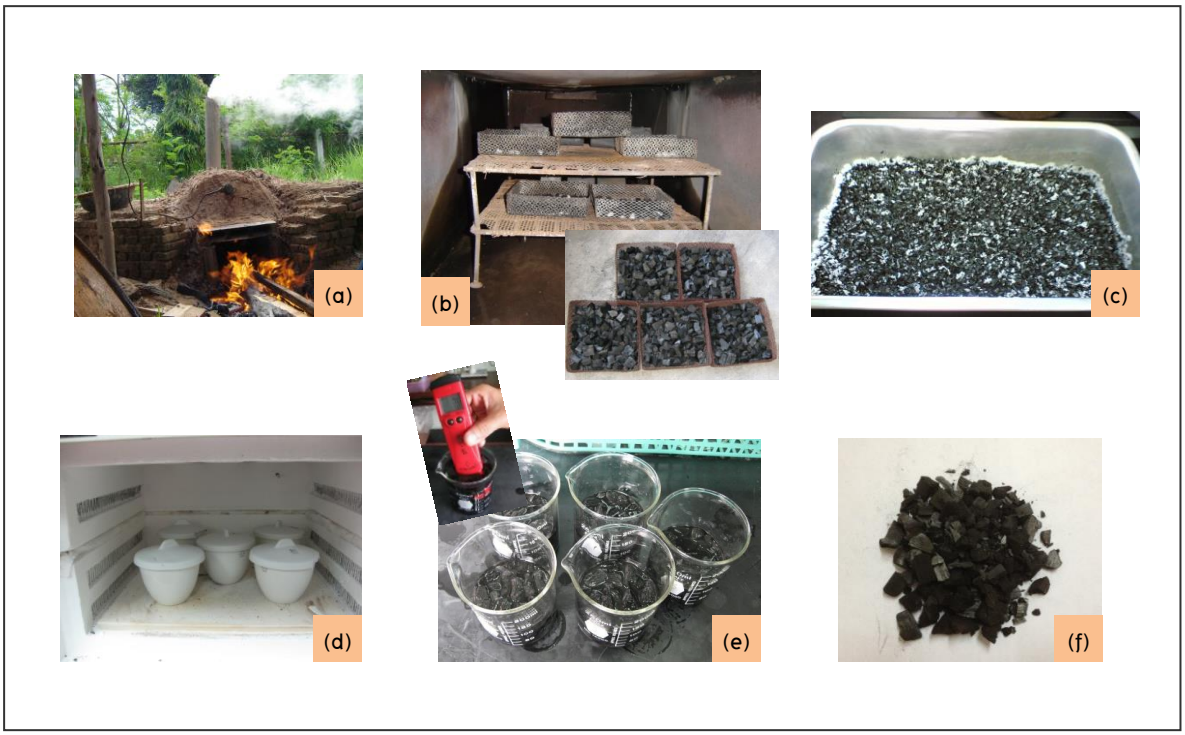


Figure 2 Methods of activated carbon preparation from *Acacia mangium* preparation

(a) = Carbonized in single drum

(b) = Activated with spray water in activated kiln

(c) = NaCl + Water ratio 2 : 1 and dry mass at 150 °C in dry oven chamber

(d) = Activated with NaCl in Furnace

(e) = leached with hot water and acid many times (pH = 7)

(f) = Activated carbon

3.3 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้สนประดิพัทธ์ *(Casuarina equisetifolia* Linn.)

การศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้สนประดิพัทธ์ *(Casuarina equisetifolia* Linn.) ในครั้งนี้ใช้ไม้ที่ตัดสางขยายระยะ (thinning) จากจังหวัดสุราษฎร์ธานี

วิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้สนประดิพัทธ์ *(Casuarina equisetifolia* Linn.) โดยเผาในเตาเผาถ่านกัมมันต์ มีดังนี้ (Figure 3)

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง นำตัวอย่างไม้สนประดิพัทธ์ไปเผาเป็นถ่านด้วยเตาอิฐก่อ

3.3.2 การกระตุ้นทางฟิสิกส์ นำถ่านตามข้อ 3.3.1 มาบดย่อยให้มีขนาดประมาณ 2.0–2.5 เซนติเมตร ใส่ในตะแกรงสี่เหลี่ยมแล้วนำไปเผากระตุ้นในเตาเผาถ่านกัมมันต์ (ที่มีเครื่องฉีดละอองน้ำอยู่ภายใน) ที่อุณหภูมิหัวเผา 400 องศาเซลเซียส แล้วฉีดละอองน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ออกจากเตา แล้วผึ่งให้แห้ง

3.3.3 นำถ่านที่ได้ตามข้อ 3.3.1 และ 3.3.2 ไปทดสอบความสามารถในการดูดซับไอโอดีน หรือค่าไอโอดีน โดยส่งให้กรมวิทยาศาสตร์บริการทำการวิเคราะห์ โดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM D 4607–94: Activated carbon, 2009, volume 15.01

Figure 3 Methods of activated preparation from *Casuarina equisetifolia* Linn.

(a) = Carbonized in brick beehive

(b) = Activated with spray water in activated kiln

(c) = Activated carbon

3.4 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่รวก จังหวัดราชบุรี

การศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่รวก (Thyrsostachys siamensis Gamble) ในครั้งนี้ ใช้ไม้ไผ่รวกจากท้องที่จังหวัดราชบุรี

วิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่รวก (Thyrsostachys siamensis Gamble) โดยเผาในเตาเผาถ่านกัมมันต์ มีดังนี้ (Figure 4)

3.4.1 การเตรียมตัวอย่าง นำตัวอย่างไม้ไผ่รวกไปเผาเป็นถ่านด้วยเตาอิฐก่อ

3.4.2 การกระตุ้นทางฟิสิกส์ นำถ่านตามข้อ 3.4.1 มาบดย่อยให้มีขนาดประมาณ 2.0–2.5 เซนติเมตร ใส่ในตะแกรงสี่เหลี่ยมแล้วนำไปเผากระตุ้นในเตาเผาถ่านกัมมันต์ (ที่มีเครื่องฉีดละอองน้ำอยู่ภายใน) ที่อุณหภูมิหัวเผา 400 องศาเซลเซียส แล้วฉีดละอองน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ออกจากเตา แล้วผึ่งให้แห้ง

3.4.3 นำถ่านที่ได้ตามข้อ 3.4.1 และ 3.4.2 ไปทดสอบความสามารถในการดูดซับไอโอดีน หรือค่าไอโอดีน โดยส่งให้กรมวิทยาศาสตร์บริการทำการวิเคราะห์ โดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM D 4607–94: Activated carbon, 2009, volume 15.01

Figure 4 Methods of activated preparation from *Thyrsostachys siamensis* Gamble

(a) = *Thyrsostachys siamensis* Gamble

(b) = Carbonized in brick beehive

(c) = *Thyrsostachys siamensis* Gamble charcoal

(d) = Activated with spray water in activated kiln

(e) = Activated carbon

3.5 การนำถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย ไม้กระถินเทพา ไม้สนประดิพัทธ์ และ ไม้ไผ่รวก จังหวัดราชบุรีไปใช้ประโยชน์

นำถ่านกัมมันต์จากไม้แต่ละชนิดที่มีค่าไอโอดีนสูงที่สุดไปศึกษาการนำไปใช้ประโยชน์ดังนี้

3.5.1 การดูดซับสี และกลิ่นของน้ำทิ้งจากชุมชนและโรงงาน และน้ำสีสังเคราะห์ ซึ่งเก็บตัวอย่างจากแหล่งต่างๆ ดังนี้

ภาพที่ 5 น้ำทิ้งจากนิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ลักษณะสีเหลืองเข้มใส มีตะกอนแขวนลอย กลิ่นเหม็นแรงมาก

ภาพที่ 6 น้ำทิ้งจากเขตไทรม้า จังหวัดนนทบุรี มีลักษณะสีเขียวอมเหลืองเข้ม มีตะกอนแขวนลอย อยู่ในน้ำมาก กลิ่นอยู่ในระดับที่รับได้

ภาพที่ 7 น้ำทิ้งจากใต้อาคารแฟลตตำรวจบางมด เขตจอมทอง กรุงเทพฯ มีลักษณะสีเขียวเข้ม มีตะกอนแขวนลอยอยู่ในน้ำมาก กลิ่นเหม็นแรงมาก

ภาพที่ 8 น้ำสีสังเคราะห์ มีลักษณะสีฟ้าใส ไม่มีตะกอนแขวนลอย แต่งกลิ่นมะลิ อยู่ในระดับที่รับได้

วิธีการศึกษาการดูดซับสี และกลิ่น

1. ชั่งถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย ไม้กระถินเทพา ไม้สนประดิพัทธ์ และไม้ไผ่รวก แต่ละชนิด จำนวน 1, 2, 3 และ 4 กรัม ใส่ในหลอดทดลองที่ 1 , 2 , 3 และ 4 ตามลำดับ จากนั้นเทน้ำทิ้งตัวอย่างจากชุมชน หรือโรงงาน จำนวน 20 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลองที่บรรจุถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 หลอด และหลอดควบคุม 1 หลอด (ไม่มีถ่านกัมมันต์)

2. ชั่งถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่รวก จังหวัดราชบุรี จำนวน 2, 4, 6 และ 8 กรัม ใส่ขวดเก็บสารที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ จากนั้นเทน้ำสีสังเคราะห์ จำนวน 40 มิลลิลิตรลงในขวดเก็บสารที่บรรจุถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ขวด และขวดควบคุม 1 ขวด(ไม่มีถ่านกัมมันต์)

3. จากนั้นสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น ของน้ำทิ้งและน้ำสีสังเคราะห์ ดังกล่าว ในภาชนะทดลองทั้ง 5 ภาชนะ บันทึกผลการเปลี่ยนแปลง ทุก 1 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง โดยใช้สเกลระดับกลิ่นดังนี้

สเกล		ความรู้สึกรบกวนเรื่องกลิ่น
0	ไม่มีกลิ่น	ไม่รู้สึกได้กลิ่น
1	กลิ่นอ่อนมาก	โดยปกติคนทั่วไปจะไม่ได้กลิ่นแต่คนที่มีหน้าที่ทดสอบกลิ่นและคนที่มีความรู้สึกไวต่อกลิ่นเป็นพิเศษจะรู้สึกได้
2	กลิ่นจาง, กลิ่นอ่อน	กลิ่นที่เกิดขึ้นจะอ่อนหรือจางมาก ซึ่งหากจะรู้สึกได้จะต้องตั้งใจดม มิเช่นนั้นก็จะไม่ทราบว่ามีกลิ่น
3	มีกลิ่นที่รับได้	ความเข้มข้นของกลิ่นอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งทำให้รู้สึกว่าได้กลิ่นที่ไม่ชอบระดับกลิ่นที่เกิดขึ้นอาจเกิดปัญหารบกวนในชุมชนที่อาศัย
4	กลิ่นแรง	ความเข้มข้นของกลิ่นที่เกิดขึ้นจะทำให้รู้สึกได้และเกิดความเดือดร้อนรำคาญเรื่องกลิ่น
5	กลิ่นแรงมาก	กลิ่นที่เกิดขึ้นเข้มข้นรุนแรงมาก จนไม่เหมาะที่จะใช้เป็นอากาศหายใจ

อ้างอิงจาก (www.pcd.go.th)

3.5.2 การศึกษาการทำสบู่จากถ่านกัมมันต์ ดังนี้

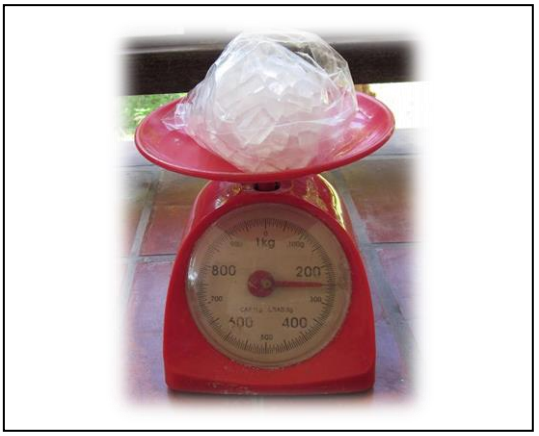
3.5.2.1 นำถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิดมาบดละเอียดเป็นผงถ่าน

3.5.2.2 นำกลีเซอรีนหั่นเป็นสีเหลี่ยมขนาดเล็กประมาณ 2 X 1 เซนติเมตร

3.5.2.3 นำน้ำใส่ในภาชนะแสตนเลส แล้วตั้งบนเตาแม่เหล็กโดยให้อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 70-80 องศาเซลเซียส

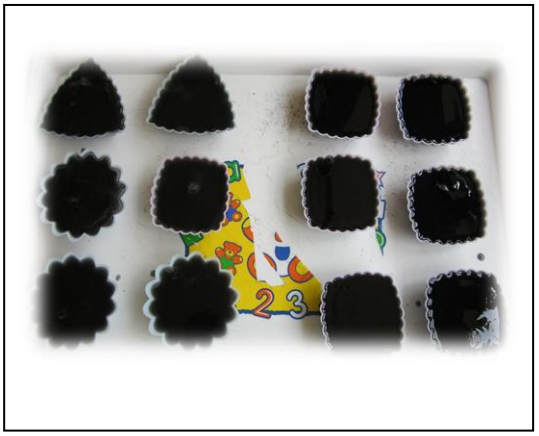
3.5.2.4 ชั่งกลีเซอรีนที่หั่นแล้ว จำนวน 250 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ แล้วนำบีกเกอร์วางในหม้อที่มีน้ำร้อนอยู่ รอจนกลีเซอรีนละลายหมด (อย่าให้กลีเซอรีนเดือด) แล้วเติมผงถ่าน จำนวน 0.5 กรัม ลงในบีกเกอร์ ค่อยๆ คนจนผงถ่านเข้ากับกลีเซอรีน แล้วเทลงในแบบพิมพ์ที่เตรียมไว้ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นจึงแกะสบู่ออกจากแบบพิมพ์

ภาพที่ 9 ผงถ่านบดละเอียด



ภาพที่ 10 กลีเซอรีนหั่นเป็นสี่เหลี่ยมและนำไปชั่งน้ำหนัก

ภาพที่ 11 ละลายกลีเซอรีนในบีกเกอร์และเทผงถ่านลงในกลีเซอรีนที่ละลายแล้ว



ภาพที่ 12 เทลงในแบบพิมพ์ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

ภาพที่ 13 สบู่ถ่านจากไม้สนคาริเบีย ไม้กระถินเทพา ไม้สนประดิพัทธ์ และไม้ไผ่รวก

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

(Results and Discussion)

1. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย (*Pinus caribaea*) ไม้กระถินเทพา (*Acacia mangium*) ไม้สนประดิพัทธ์ *(Casuarina equisetifolia* Linn.) และไม้ไผ่รวก (*Thyrsostachys siamensis* Gamble)

1.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์ สามารถเขียนสรุปเป็นขั้นตอนที่สำคัญได้ 6 ขั้นตอน ดังนี้ (Figure 14)

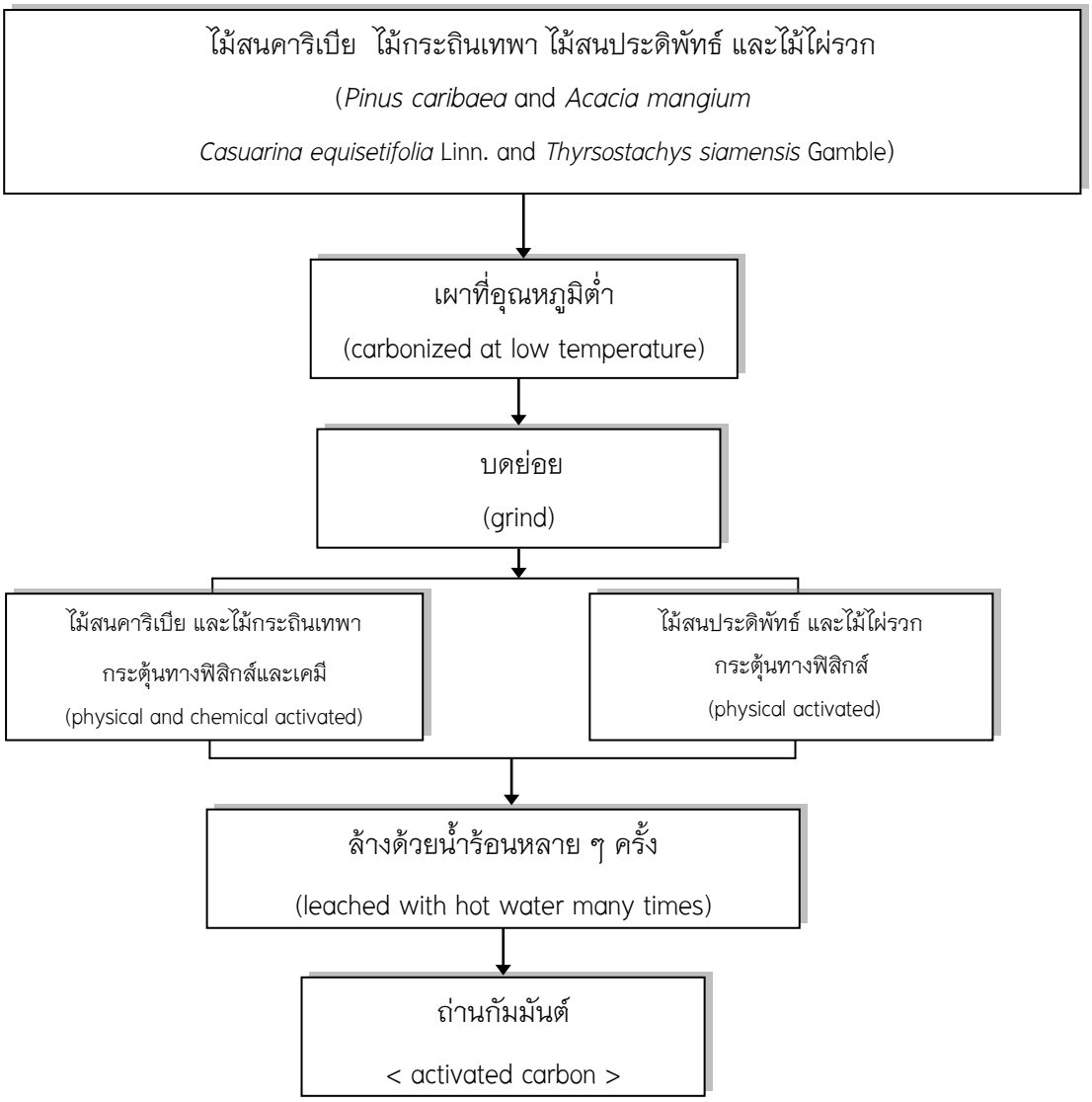


Figure 14 Activated carbon preparation from *Pinus caribaea*, *Acacia mangium*, *Casuarina equisetifolia* Linn. and *Thyrsostachys siamensis* Gamble

2. การหาค่าไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย (*Pinus caribaea*) ไม้กระถินเทพา (*Acacia mangium*) ไม้สนประดิพัทธ์ (*Casuarina equisetifolia* Linn.) และไม้ไผ่รวก (*Thyrsostachys siamensis* Gamble)

การหาค่าไอโอดีน หรือความสามารถในการดูดซับไอโอดีนของถ่านและถ่านกัมมันต์ โดยนำตัวอย่างถ่านและถ่านกัมมันต์ ส่งให้กรมวิทยาศาสตร์บริการ ทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM D 4607-94 : Activated carbon, 2006, volume 15.01 ซึ่งผลของค่าไอโอดีนของถ่านและถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย, ไม้กระถินเทพา, ไม้สนประดิพัทธ์ และไม้ไผ่รวก ที่ผ่านการกระตุ้น ปรากฏผลดังตารางที่ 1 2 3 และ 4 (Table 1, 2, 3 and 4)

Table 1. Iodine value of charcoal and activated carbon from *Pinus caribaea*

Experiment			Replication	Iodine Value (mg/g)
Charcoal	Physical activated with spray water at 400°C ; 1hr	Chemical activated with NaCl Sol^{-n} at 800°C ; 1hr		
✓	-	-	-	204
✓	✓	-	1	397
✓	✓	-	2	380
✓	✓	-	3	390
			average	389
✓	✓	0% NaCl	1	498
✓	✓	0% NaCl	2	493
✓	✓	0% NaCl	3	524
			average	505
✓	✓	10% NaCl	1	540
✓	✓	10% NaCl	2	488
✓	✓	10% NaCl	3	512
			average	513
✓	✓	20% NaCl	1	615
✓	✓	20% NaCl	2	605
✓	✓	20% NaCl	3	579
			average	600
✓	✓	30% NaCl	1	561
✓	✓	30% NaCl	2	511
✓	✓	30% NaCl	3	533
			average	535

Table 1. Iodine value of charcoal and activated carbon from *Pinus caribaea*

Experiment			Replication	Iodine Value (mg/g)
Charcoal	Physical activated with spray water at 400°C ; 1hr	Chemical activated with NaCl Sol^{-n} at 800°C ; 1hr		
✓	✓	**40% NaCl**	1	558
✓	✓	**40% NaCl**	2	517
✓	✓	**40% NaCl**	3	502
			average	523

Remark : ✓ = treated

– = non–treated

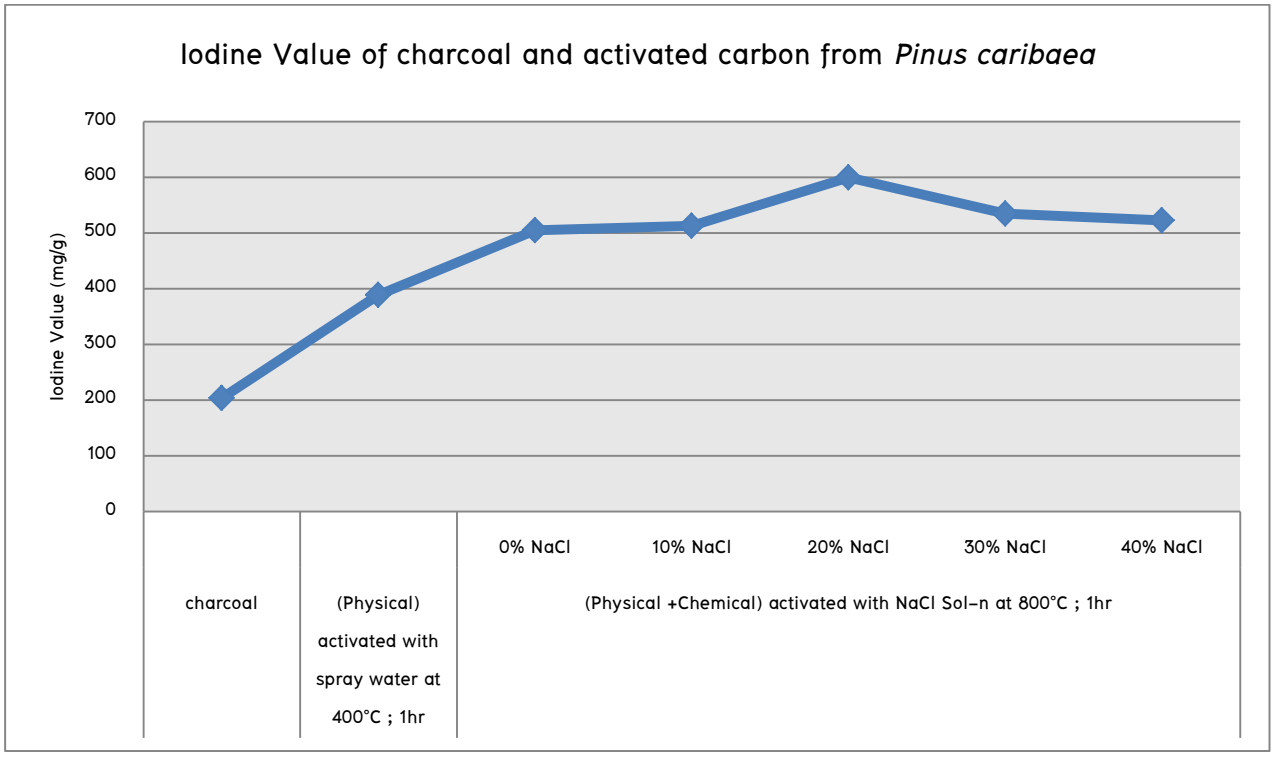


Figure 15 Comparative iodine value of charcoal and activated carbon from *Pinus caribaea*

จากตารางที่ 1 (Table 1) พบว่า

1. ถ่านจากไม้สนคาริเบียที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้นทั้งทางฟิสิกส์และทางเคมีจะมีค่าไอโอดีนเฉลี่ยเท่ากับ 204 มิลลิกรัมต่อกรัม

2. ถ่านจากไม้สนคาริเบียที่ผ่านการกระตุ้นทางฟิสิกส์ คือ กระตุ้นโดยใช้ละอองน้ำในเตาเผาถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ค่าไอโอดีนเฉลี่ยเท่ากับ 389 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าไอโอดีนของถ่านที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้นประมาณ 1.91 เท่า

3. ถ่านจากไม้สนคาริเบียที่ผ่านการกระตุ้นทั้งทางฟิสิกส์และทางเคมี คือ กระตุ้นโดยใช้ละอองน้ำในเตาเผาถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปกระตุ้นต่อโดยใช้สารสะลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0, 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ จะได้ค่าไอโอดีนที่แตกต่างกัน ดังนี้

3.1 ที่ระดับความเข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์ NaCl ถ่านกัมมันต์จะมีค่าไอโอดีนเฉลี่ย เท่ากับ 505 มิลลิกรัมต่อกรัม

3.2 ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ NaCl ถ่านกัมมันต์จะมีค่าไอโอดีนเฉลี่ย เท่ากับ 513 มิลลิกรัมต่อกรัม

3.3 ที่ระดับความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ NaCl ถ่านกัมมันต์จะมีค่าไอโอดีนเฉลี่ย เท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อกรัม

3.4 ที่ระดับความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ NaCl ถ่านกัมมันต์จะมีค่าไอโอดีนเฉลี่ย เท่ากับ 535 มิลลิกรัมต่อกรัม

3.5 ที่ระดับความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ NaCl ถ่านกัมมันต์จะมีค่าไอโอดีนเฉลี่ย เท่ากับ 523 มิลลิกรัมต่อกรัม

ซึ่งทั้ง 5 ระดับความเข้มข้นตามข้อ 3.1 – 3.5 ดังกล่าว ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีค่าไอโอดีนเฉลี่ยมากกว่าถ่านที่ไม่ได้ผ่านกระกระตุ้นประมาณ 2.48, 2.51, 2.94, 2.62 และ 2.56 เท่าตามลำดับ

Table 2. Iodine value of charcoal and activated carbon from *Acacia mangium*

Experiment			Replication	Iodine Value (mg/g)
Charcoal	Physical activated with spray water at 400°C ; 1hr	Chemical activated with NaCl Sol^{-n} at 800°C ; 1hr		
✓	–	–	–	125
✓	✓	–	–	414
✓	✓	0% NaCl	1	469
✓	✓	0% NaCl	2	517
✓	✓	0% NaCl	3	502
			average	496
✓	✓	10% NaCl	1	558
✓	✓	10% NaCl	2	511
✓	✓	10% NaCl	3	485
			average	518
✓	✓	20% NaCl	1	565
✓	✓	20% NaCl	2	496
✓	✓	20% NaCl	3	398
			average	486
✓	✓	30% NaCl	1	557
✓	✓	30% NaCl	2	442
✓	✓	30% NaCl	3	490
			average	496
✓	✓	40% NaCl	1	507
✓	✓	40% NaCl	2	444
✓	✓	40% NaCl	3	411
			average	454

Remark : ✓ = treated

– = non-treated

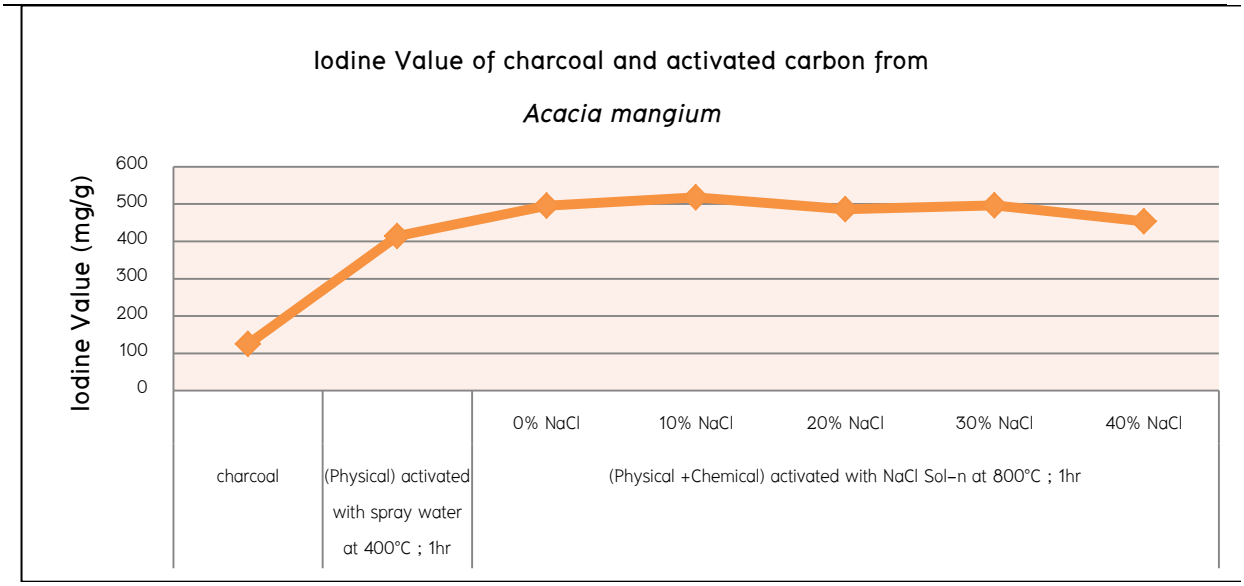


Figure 16 Comparative iodine value of charcoal and activated carbon from *Acacia mangium*

จากตารางที่ 2 (Table 2) พบว่า

1. ถ่านจากไม้กระถินเทพาที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้นทั้งทางฟิสิกส์และทางเคมีจะมีค่าไอโอดีนเฉลี่ยเท่ากับ 125 มิลลิกรัมต่อกรัม

2. ถ่านจากไม้กระถินเทพาที่ผ่านการกระตุ้นทางฟิสิกส์ คือ กระตุ้นโดยใช้ละอองน้ำที่อยู่ในเตาเผาถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะมีค่าไอโอดีนเฉลี่ยเท่ากับ 414 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าไอโอดีนของถ่านที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น ประมาณ 3.31 เท่า

3. ถ่านจากไม้กระถินเทพาที่ผ่านการกระตุ้นทั้งทางฟิสิกส์และทางเคมี คือ กระตุ้นโดยใช้ละอองน้ำที่อยู่ในเตาเผาถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปกระตุ้นต่อโดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์(NaCl) ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0, 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ จะได้ค่าไอโอดีนเฉลี่ยแตกต่างกัน ดังนี้

3.1 ที่ระดับความเข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์ NaCl ถ่านกัมมันต์จะมีค่าไอโอดีนเฉลี่ย เท่ากับ 496 มิลลิกรัมต่อกรัม

3.2 ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ NaCl ถ่านกัมมันต์จะมีค่าไอโอดีนเฉลี่ย เท่ากับ 518 มิลลิกรัมต่อกรัม

3.3 ที่ระดับความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ NaCl ถ่านกัมมันต์จะมีค่าไอโอดีนเฉลี่ย เท่ากับ 486 มิลลิกรัมต่อกรัม

3.4 ที่ระดับความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ NaCl ถ่านกัมมันต์จะมีค่าไอโอดีนเฉลี่ย เท่ากับ 496 มิลลิกรัมต่อกรัม

3.5 ที่ระดับความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ NaCl ถ่านกัมมันต์จะมีค่าไอโอดีนเฉลี่ย เท่ากับ 454 มิลลิกรัมต่อกรัม

ซึ่งทั้ง 5 ระดับความเข้มข้นตามข้อ 3.1 – 3.5 ดังกล่าว ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีค่าไอโอดีนเฉลี่ยมากกว่าถ่านที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น ประมาณ 3.97, 4.14, 3.89, 3.97 และ 3.63 เท่า ตามลำดับ

4. ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารเคมีในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพา

การพิจารณาเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในการเตรียมถ่านกัมมันต์ ใช้การพิจารณาจากค่าไอโอดีนเป็นเกณฑ์ โดยเลือกค่าไอโอดีนที่มากที่สุด จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพา คือ ความเข้มข้นที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ NaCl ซึ่งทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 518 มิลลิกรัมต่อกรัม

Table 3. Iodine value of charcoal and activated carbon from *Casuarina equisetifolia* Linn

Experiment		Replication	Iodine Value (mg/g)
Charcoal	Physical activated with spray water at 400°C ; 1hr		
✓	–	–	186
✓	✓	–	364

Remark : ✓ = treated

– = non-treated

จากตารางที่ 3 (Table 3) พบว่า

1. ถ่านจากไม้สนประดิพัทธ์ที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้นทางฟิสิกส์จะมีค่าไอโอดีนเฉลี่ยเท่ากับ 186 มิลลิกรัมต่อกรัม

2. ถ่านจากไม้สนประดิพัทธ์ที่ผ่านการกระตุ้นทางฟิสิกส์ คือ กระตุ้นโดยใช้ละอองน้ำที่อยู่ในเตาเผาถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะมีค่าไอโอดีนเฉลี่ยเท่ากับ 364 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าไอโอดีนของถ่านที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น ประมาณ 1.96 เท่า

Table 4. Iodine value of charcoal and activated carbon from *Thyrsostachys siamensis* Gamble

Experiment		Replication	Iodine Value (mg/g)
Charcoal	Physical activated with spray water at 400°C ; 1hr		
✓	–	–	207
✓	✓	–	282

Remark : ✓ = treated

– = non-treated

จากตารางที่ 4 (Table 4) พบว่า

1. ถ่านจากไม้ไผ่รวก จังหวัดราชบุรี ที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้นทางฟิสิกส์จะมีค่าไอโอดีนเฉลี่ยเท่ากับ 207 มิลลิกรัมต่อกรัม

2. ถ่านจากไม้ไผ่รวก จังหวัดราชบุรี ที่ผ่านการกระตุ้นทางฟิสิกส์ คือ กระตุ้นโดยใช้ละอองน้ำที่อยู่ในเตาเผาถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะมีค่าไอโอดีนเฉลี่ยเท่ากับ 282 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าไอโอดีนของถ่านที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น ประมาณ 1.36 เท่า

3. การศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย (*Pinus caribaea*) ไม้กระถินเทพา (*Acacia mangium*) ไม้สนประดิพัทธ์ (*Casuarina equisetifolia* Linn.) และไม้ไผ่รวก (*Thyrsostachys siamensis* Gamble)

3.1 การนำถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบียไปทดสอบกับน้ำทิ้งจากนิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

จากการศึกษาพบว่า น้ำทิ้งจากนิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน จังหวัดอยุธยา ลักษณะสีเหลืองเข้มใส มีตะกอนแขวนลอย กลิ่นเหม็นแรงมาก และเมื่อนำน้ำทิ้งจำนวน 20 มิลลิลิตร มาทดสอบกับถ่านกัมมันต์จากสนคาริเบียที่มีปริมาณแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0, 1, 2, 3 และ 4 กรัม เพื่อศึกษาการดูดซับสีและกลิ่นของน้ำทิ้ง โดยตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานาน 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 24 และ 48 ชั่วโมง (Figure 17) ปรากฏผลดังตารางผนวกที่ 1

เมื่อเทน้ำทิ้งลงในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์อยู่จะเกิดฟองอากาศขึ้น เนื่องจากน้ำทิ้งเข้าไปแทนที่อากาศที่อยู่ในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ ยิ่งถ่านกัมมันต์มีปริมาณมากฟองอากาศจะผุดออกมามากขึ้น เพราะถ่านกัมมันต์ไปดูดซับสารในน้ำทิ้ง เช่น สี สารแขวนลอย และกลิ่น โดยฟองอากาศจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อถ่านกัมมันต์ดูดซับสารในน้ำทิ้งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเต็ม โดยเฉลี่ยในเวลาประมาณ 2–3 ชั่วโมงฟองอากาศก็จะไม่มี

จากตารางผนวกที่ 1 พบว่า

3.1.1 ลักษณะของสี สีของน้ำทิ้งที่ไม่มีถ่านกัมมันต์จะมีสีเหลืองใส แต่สีของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ จะมีความเข้มของสีลดลง และมีความใสเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มมากขึ้น ที่เวลาเท่ากัน ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง พบว่าน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ไม่มีสี

3.1.2 ลักษณะของกลิ่น กลิ่นของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์จะเหม็นแรงในระดับ 4 ที่เวลา 0 ชั่วโมงและเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงกลิ่นลดลงมาอยู่ในระดับ 3 แต่กลิ่นของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่า จะมีกลิ่นลดลงอยู่ในระดับ 2 และ 1 ตามปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มมากขึ้น

3.1.3 ลักษณะของความขุ่น น้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์ จะไม่มีสารแขวนลอยของสารอินทรีย์ แต่ความขุ่นของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์จะมีผงถ่านแขวนลอยอยู่เพิ่มขึ้น

ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ใส่ และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ก็จะไม่พบผงถ่านแขวนลอย เนื่องจากผงถ่านจะตกตะกอนที่ก้นหลอดทดลองหรือในชั้นของถ่าน

3.1.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) pH ของน้ำทิ้ง มีค่าเท่ากับ 7.4 แต่ pH ของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ใส่ถ่านกัมมันต์ ที่เวลา 24 ชั่วโมง พบว่า มีค่า pH ลดลงอยู่ระหว่าง 6.2-7.1 ซึ่ง pH นี้จะลดลงเรื่อยๆ ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้น

3.1.5 อุณหภูมิของน้ำทิ้ง ค่าอุณหภูมิของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ทำการศึกษาทั้ง 5 หลอด ที่วัดได้นั้น เป็นค่าที่อุณหภูมิห้องในวันที่ทำการทดลอง

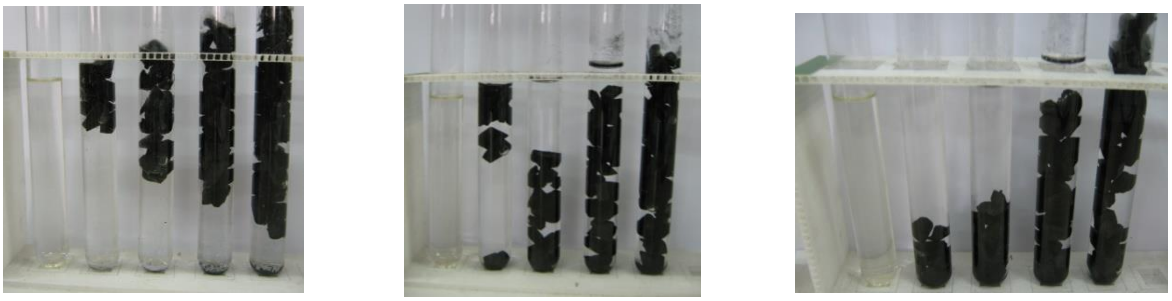


Figure 17 Comparative activated carbon from *Pinus caribaea* utilization with waste water from Bang-Pa-In Industry , Ayudhya at several times

3.2 การนำถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพา ไปทดสอบกับน้ำทิ้งจากชุมชนในเขตไทรม้า จังหวัดนนทบุรี

จากการศึกษา พบว่า น้ำทิ้งจากเขตไทรม้า จังหวัดนนทบุรี มีลักษณะสีเขียวอมเหลืองเข้ม มีตะกอนแขวนลอยอยู่ในน้ำมาก กลิ่นอยู่ในระดับที่รับได้ และเมื่อนำน้ำทิ้งจำนวน 20 มิลลิลิตร มาทดสอบกับถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพา ที่มีปริมาณแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0, 1, 2, 3 และ 4 กรัม เพื่อศึกษาการดูดซับสีและกลิ่นของน้ำทิ้ง โดยตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานาน 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 , 24 และ 48 ชั่วโมง ปรากฏผลดังตารางผนวกที่ 2 และ Figure 18

จากตารางผนวกที่ 2 พบว่า

3.2.1 ลักษณะของสี สีของน้ำทิ้งที่ไม่มีถ่านกัมมันต์จะมีสีเหลืองใส แต่สีของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ จะมีความเข้มของสีลดลง และมีความใสเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มมากขึ้นที่เวลาเท่ากัน ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่าน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์จะไม่มีสี

3.2.2 ลักษณะของกลิ่น กลิ่นของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์จะมีกลิ่นเล็กน้อยมากในระดับ 2 ที่เวลา 0 ชั่วโมงและเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง กลิ่นอยู่ในระดับเดิม แต่กลิ่นของน้ำทิ้งในหลอด

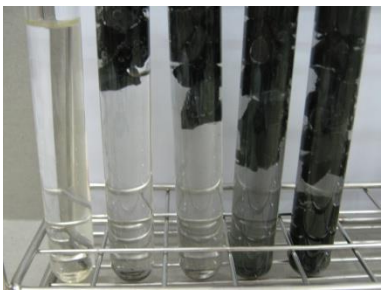
ทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่า จะมีกลิ่นลดลงอยู่ที่ระดับ 3, 2 และ 1 โดยในหลอดทดลองที่มีปริมาณถ่านกัมมันต์มากขึ้น กลิ่นก็จะลดลงเล็กน้อย

3.2.3 ลักษณะของความขุ่น ความขุ่นของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์ จะมีสารแขวนลอยของสารอินทรีย์บ้าง และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง ก็ไม่พบสารแขวนลอย สำหรับในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ จำนวน 1 และ 2 กรัม จะมีสารแขวนลอยอยู่บ้าง แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง ก็ไม่พบสารแขวนลอย ส่วนในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ จำนวน 3 และ 4 กรัม นั้น เมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง พบว่ามีเพียงผงถ่านแขวนลอยอยู่ ซึ่งผงถ่านนี้จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ใส่ลงไป และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง ผงถ่านจะตกตะกอนที่ก้นหลอดทดลองหรือในชั้นของถ่าน

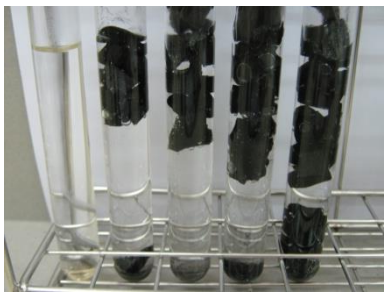
3.2.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) pH ของน้ำทิ้ง มีค่าเท่ากับ 7.5 แต่ pH ของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ใส่ถ่านกัมมันต์ ที่เวลา 24 ชั่วโมง พบว่า มีค่า pH เพิ่มขึ้น อยู่ระหว่าง 6.4-7.2 ซึ่ง pH นี้จะลดลงเรื่อยๆ ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้น

3.2.5 อุณหภูมิของน้ำทิ้ง ค่าอุณหภูมิของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ทำการศึกษาทั้ง 5 หลอดที่วัดได้นั้น เป็นค่าที่อุณหภูมิห้องในวันที่ทำการทดลอง

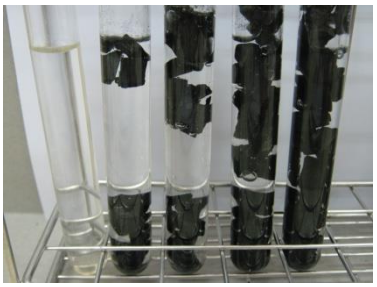
เกิดฟองอากาศผุดขึ้นมาจากถ่านเมื่อเทน้ำทิ้งลงไปในถ่าน



Time = 0 hr.



Time = 24 hrs.



Time = 48 hrs.

Figure 18 Comparative activated carbon from *Acacia mangium* utilization with waste water from Sai Ma Municipality, Nonthaburi at several times

3.3 การนำถ่านกัมมันต์จากไม้สนประดิพัทธ์ ไปทดสอบกับน้ำทิ้งจากใต้อาคารแฟลตตำรวจบางมด เขตจอมทอง จังหวัดกรุงเทพมหานคร

จากการศึกษา พบว่า น้ำทิ้งจากใต้อาคารแฟลตตำรวจบางมด เขตจอมทอง กรุงเทพฯ มีลักษณะสีเขียวเข้ม มีตะกอนแขวนลอยอยู่ในน้ำมากกลิ่นเหม็นแรงมาก และเมื่อนำน้ำทิ้งจำนวน 20 มิลลิลิตร มาทดสอบกับถ่านกัมมันต์จากสนประดิพัทธ์ที่มีปริมาณแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0, 1, 2, 3 และ 4 กรัม เพื่อศึกษาการดูดซับสีและกลิ่นของน้ำทิ้ง โดยตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานาน 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 24 และ 48 ชั่วโมง ปรากฏผลดังตารางผนวกที่ 3 และ Figure 19

จากตารางผนวกที่ 3 พบว่า

3.3.1 ลักษณะของสี สีของน้ำทิ้งที่ไม่มีถ่านกัมมันต์จะมีสีเขียวเข้ม แต่สีของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ จะมีความเข้มของสีลดลง และมีความใสเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มมากขึ้น ที่เวลาเท่ากัน ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่าน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์จะมีสีเหลืองอ่อนและใสกว่าน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์

3.3.2 ลักษณะของกลิ่น กลิ่นของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์จะเหม็นแรงมากในระดับ 5 ที่เวลา 0 ชั่วโมงและเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง กลิ่นลดลงมาที่ระดับ 4 แต่น้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ทุกหลอด เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่า กลิ่นลดลงมาที่ระดับ 1-3

3.3.3 ลักษณะของความขุ่น ความขุ่นของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์ จะมีสารแขวนลอยของสารอินทรีย์บ้าง และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง ไม่พบสารแขวนลอยอินทรีย์ สำหรับในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ จำนวน 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม จะมีผงถ่านแขวนลอยอยู่บ้างมากน้อยตามปริมาณของถ่านที่ใส่ และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จนถึง 24 ชั่วโมง พบว่ามีเพียงผงถ่านแขวนลอยอยู่เหมือนเดิม ซึ่งผงถ่านนี้จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ใส่ลงไป

3.3.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) pH ของน้ำทิ้ง มีค่าเท่ากับ 6.8 แต่ pH ของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ใส่ถ่านกัมมันต์ ที่เวลา 24 ชั่วโมง พบว่า มีค่า pH เพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 7.7-8.5 ซึ่ง pH นี้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้น

3.3.5 อุณหภูมิของน้ำทิ้ง ค่าอุณหภูมิของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ทำการศึกษาทั้ง 5 หลอดที่วัดได้นั้น เป็นค่าที่อุณหภูมิห้องในวันที่ทำการทดลอง

Time = 0 hr. Time = 24 hrs. Time = 24 hrs.

Figure 19 Comparative activated carbon from *Casuarina equisetifolia* Linn. utilization with waste water from Flat Bangmod, jhomthong, Bangkok at several times

3.4 การนำถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่รวกไปทดสอบกับน้ำสีสังเคราะห์

จากการศึกษา พบว่า น้ำสีผสมอาหาร มีลักษณะสีฟ้าใส ไม่มีตะกอนแขวนลอย แต่งกลิ่นมะลิอยู่ในระดับที่รับได้ และเมื่อนำน้ำสีสังเคราะห์จำนวน 40 มิลลิลิตร มาทดสอบกับถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่รวกที่มีปริมาณแตกต่างกัน 6 ระดับ คือ 0, 2, 4, 6, 8, และ 10 กรัม เพื่อศึกษาการดูดซับสีและกลิ่นของน้ำสีสังเคราะห์ โดยตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานาน 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 24 และ 48 ชั่วโมง ปรากฏผลดังตารางผนวกที่ 4

จากตารางผนวกที่ 4 พบว่า

3.4.1 ลักษณะของสี สีของน้ำทิ้งที่ไม่มีถ่านกัมมันต์จะมีสีฟ้า แต่น้ำสีสังเคราะห์ในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ จะมีความเข้มของสีลดลง และมีความใสเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มมากขึ้นที่เวลาเท่ากัน ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่าน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์จะมีสีฟ้าใสหรือใสกว่าน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์

3.4.2 ลักษณะของกลิ่น กลิ่นของน้ำสีสังเคราะห์แต่งกลิ่นมะลิ ซึ่งในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์จะกลิ่นแรงในระดับที่ 4 ที่เวลา 0 ชั่วโมงและเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง กลิ่นไม่ลดลง แต่กลิ่นของน้ำสีสังเคราะห์ในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์จำนวน 2, 4, 6, 8 และ 10 กรัมเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่า กลิ่นลดลงมาที่ระดับ 3, 2 และ 1 โดยในหลอดทดลองที่มีปริมาณถ่านกัมมันต์ 8 และ 10 กรัม กลิ่นลดลงมาที่ระดับ 0 หรือไม่มีกลิ่นเลย

3.4.3 ลักษณะของความขุ่น น้ำสีสังเคราะห์ในหลอดทดลองที่ไม่มีถ่านกัมมันต์ มีลักษณะใส สำหรับในหลอดทดลองที่มีถ่านกัมมันต์ จำนวน 2, 4, 6, 8 และ 10 กรัม จะมีผงถ่านแขวนลอยมากน้อยตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้น เมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง พบว่าไม่มีผงถ่านแขวนลอยอยู่เนื่องจากผงถ่านตกตะกอนหมด

3.4.4 ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) pH ของน้ำสีสังเคราะห์ มีค่าเท่ากับ 8 แต่ pH ของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ใส่ถ่านกัมมันต์ ที่เวลา 24 ชั่วโมง พบว่า มีค่า pH เพิ่มขึ้น อยู่ระหว่าง 8.0– 10.0 ซึ่ง pH นี้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้น

3.4.5 อุณหภูมิของน้ำทิ้ง ค่าอุณหภูมิของน้ำทิ้งในหลอดทดลองที่ทำการศึกษาทั้ง 5 หลอดที่วัดได้นั้น เป็นค่าที่อุณหภูมิห้องในวันที่ทำการทดลอง

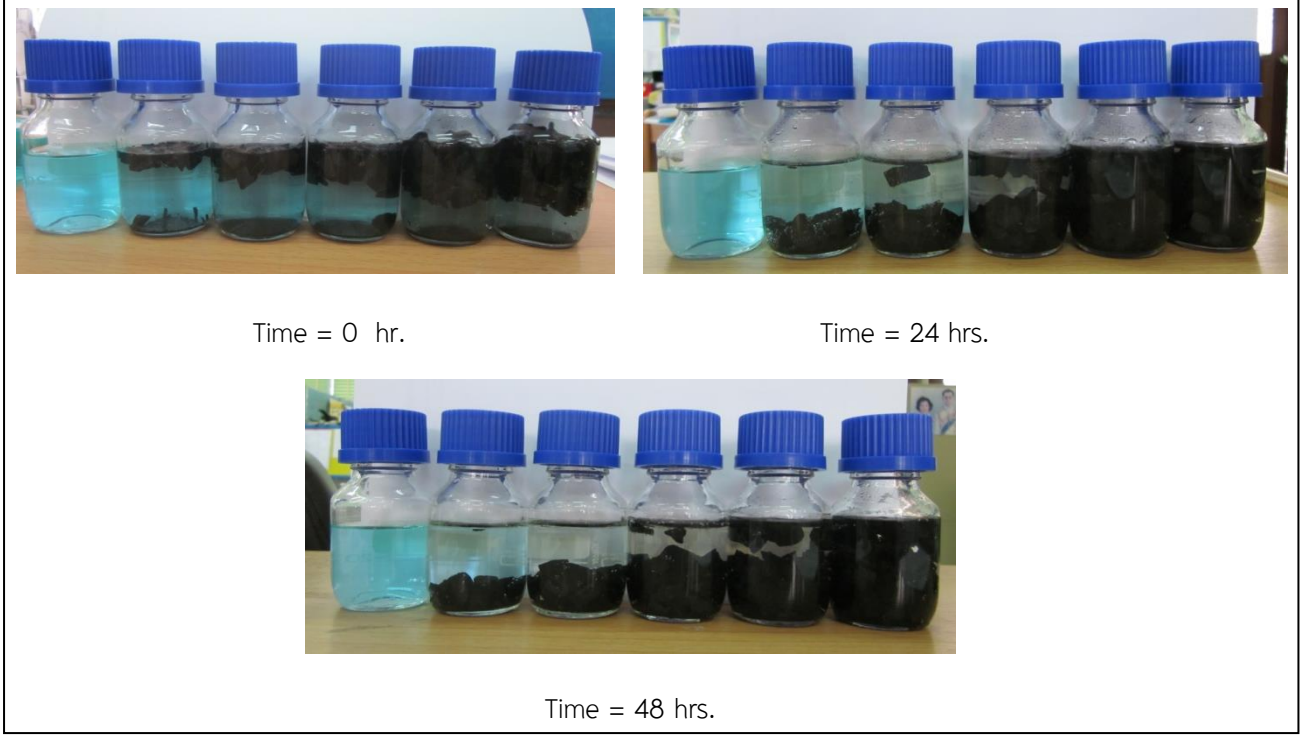


Figure 20 Comparative activated carbon from *Thyrsostachys siamensis* Gamble utilization with water from food colouring at several times

สรุปผล

(Conclusion)

1. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบียและไม้กระถินเทพา

การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย และไม้กระถินเทพา โดยนำตัวอย่างไม้มาเผาเป็นถ่าน ทำการบด คัดขนาด แล้วนำไปกระตุ้นทางฟิสิกส์โดยเผาในเตาเผาถ่านกัมมันต์ที่มีเครื่องฉีดละอองน้ำอยู่ภายในที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปกระตุ้นทางเคมีโดยนำมาบดให้มีขนาดเล็กประมาณ 0.2–0.3 เซนติเมตร 300 กรัม ผสมกับโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จำนวน 600 กรัม และเติมน้ำ ในอัตราส่วน 2 : 1 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสจนแห้ง แล้วนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 50 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0, 10, 20, 30, และ 40 เปอร์เซ็นต์ แล้วเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบียจะมีค่าไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อกรัม และที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพา จะมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 518 มิลลิกรัมต่อกรัม

ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยของถ่านไม้สนคาริเบียและถ่านไม้กระถินเทพา ที่ไม่ผ่านการกระตุ้นใดๆ ประมาณ 2.94 และ 4.14 เท่า ตามลำดับ

2. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้สนประดิพัทธ์และไผ่รวก

การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้สนประดิพัทธ์ และไผ่รวก โดยนำตัวอย่างมาเผาเป็นถ่าน ทำการบดคัดขนาด แล้วนำไปกระตุ้นทางฟิสิกส์โดยการเผาในเตาเผาถ่านกัมมันต์ที่มีเครื่องฉีดละอองน้ำอยู่ภายในที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ถ่านที่มีค่าไอโอดีนเท่ากับ 364 และ 207 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยของถ่านไม้สนประดิพัทธ์และถ่านไม้ไผ่รวกที่ไม่ผ่านการกระตุ้นใดๆ ประมาณ 1.96 และ 1.36 เท่า ตามลำดับ

3. การศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากสนคาริเบีย กระถินเทพา สนประดิพัทธ์ และไผ่รวก

จากการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากสนคาริเบีย กระถินเทพา สนประดิพัทธ์ และไผ่รวก โดยนำถ่านกัมมันต์จากไม้โตเร็วดังกล่าวไปทดสอบกับน้ำทิ้ง 4 แหล่ง คือ น้ำทิ้งจากนิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน จ.พระนครศรีอยุธยา น้ำทิ้งจากเขตไทรม้า จ.นนทบุรี น้ำทิ้งจากใต้แฟลตตำรวจบางมด เขตจอมทอง กรุงเทพฯ และน้ำสีสังเคราะห์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากไม้ทั้ง 4 ชนิดดังกล่าวสามารถดูดซับกลิ่น และสีของน้ำทิ้งได้ทั้ง 4 แหล่ง ทำให้น้ำทิ้งใสขึ้นและมีกลิ่นลดลง จนถึงไม่มีกลิ่น สำหรับปริมาณของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดที่ควรนำไปใช้มีดังนี้

3.1 ควรใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย ในปริมาณ 1 กรัมต่อน้ำทิ้ง 20 มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง จะทำให้น้ำทิ้งใสไม่มีสี และตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง กลิ่นจะลดลงจนเหลือน้อย

3.2 ควรใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพา ในปริมาณ 1 กรัมต่อน้ำทิ้ง 20 มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง จะทำให้น้ำทิ้งใสไม่มีสี และตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง กลิ่นจะลดลงจนเหลือน้อย

3.3 ควรใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้สนประดิพัทธ์ ในปริมาณ 4 กรัมต่อน้ำทิ้ง 20 มิลลิลิตรและตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จะทำให้น้ำทิ้งไม่มีสี และกลิ่นลดลงจนเหลือน้อย

3.4 ควรใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่รวกในปริมาณ 4 กรัมต่อน้ำทิ้ง 20 มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จะทำให้น้ำสีสังเคราะห์ใสไม่มีสีและไม่มีกลิ่น

จากการศึกษาการทำสบู่ถ่านถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์ผงสามารถนำมาทำสบู่ถ่านได้

4. ข้อเสนอแนะ

4.1 การศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์ควรเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ในการศึกษาให้มีหลายระดับมากขึ้นจนถึงปริมาณที่ทำให้น้ำทิ้งใสไม่มีสี และไม่มีกลิ่น และควรเพิ่มการศึกษาการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆเพิ่มขึ้น

4.2 การศึกษาการทำสบู่จากถ่านกัมมันต์ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องปริมาณของผงถ่านส่วนผสม และควรมีการนำไปทดสอบกับผู้ใช้

กิตติกรรมประกาศ

(Acknowledment)

การศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุนและความช่วยเหลือจาก คุณจิระพงษ์ คูหากาญจน์ หัวหน้าศูนย์วิจัยพลังงานจากไม้ จ.สระบุรี คุณทินกร พิริยโยธา หัวหน้าศูนย์ส่งเสริมพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้ประโยชน์ไม้ขนาดเล็กและของป่าจังหวัดราชบุรี ที่ช่วยเอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษาวิจัยและทดลอง รวมถึงพนักงานและเจ้าหน้าที่ของศูนย์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการศึกษาวิจัยเป็นอย่างดี ตลอดจนพนักงานและเจ้าหน้าที่ในงานพัฒนาพลังงานจากไม้และงานทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญาทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ซึ่งข้าพเจ้าได้รับความช่วยเหลือจากทุกท่านดังกล่าวข้างต้นเป็นอย่างดีจึงขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

(References)

กรมควบคุมมลพิษ. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. วิธีตรวจวัดกลิ่น. (ออนไลน์). www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/P3.htm. วันที่ค้นข้อมูล 30 สิงหาคม 2553

คณิตา วัฒนะกิจ, ฉัตรชัย คงเดชอุดมกุล และ ฎาญิน มงคลขจรศิลป์. 2540. การดูดซับโลหะหนักโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกากเมล็ดกาแฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ. 62 น.

จิราภรณ์ ธรรมศรี. 2545-46. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยใช้โซเดียมคลอไรด์. สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ชลธา ไกรวัฒนุสสรณ์ และคณะ. 2538. การผลิตถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย . วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี . สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี , กรุงเทพฯ

บุญชัย ตระกูลมหาชัย. 2544. ถ่านกัมมันต์. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย จ.ปทุมธานี

ปรินทร เต็มญารศิลป์. 2551. การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตงและไผ่หมาจู๋. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมี ภาควิชาเคมี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

วิชัย ธรรมสาธิต และ เกษม ฉัตรมณีฤกษ์. 2534. การผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

วิวัฒน์ ผกานนทวิวัฒน์ และปัญญา จันทรขจรรัตน์. 2538. การทำถ่านกัมมันต์จากต้นธูปฤาษี. สถาบันพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ. 52 น.

สิริลักษณ์ ตาตะยานนท์ , ทินกร พิริยโยธา , มนัสสุดา นันทสิริพร , ฐิติภรณ์ บุญแย้ม และ ประภัสสร ภาคอรรถ. 2550. ความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ *Acacia crassicarpa* . สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

อภิสิทธิ์ เจริญกูล และนิพนธ์ พงษ์คำ. 2533. การผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย กับน้ำทิ้งจากนิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำ : ถ่านกัมมันต์ (ml : g)	ลักษณะของน้ำทิ้ง															หมายเหตุ
		ซ้ำ 1					ซ้ำ 2					ซ้ำ 3					
		สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	
0	20 : 0	เหลืองใส	ระดับ 4	ไม่มี	7.4	27.6	เหลืองใส	ระดับ 4	ไม่มี	7.4	27.6	เหลืองใส	ระดับ 4	ไม่มี	7.4	27.6	
	20 : 1	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	
	20 : 2	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	
	20 : 3	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	
	20 : 4	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	
1	20 : 0	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	
	20 : 1	ใสอมเหลือง	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใสอมเหลือง	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใสอมเหลือง	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ผงถ่านเริ่มตกตะกอน
	20 : 2	ใสอมเหลือง	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ใสอมเหลือง	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ใสอมเหลือง	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	”
	20 : 3	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	”
	20 : 4	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	”

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ) ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย กับน้ำทิ้งจากนิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำ : ถ่านกัมมันต์ (ml : g)	ลักษณะของน้ำทิ้ง															หมายเหตุ
		ซ้ำ 1					ซ้ำ 2					ซ้ำ 3					
		สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	
2	20 : 0	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	
	20 : 1	ใสอมเหลือง	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใสอมเหลือง	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใสอมเหลือง	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ผงถ่านตกตะกอนเพิ่มขึ้น
	20 : 2	ใสอมเหลือง	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ใสอมเหลือง	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ใสอมเหลือง	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	”
	20 : 3	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	”
	20 : 4	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	”
3	20 : 0	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	
	20 : 1	ใส	*	ไม่มี	*	*	ใส	*	ไม่มี	*	*	ใส	*	ไม่มี	*	*	ผงถ่านตกตะกอนหมด
	20 : 2	ใส	*	ไม่มี	*	*	ใส	*	ไม่มี	*	*	ใส	*	ไม่มี	*	*	”
	20 : 3	ใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	
	20 : 4	ใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ) ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย กับน้ำทิ้งจากนิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำ : ถ่านกัมมันต์ (ml : g)	ลักษณะของน้ำทิ้ง															หมายเหตุ
		ซ้ำ 1					ซ้ำ 2					ซ้ำ 3					
		สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	
4	20 : 0	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	
	20 : 1	ใส	*	ไม่มี	*	*	ใส	*	ไม่มี	*	*	ใส	*	ไม่มี	*	*	
	20 : 2	ใส	*	ไม่มี	*	*	ใส	*	ไม่มี	*	*	ใส	*	ไม่มี	*	*	
	20 : 3	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	
	20 : 4	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	
5	20 : 0	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	
	20 : 1	ใส	*	ไม่มี	*	*	ใส	*	ไม่มี	*	*	ใส	*	ไม่มี	*	*	
	20 : 2	ใส	*	ไม่มี	*	*	ใส	*	ไม่มี	*	*	ใส	*	ไม่มี	*	*	
	20 : 3	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	
	20 : 4	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ) ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้สนคาริเบีย กับน้ำทิ้งจากนิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำ : ถ่านกัมมันต์ (ml : g)	ลักษณะของน้ำทิ้ง															หมายเหตุ
		ซ้ำ 1					ซ้ำ 2					ซ้ำ 3					
		สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	
6	20 : 0	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	
	20 : 1	ใส	*	ไม่มี	*	*	ใส	*	ไม่มี	*	*	ใส	*	ไม่มี	*	*	
	20 : 2	ใส	*	ไม่มี	*	*	ใส	*	ไม่มี	*	*	ใส	*	ไม่มี	*	*	
	20 : 3	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	
	20 : 4	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	
24	20 : 0	เหลืองใส	ระดับ 3	ไม่มี	7.6	25.2	เหลืองใส	ระดับ 3	ไม่มี	7.5	25.4	เหลืองใส	ระดับ 3	ไม่มี	7.4	25.0	
	20 : 1	ใส+	ระดับ 3	ไม่มี	6.9	25.2	ใส+	ระดับ 3	ไม่มี	7.1	25.0	ใส+	ระดับ 3	ไม่มี	6.9	24.9	
	20 : 2	ใส+	ระดับ 2	ไม่มี	6.6	25.2	ใส+	ระดับ 2	ไม่มี	6.6	25.2	ใส+	ระดับ 2	ไม่มี	6.6	24.9	
	20 : 3	ใส++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.4	25.0	ใส++	ระดับ 2	ตะกอนถ่าน	6.4	25.2	ใส++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.3	24.9	
	20 : 4	ใส++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.3	25.1	ใส++	ระดับ 2	ตะกอนถ่าน	6.3	25.2	ใส++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.2	24.8	
48	20 : 0	เหลืองใส	ระดับ 1	ไม่มี	7.5	26.4	เหลืองใส	ระดับ 1	ไม่มี	7.6	26.3	เหลืองใส	ระดับ 1	ไม่มี	7.5	26.3	
	20 : 1	ใส+	ระดับ 1	ไม่มี	6.8	26.4	ใส+	ระดับ 1	ไม่มี	6.8	26.3	ใส+	ระดับ 1	ไม่มี	6.8	26.4	
	20 : 2	ใส+	ระดับ 1	ไม่มี	6.3	26.4	ใส+	ระดับ 1	ไม่มี	6.5	26.3	ใส+	ระดับ 1	ไม่มี	6.6	26.1	
	20 : 3	ใส++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.1	26.2	ใส++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.3	26.2	ใส++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.2	26.1	
	20 : 4	ใส++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.1	26.3	ใส++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.2	25.9	ใส++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.2	26.1	

หมายเหตุ T หมายถึงอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส), + หมายถึงมีระดับดีขึ้น, เพิ่มขึ้น - หมายถึงมีระดับลดลง และ * หมายถึงไม่ได้มีการทดสอบ

ตารางผนวกที่ 2 ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพา กับน้ำทิ้งจากเขตไทรม้า จังหวัดนนทบุรี

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำ : ถ่านกัมมันต์ (ml : g)	ลักษณะของน้ำทิ้ง															หมายเหตุ
		ซ้ำ 1					ซ้ำ 2					ซ้ำ 3					
		สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	
0	20 : 0	เหลืองใส	ระดับ 2	แขวนลอยสารอินทรีย์	7.5	26.4	เหลืองใส	ระดับ 2	แขวนลอยสารอินทรีย์	7.5	26.4	เหลืองใส	ระดับ 2	แขวนลอยสารอินทรีย์	7.5	26.4	
	20 : 1	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	มีฟองอากาศผุดขึ้นมาจากถ่าน
	20 : 2	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	”
	20 : 3	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	”
	20 : 4	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	”
1	20 : 0	เหลืองใส	*	แขวนลอยเริ่มตกตะกอน	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยเริ่มตกตะกอน	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยเริ่มตกตะกอน	*	*	
	20 : 1	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ผงถ่านเริ่มตกตะกอน
	20 : 2	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	”
	20 : 3	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	”
	20 : 4	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	”

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ) ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพา กับน้ำทิ้งจากเขตไทรม้า จังหวัดนนทบุรี

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำ : ถ่านกัมมันต์ (ml : g)	ลักษณะของน้ำทิ้ง															หมายเหตุ
		ซ้ำ 1					ซ้ำ 2					ซ้ำ 3					
		สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	
2	20 : 0	เหลืองใส	*	แขวนลอยตกตะกอน	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยตกตะกอน	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยตกตะกอน	*	*	
	20 : 1	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ผงถ่านตกตะกอนเพิ่มขึ้น
	20 : 2	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	”
	20 : 3	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	”
	20 : 4	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	เทาใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	”
3	20 : 0	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	แขวนลอยตกตะกอนหมด
	20 : 1	เหลืองใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	เหลืองใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	เหลืองใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ผงถ่านตกตะกอนเพิ่มขึ้น
	20 : 2	เหลืองใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	”
	20 : 3	เทาใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	เทาใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	เทาใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	”
	20 : 4	เทาใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	เทาใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	เทาใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	”

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ) ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพา กับน้ำทิ้งจากเขตไทรม้า จังหวัดนนทบุรี

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำ : ถ่านกัมมันต์ (ml : g)	ลักษณะของน้ำทิ้ง															หมายเหตุ
		ซ้ำ 1					ซ้ำ 2					ซ้ำ 3					
		สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	
4	20 : 0	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	แขวนลอยตกตะกอนหมด
	20 : 1	เหลืองใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	เหลืองใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	เหลืองใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ผงถ่านตกตะกอนเพิ่มขึ้น
	20 : 2	เหลืองใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	”
	20 : 3	เทาใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	เทาใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	เทาใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	”
	20 : 4	เทาใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	เทาใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	เทาใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	”
5	20 : 0	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	แขวนลอยตกตะกอนหมด
	20 : 1	เหลืองใส++	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	เหลืองใส++	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	เหลืองใส++	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ผงถ่านตกตะกอนเพิ่มขึ้น
	20 : 2	เหลืองใส++	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส++	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส++	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	”
	20 : 3	เทาใส++	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	เทาใส++	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	เทาใส++	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	”
	20 : 4	เทาใส++	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	เทาใส++	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	เทาใส++	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	”

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ) ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพา กับน้ำทิ้งจากเขตไทรม้า จังหวัดนนทบุรี

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำ : ถ่านกัมมันต์ (ml : g)	ลักษณะของน้ำทิ้ง															หมายเหตุ
		ซ้ำ 1					ซ้ำ 2					ซ้ำ 3					
		สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	
6	20 : 0	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	เหลืองใส	*	ไม่มี	*	*	แขวนลอยตกตะกอนหมด
	20 : 1	ใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ผงถ่านตกตะกอนเพิ่มขึ้น
	20 : 2	ใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	”
	20 : 3	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	”
	20 : 4	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	”
24	20 : 0	เหลืองใส	ระดับ 2	ไม่มี	7.6	25.4	เหลืองใส	ระดับ 2	ไม่มี	7.4	24.8	เหลืองใส	ระดับ 2	ไม่มี	7.4	24.9	
	20 : 1	ใส+	ระดับ 1	แขวนลอยผงถ่าน	7.2	25.3	ใส+	ระดับ 1	แขวนลอยผงถ่าน	7.0	24.9	ใส+	ระดับ 1	แขวนลอยผงถ่าน	7.0	24.7	
	20 : 2	ใส+	ระดับ 1	แขวนลอยผงถ่าน	6.8	25.0	ใส+	ระดับ 1	แขวนลอยผงถ่าน	6.7	24.7	ใส+	ระดับ 1	แขวนลอยผงถ่าน	7.0	24.6	
	20 : 3	ใส++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.6	24.8	ใส++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.6	24.7	ใส++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.8	24.5	ถ่านตกตะกอนหมด
	20 : 4	ใส++	ระดับ 1	แขวนลอยผงถ่าน+	6.5	24.6	ใส++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.4	24.7	ใส++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.7	24.4	

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ) ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพา กับน้ำทิ้งจากเขตไทรม้า จังหวัดนนทบุรี

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำ : ถ่านกัมมันต์ (ml : g)	ลักษณะของน้ำทิ้ง															หมายเหตุ
		ซ้ำ 1					ซ้ำ 2					ซ้ำ 3					
		สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	
48	20 : 0	เหลืองใส	ระดับ 1	ไม่มี	7.6	27.0	เหลืองใส	ระดับ 1	ไม่มี	7.5	26.5	เหลืองใส	ระดับ 1	ไม่มี	7.4	26.3	
	20 : 1	ใส++	ระดับ 1	ไม่มี	7.2	26.8	ใส++	ระดับ 1	ไม่มี	7.1	26.6	ใส++	ระดับ 1	ไม่มี	7.0	26.2	ถ่านตกตะกอนหมด
	20 : 2	ใส++	ระดับ 1	ไม่มี	6.8	26.5	ใส++	ระดับ 1	ไม่มี	6.7	26.5	ใส++	ระดับ 1	ไม่มี	6.9	26.2	”
	20 : 3	ใส+++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.6	26.3	ใส+++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.5	26.5	ใส+++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.8	26.1	”
	20 : 4	ใส+++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.5	26.0	ใส+++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.4	26.4	ใส+++	ระดับ 1	ตะกอนถ่าน	6.7	26.1	”

หมายเหตุ T หมายถึงอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส), + หมายถึงมีระดับดีขึ้น, เพิ่มขึ้น - หมายถึงมีระดับลดลง และ * หมายถึงไม่ได้มีการทดสอบ

ตารางผนวกที่ 3 ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้สนประดิพัทธ์ กับน้ำทิ้งจากใต้แฟลตตำรวจบางมด เขตจอมทอง กรุงเทพฯ

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำ : ถ่านกัมมันต์ (ml : g)	ลักษณะของน้ำทิ้ง															หมายเหตุ
		ซ้ำ 1					ซ้ำ 2					ซ้ำ 3					
		สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	
0	20 : 0	เขียวเข้ม	ระดับ 5	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	6.8	28.5	เขียวเข้ม	ระดับ 5	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	6.8	28.5	เขียวเข้ม	ระดับ 5	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	6.8	28.5	
	20 : 1	เขียวเข้ม	*	OS และผงถ่าน	*	*	เขียวเข้ม	*	OS และผงถ่าน	*	*	เขียวเข้ม	*	OS และผงถ่าน	*	*	มีฟองอากาศผุดขึ้นมาจากถ่าน
	20 : 2	เขียวเข้ม	*	OS และผงถ่าน+	*	*	เขียวเข้ม	*	OS และผงถ่าน+	*	*	เขียวเข้ม	*	OS และผงถ่าน+	*	*	”
	20 : 3	เขียวเข้ม	*	OS และผงถ่าน++	*	*	เขียวเข้ม	*	OS และผงถ่าน++	*	*	เขียวเข้ม	*	OS และผงถ่าน++	*	*	”
	20 : 4	เขียวเข้ม	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	เขียวเข้ม	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	เขียวเข้ม	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	”
1	20 : 0	เขียวอมเหลือง	*	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	*	*	เขียวอมเหลือง	*	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	*	*	เขียวอมเหลือง	*	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	*	*	สารอินทรีย์ติดอยู่ข้างหลอด
	20 : 1	เขียวอมเหลือง	*	OS และผงถ่าน	*	*	เขียวอมเหลือง	*	OS และผงถ่าน	*	*	เขียวอมเหลือง	*	OS และผงถ่าน	*	*	ผงถ่านเริ่มตกตะกอน
	20 : 2	เหลืองอมเขียว	*	OS และผงถ่าน+	*	*	เหลืองอมเขียว	*	OS และผงถ่าน+	*	*	เหลืองอมเขียว	*	OS และผงถ่าน+	*	*	”
	20 : 3	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน++	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน++	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน++	*	*	”
	20 : 4	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	”

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ) ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้สนประดิพัทธ์ กับน้ำทิ้งจากใต้แฟลตตำรวจบางมด เขตจอมทอง กรุงเทพฯ

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำ : ถ่านกัมมันต์ (ml : g)	ลักษณะของน้ำทิ้ง															หมายเหตุ
		ซ้ำ 1					ซ้ำ 2					ซ้ำ 3					
		สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	
2	20 : 0	เขียวอมเหลือง	*	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	*	*	เขียวอมเหลือง	*	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	*	*	เขียวอมเหลือง	*	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	*	*	สารอินทรีย์ติดอยู่ข้างหลอด
	20 : 1	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน	*	*	เหลืองเข้มใส	*	OS และผงถ่าน	*	*	เหลืองเข้มใส	*	OS และผงถ่าน	*	*	ผงถ่านตกตะกอนเพิ่มขึ้น
	20 : 2	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+	*	*	”
	20 : 3	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน++	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน++	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน++	*	*	”
	20 : 4	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	”
3	20 : 0	เหลืองใส	*	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	*	*	สารอินทรีย์ติดอยู่ข้างหลอด
	20 : 1	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน	*	*	ผงถ่านตกตะกอนเพิ่มขึ้น
	20 : 2	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+	*	*	”
	20 : 3	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน++	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน++	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน++	*	*	”
	20 : 4	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	”

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ) ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้สนประดิพัทธ์ กับน้ำทิ้งจากใต้แฟลตตำรวจบางมด เขตจอมทอง กรุงเทพฯ

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำ : ถ่านกัมมันต์ (ml : g)	ลักษณะของน้ำทิ้ง															หมายเหตุ
		ซ้ำ 1					ซ้ำ 2					ซ้ำ 3					
		สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	
4	20 : 0	เหลืองใส	*	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	*	*	สารอินทรีย์ติดอยู่ข้างหลอด
	20 : 1	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน	*	*	ผงถ่านตกตะกอนเพิ่มขึ้น
	20 : 2	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+	*	*	”
	20 : 3	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน++	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน++	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน++	*	*	”
	20 : 4	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	”
5	20 : 0	เหลืองใส	*	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	*	*	สารอินทรีย์ติดอยู่ข้างหลอด
	20 : 1	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน	*	*	ผงถ่านตกตะกอนเพิ่มขึ้น
	20 : 2	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+	*	*	”
	20 : 3	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน++	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน++	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน++	*	*	”
	20 : 4	เหลืองใส+	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	เหลืองใส+	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	เหลืองใส	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	”

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ) ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้สนประดิพัทธ์ กับน้ำทิ้งจากใต้แฟลตตำรวจบางมด เขตจอมทอง กรุงเทพฯ

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำ : ถ่านกัมมันต์ (ml : g)	ลักษณะของน้ำทิ้ง															หมายเหตุ
		ซ้ำ 1					ซ้ำ 2					ซ้ำ 3					
		สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	
6	20 : 0	เหลืองใส	*	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	*	*	เหลืองใส	*	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	*	*	สารอินทรีย์ติดอยู่ข้างหลอด
	20 : 1	เหลืองใส+	*	OS และผงถ่าน	*	*	เหลืองใส+	*	OS และผงถ่าน	*	*	เหลืองใส+	*	OS และผงถ่าน	*	*	ผงถ่านตกตะกอนเพิ่มขึ้น
	20 : 2	เหลืองใส+	*	OS และผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส+	*	OS และผงถ่าน+	*	*	เหลืองใส+	*	OS และผงถ่าน+	*	*	”
	20 : 3	เหลืองใส+	*	OS และผงถ่าน++	*	*	เหลืองใส+	*	OS และผงถ่าน++	*	*	เหลืองใส+	*	OS และผงถ่าน++	*	*	”
	20 : 4	เหลืองใส+	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	เหลืองใส+	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	เหลืองใส+	*	OS และผงถ่าน+++	*	*	”
24	20 : 0	เหลืองใส	ระดับ 4	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	6.9	27.7	เหลืองใส	ระดับ 4	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	6.9	27.3	เหลืองใส	ระดับ 4	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	6.9	28.0	สารอินทรีย์ติดอยู่ข้างหลอด
	20 : 1	เหลืองใส++	ระดับ 3	OS และผงถ่าน	7.7	27.9	เหลืองใส+	ระดับ 3	OS และผงถ่าน	7.8	27.3	เหลืองใส++	ระดับ 3	OS และผงถ่าน	7.8	28.4	”
	20 : 2	เหลืองใส++	ระดับ 2	OS และผงถ่าน	8.1	28.2	เหลืองใส+	ระดับ 2	OS และผงถ่าน	8.0	28.1	เหลืองใส++	ระดับ 2	OS และผงถ่าน	8.1	28.3	”
	20 : 3	เหลืองใส++	ระดับ 1	OS และผงถ่าน	8.3	28.2	เหลืองใส+	ระดับ 1	OS และผงถ่าน	8.2	28.1	เหลืองใส++	ระดับ 1	OS และผงถ่าน	8.4	28.6	”
	20 : 4	ใส	ระดับ 1	OS และผงถ่าน	8.3	28.2	ใส	ระดับ 1	OS และผงถ่าน	8.3	28.1	ใส	ระดับ 1	OS และผงถ่าน	8.5	28.6	”

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ) ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้สนประดิพัทธ์ กับน้ำทิ้งจากใต้แฟลตตำรวจบางมด เขตจอมทอง กรุงเทพฯ

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำ : ถ่านกัมมันต์ (ml : g)	ลักษณะของน้ำทิ้ง															หมายเหตุ
		ซ้ำ 1					ซ้ำ 2					ซ้ำ 3					
		สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	
48	20 : 0	เหลืองใส	ระดับ 3	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	6.9	29.3	เหลืองใส	ระดับ 2	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	7.0	29.5	เหลืองใส	ระดับ 3	แขวนลอยสารอินทรีย์ (OS)	6.9	29.4	สารอินทรีย์ติดอยู่ข้างหลอด
	20 : 1	เหลืองใส++	ระดับ 1	OS และผงถ่าน	7.9	32.2	เหลืองใส++	ระดับ 1	OS และผงถ่าน	7.8	28.7	เหลืองใส++	ระดับ 1	OS และผงถ่าน	7.8	29.4	”
	20 : 2	ใส	ระดับ 1	OS และผงถ่าน	8.1	31.9	เหลืองใส++	ระดับ 1	OS และผงถ่าน	8.0	27.6	เหลืองใส++	ระดับ 1	OS และผงถ่าน	8.1	26.8	”
	20 : 3	ใส	ระดับ 1	OS และผงถ่าน	8.4	31.2	ใส	ระดับ 1	OS และผงถ่าน	8.2	27.0	ใส	ระดับ 1	OS และผงถ่าน	8.4	26.4	”
	20 : 4	ใส+	ระดับ 1	OS และผงถ่าน	8.4	31.0	ใส+	ระดับ 1	OS และผงถ่าน	8.3	26.8	ใส	ระดับ 1	OS และผงถ่าน	8.5	26.3	”

หมายเหตุ OS หมายถึง Organic Suspension แขวนลอยสารอินทรีย์

T หมายถึง อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส), + หมายถึงมีระดับดีขึ้น, เพิ่มขึ้น - หมายถึงมีระดับลดลง และ * หมายถึงไม่ได้มีการทดสอบ

ตารางผนวกที่ 4 ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่รวก จังหวัดราชบุรี กับน้ำสีสังเคราะห์และแต่งกลิ่นมะลิ

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำ : ถ่านกัมมันต์ (ml : g)	ลักษณะของน้ำสีสังเคราะห์															หมายเหตุ
		ซ้ำ 1					ซ้ำ 2					ซ้ำ 3					
		สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	
0	40 : 0	ฟ้า	ระดับ 4	ไม่มี	8	*	ฟ้า	ระดับ 4	ไม่มี	8	*	ฟ้า	ระดับ 4	ไม่มี	8	*	
	40 : 2	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	
	40 : 4	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	
	40 : 6	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	
	40 : 8	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	
	40 : 10	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	
1	40 : 0	ฟ้า	*	ไม่มี	*	*	ฟ้า	*	ไม่มี	*	*	ฟ้า	*	ไม่มี	*	*	
	40 : 2	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	
	40 : 4	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	
	40 : 6	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	
	40 : 8	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	
	40 : 10	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ) ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่รวก จังหวัดราชบุรี กับน้ำสีสังเคราะห์และแต่งกลิ่นมะลิ

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำ : ถ่านกัมมันต์ (ml : g)	ลักษณะของน้ำทิ้ง															หมายเหตุ
		ซ้ำ 1					ซ้ำ 2					ซ้ำ 3					
		สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	
2	40 : 0	ฟ้า	*	ไม่มี	*	*	ฟ้า	*	ไม่มี	*	*	ฟ้า	*	ไม่มี	*	*	
	40 : 2	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ผงถ่านเริ่มตกตะกอน
	40 : 4	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	”
	40 : 6	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	”
	40 : 8	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	”
	40 : 10	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	
3	40 : 0	ฟ้า	*	ไม่มี	*	*	ฟ้า	*	ไม่มี	*	*	ฟ้า	*	ไม่มี	*	*	
	40 : 2	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ผงถ่านตกตะกอนเพิ่มขึ้น
	40 : 4	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	”
	40 : 6	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	”
	40 : 8	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ฟ้าใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ฟ้าใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	”
	40 : 10	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้าใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้าใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ) ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่รวก จังหวัดราชบุรี กับน้ำสีสังเคราะห์และแต่งกลิ่นมะลิ

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำ : ถ่านกัมมันต์ (ml : g)	ลักษณะของน้ำทิ้ง															หมายเหตุ
		ซ้ำ 1					ซ้ำ 2					ซ้ำ 3					
		สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	
4	40 : 0	ฟ้า	*	ไม่มี	*	*	ฟ้า	*	ไม่มี	*	*	ฟ้า	*	ไม่มี	*	*	
	40 : 2	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ผงถ่านตกตะกอนเพิ่มขึ้น
	40 : 4	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	”
	40 : 6	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	”
	40 : 8	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ฟ้าใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ฟ้าใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	”
	40 : 10	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้าใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้าใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	
5	40 : 0	ฟ้า	*	ไม่มี	*	*	ฟ้า	*	ไม่มี	*	*	ฟ้า	*	ไม่มี	*	*	
	40 : 2	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ผงถ่านตกตะกอนเพิ่มขึ้น
	40 : 4	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	”
	40 : 6	ฟ้า	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	”
	40 : 8	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ฟ้าใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ฟ้าใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	”
	40 : 10	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้าใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้าใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ) ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่รวก จังหวัดราชบุรี กับน้ำสีสังเคราะห์และแต่งกลิ่นมะลิ

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำ : ถ่านกัมมันต์ (ml : g)	ลักษณะของน้ำทิ้ง															หมายเหตุ
		ซ้ำ 1					ซ้ำ 2					ซ้ำ 3					
		สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	
6	40 : 0	ฟ้า	*	ไม่มี	*	*	ฟ้า	*	ไม่มี	*	*	ฟ้า	*	ไม่มี	*	*	
	40 : 2	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน	*	*	ผงถ่านตกตะกอนเพิ่มขึ้น
	40 : 4	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	”
	40 : 6	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน+	*	*	”
	40 : 8	ฟ้าใส	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ฟ้าใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	ฟ้าใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน++	*	*	”
	40 : 10	ฟ้าใส+	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้าใส++	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	ฟ้าใส++	*	แขวนลอยผงถ่าน+++	*	*	”
24	40 : 0	ฟ้า	ระดับ 4	ไม่มี	8	*	ฟ้า	ระดับ 4	ไม่มี	8	*	ฟ้า	ระดับ 4	ไม่มี	8	*	
	40 : 2	ใสอมฟ้า	ระดับ 3	ไม่มี	8	*	ใสอมฟ้า	ระดับ 3	ไม่มี	8.5	*	ใสอมฟ้า	ระดับ 3	ไม่มี	8	*	ถ่านตกตะกอนหมด
	40 : 4	ใสอมฟ้า	ระดับ 2	ไม่มี	9	*	ใสอมฟ้า	ระดับ 2	ไม่มี	8.5	*	ใสอมฟ้า	ระดับ 2	ไม่มี	8.5	*	”
	40 : 6	ใส	ระดับ 1	ไม่มี	9	*	ใส	ระดับ 1	ไม่มี	9	*	ใส	ระดับ 1	ไม่มี	9	*	”
	40 : 8	ใส	ไม่มี	ไม่มี	10	*	ใส	ไม่มี	ไม่มี	9.5	*	ใส	ไม่มี	ไม่มี	9	*	”
	40 : 10	ใส	ไม่มี	ไม่มี	10	*	ใส	ไม่มี	ไม่มี	9.5	*	ใส	ไม่มี	ไม่มี	10	*	”

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ) ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่รวก จังหวัดราชบุรี กับน้ำสีสังเคราะห์และแต่งกลิ่นมะลิ

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำ : ถ่านกัมมันต์ (ml : g)	ลักษณะของน้ำทิ้ง															หมายเหตุ
		ซ้ำ 1					ซ้ำ 2					ซ้ำ 3					
		สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	สี	กลิ่น	ความขุ่น	pH	T	
48	40 : 0	ฟ้า	ระดับ 4	ไม่มี	8	*	ฟ้า	ระดับ 4	ไม่มี	8	*	ฟ้า	ระดับ 4	ไม่มี	8	*	
	40 : 2	ใส	ระดับ 3	ไม่มี	8	*	ใส	ระดับ 3	ไม่มี	8.5	*	ใส	ระดับ 3	ไม่มี	8	*	ถ่านตกตะกอนหมด
	40 : 4	ใส	ระดับ 2	ไม่มี	9	*	ใส	ระดับ 2	ไม่มี	8.5	*	ใส	ระดับ 2	ไม่มี	8.5	*	”
	40 : 6	ใส+	ระดับ 1	ไม่มี	9	*	ใส+	ระดับ 1	ไม่มี	9	*	ใส+	ระดับ 1	ไม่มี	9	*	”
	40 : 8	ใส++	ไม่มี	ไม่มี	10	*	ใส++	ไม่มี	ไม่มี	10	*	ใส	ไม่มี	ไม่มี	9	*	”
	40 : 10	ใส++	ไม่มี	ไม่มี	10	*	ใส++	ไม่มี	ไม่มี	10	*	ใส++	ไม่มี	ไม่มี	10	*	”

หมายเหตุ T หมายถึงอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส), + หมายถึงมีระดับดีขึ้น, - หมายถึงมีระดับลดลง และ * หมายถึงไม่ได้มีการทดสอบ