บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผล

สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและการประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีย้อมและโลหะหนักในน้ำ เป็นการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากแกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และเปลือกลูกยางพาราซึ่งศึกษาจากค่าไอโอดีนนัมเบอร์ โดยคาร์บอไนซ์ที่ช่วงอุณหภูมิ 400, 600 และ 800 °C วิธีการกระตุ้นทางเคมี แล้วกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 50% ที่อัตราส่วนของถ่าน: สารเคมี (w/w) เท่ากับ 1: 1, 1: 2 และ 1: 3 เผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 600, 700 และ800 °C และศึกษาเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อม เมททิลไวโอเลต (Methyl Violet) มาลาไคท์กรีน (Malachite Green) คองโกเรด (Congo Red) และโรดาไมด์ บี (Rhodamine - B) โลหะหนักตะกั่ว (Lead) แคดเมียม (Cadmium) สังกะสี (Zinc) และทองแดง (Copper) ที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 10, 20 และ 30 ppm โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากแกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และเปลือกลูกยางพารา แล้วเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ผลิตจากกะลาปาล์ม หลังจากการทำการทดลองสามารถสรุปผลได้ ดังนี้

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากแกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อยไม้ยางพาราและเปลือกลูกยางพาราด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี

1. การศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการคาร์บอไนซ์

ค่าไอโอดีนนัมเบอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์เพิ่มขึ้น และความแตกต่างของค่าไอโอดีนนัมเบอร์ขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุของถ่านกัมมันต์และอุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. การศึกษาอัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น

อัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นไม่มีผลทำให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์แตกต่างกัน ($p < 0.05$)

3. การศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น

ค่าไอโอดีนนัมเบอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเผากระตุ้นเพิ่มขึ้น และความแตกต่างของค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุของถ่านกัมมันต์และอุณหภูมิในการเผากระตุ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การศึกษาเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมและโลหะหนักโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากแกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และเปลือกลูกยางพารา และเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ผลิตจากกะลาปาล์ม

1. การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อม

เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลต (Methyl Violet) มาลาไคท์กรีน (Malachite Green) คองโกเรด (Congo Red) และสีย้อมโรดาไมด์ บี (Rhodamine - B) ขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุของถ่านกัมมันต์และความเข้มข้นของสีย้อม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะหนัก

เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับโลหะหนักแคดเมียม (Cadmium) สังกะสี (Zinc) ทองแดง (Copper) และตะกั่ว (Lead) ขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุของถ่านกัมมันต์และความเข้มข้นของโลหะหนัก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากแกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อยไม้ยางพาราและเปลือกลูกยางพาราด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี

1. การศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการคาร์บอไนซ์

จากการทดลอง การคาร์บอไนซ์แกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และเปลือกลูกยางพาราที่อุณหภูมิ 400, 600 และ 800 °C พบว่าค่าไอโอดีนนัมเบอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้สารอินทรีย์ที่อยู่ในแกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และเปลือกลูกยางพารา สามารถถูกเผาไหม้ได้มากขึ้น (พลัฏฐ์ โสภณากิจโกศล, 2544) และมีคาร์บอนคงตัวหรือโครงสร้างหลักของถ่านกัมมันต์มากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ลดลงได้ เพราะทำให้สูญเสียคาร์บอนเป็นจำนวนมาก ทำให้เปอร์เซ็นต์ของเถ้าในถ่านมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าไอโอดีนนัมเบอร์จึงลดลง และยังทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายอีกด้วย โดยการคาร์บอไนซ์นั้น ในระยะแรกของการเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นถึง 170 °C วัตถุดิบจะถูกทำให้แห้ง เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้โครงสร้างของวัตถุดิบที่ระเหยง่ายเริ่มต้นสลายตัว บางส่วนมีคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์และกรดออกมา เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 270 - 280 °C โครงสร้างของวัตถุดิบจะเกิดการสลายตัวมากขึ้นพร้อมทั้งให้ความร้อน ระหว่างนี้จะเกิดมีน้ำมันดินและสารอื่น ๆ เป็นจำนวนมาก การเผาเป็นถ่านจะเกิดที่อุณหภูมิประมาณ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

300 - 400 °C ในระหว่างการเผาให้เป็นถ่าน (Carbonization) องค์ประกอบของไฮโดรเจนและออกซิเจนในสารจะถูกไล่ออกกลายเป็นก๊าซ โมเลกุลของถ่านจะเปลี่ยนเป็นรูปผลึกและมีน้ำมันดินซึ่งเกิดจากการแตกสลายของคาร์บอนไปอุดตามช่องรูของคาร์บอน ทำให้ความสามารถในการดูดซับไม่ดี (สุโรชินี สกุลดวงดี, 2545) ดังนั้นจึงควรมีการนำวัสดุที่ผ่านการคาร์บอไนซ์แล้วไปทำการกระตุ้นเพื่อให้สามารถดูดซับสารต่าง ๆ ได้มากขึ้น

2. การศึกษาอัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น

เมื่อนำถ่านที่ผ่านการคาร์บอไนซ์แล้วมากระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก 50% ที่อัตราส่วนของถ่าน: สารเคมี (w/w) เท่ากับ 1: 1, 1: 2 และ 1: 3 เผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 °C พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ คือ ที่อัตราส่วนของถ่าน: สารเคมี (w/w) เท่ากับ 1: 1 อุณหภูมิในการกระตุ้นเท่ากับ 800 °C เนื่องจากอัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นไม่มีผลทำให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์แตกต่างกัน ($p < 0.05$) ทำให้ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและสารเคมี ซึ่งการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของณัฐยา พูนสุวรรณ (2545) ที่ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก พบว่า ที่อุณภูมิในการกระตุ้นสูงกว่า 500 °C อัตราส่วนของถ่าน: สารเคมีเท่ากับ 1: 0.5, 1: 1 และ 1: 1.5 ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์มีแนวโน้มคงที่ แต่ถ้าอุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำกว่า 500 °C ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยการแช่ถ่านที่ผ่านการคาร์บอไนซ์ที่ 800 °C ด้วยกรดฟอสฟอริก 50% นั้น ระหว่างการแช่วัตถุดิบด้วยกรดฟอสฟอริก กรดจะเข้าไปในสารประกอบลิกนินและเซลลูโลสทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและโครงสร้างรวมทั้งการขจัดน้ำ (Dehydration) ออกจากโมเลกุล บริเวณที่เป็นไบโอพอลิเมอร์ (Biopolymer) ก็จะเกิดการสลายตัวของอนุภาคกรดและลิกนินกับเซลลูโลสที่เชื่อมต่อกันอยู่ก็จะแยกออกจากกัน แล้วเกิดปฏิกิริยารวมกันใหม่ เป็นโครงสร้างตาข่ายแข็งจำนวนมาก และเมื่อนำไปเผากระตุ้นก็จะทำให้ลดน้ำมันดินและสารระเหยต่าง ๆ ที่ตกค้างอยู่ตามรูพรุน ทำให้เกิดโครงสร้างเป็นรูพรุนจำนวนมาก (Girgis & Hendawy, 2002) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้น เนื่องจากกรดฟอสฟอริกเป็นสารที่มีความสามารถในการทำละลายสูง ทำให้สามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างของวัตถุดิบได้อย่างสม่ำเสมอ จากการศึกษาของนักวิจัยหลายกลุ่ม พบว่าการใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้นในการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลนั้นทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสเกิดความเสถียรและองค์ประกอบของฟอสเฟตยังทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสเกิดการขยายตัว ส่งผลให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างหลังจากการให้ความร้อน (ณัฐยา พูนสุวรรณ, 2545)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3. การศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น

จากการทดลอง ค่าไอโอดีนนัมเบอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเผากระตุ้นเพิ่มขึ้น และความแตกต่างของค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุของถ่านกัมมันต์และอุณหภูมิในการเผากระตุ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) งานวิจัยที่สนุบสนุนการทดลองนี้ ได้แก่ พลัฏฐ์ โสภณากิจโกศล (2544) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 50% ที่อัตราส่วนของถ่าน: สารเคมี (w/w) เท่ากับ 1: 1 เผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 500, 600, 700 และ 800 °C พบว่า ค่าไอโอดีนนัมเบอร์เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเผากระตุ้นเพิ่มขึ้น และณัฐยา พูนสุวรรณ (2545) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกร้อยละ 50 โดยน้ำหนักที่อัตราส่วนของถ่าน: สารเคมีเท่ากับ 1: 1 และ 1: 1.5 พบว่าค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการเผากระตุ้นเพิ่มขึ้นเช่นกัน และ Girgis and Hendawy (2002) ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดอินทผลัมโดยกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 50% แล้วเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 300, 500 และ 700 °C พบว่า ที่อุณหภูมิในการเผากระตุ้นเพิ่มขึ้น 300 – 500 °C ค่าไอโอดีนนัมเบอร์จะเพิ่มขึ้นจาก 203 mg/g เป็น 518 mg/g ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการกระตุ้นเป็น 700 °C จะทำให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ลดลงเหลือ 508 mg/g ส่วน Oh and Park (2002) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากฟางข้าวแต่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่อัตราส่วนฟางข้าว: สารเคมีเท่ากับ 4: 1 พบว่าในช่วงการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 600 – 900 °C จะทำให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์จะเพิ่มขึ้น แต่ค่าไอโอดีนนัมเบอร์จะลดลงที่อุณหภูมิในการกระตุ้นสูงกว่า 900 °C

จากการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากแกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และเปลือกลูกยางพารา ได้คัดเลือกถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 50% ที่อัตราส่วนของถ่าน: สารเคมี (w/w) เท่ากับ 1: 1 เผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 °C ไปทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมและโลหะหนักต่อไป โดยถ่านกัมมันต์จากแกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และเปลือกลูกยางพารามีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 385, 690, 689 และ 719 mg/g ตามลำดับ ซึ่งค่าไอโอดีนนี้เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญในการประเมินความสามารถของถ่านกัมมันต์ในการดูดติดผิวสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (10 - 28 A°) หรืออนุภาคสารที่มีขนาดโมเลกุลมากกว่าหรือเท่ากับ 1 นาโนเมตร (Girgis and Hendawy, 2002) และค่าไอโอดีนนัมเบอร์นี้ยังเป็นตัวกำหนดในอุตสาหกรรมด้วย โดยมาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดให้ถ่านกัมมันต์ต้องมีค่าไอโอดีนไม่ต่ำกว่า 600 mg/g จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์จากแกลบเพียงชนิดเดียวที่ไม่ผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังมีสภาวะที่สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ได้เกินมาตรฐานอุตสาหกรรมอีก คือ ที่อัตราส่วน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ของถ่าน: สารเคมี (w/w) เท่ากับ 2: 1 และ 3: 1 เผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 °C ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 668 และ 662 mg/g ตามลำดับ ถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพารามีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 681 และ 724 mg/g ตามลำดับ และถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกยางพารา มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 703 และ 728 mg/g ตามลำดับ นอกจากนี้ที่สภาวะอัตราส่วนของถ่าน: สารเคมี (w/w) เท่ากับ 2: 1 และ 3: 1 เผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 °C ถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพารายังมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เกินมาตรฐานอุตสาหกรรมอีกด้วย ซึ่งมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 631 และ 625 mg/g ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 27 ดังนั้น ขี้เลื่อยไม้ยางพาราจึงเหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์มากที่สุด เพราะหาได้ตลอดทั้งปี และยังไม่มีการนำขี้เลื่อยไม้ยางพารามาใช้ประโยชน์กันมากนัก รองลงมา คือ เปลือกลูกยางพารา ซึ่งมีผลผลิตช่วงเดือนมิถุนายน - สิงหาคม และกะลามะพร้าว ตามลำดับ โดยกะลามะพร้าวสามารถหาได้ตลอดทั้งปีเช่นเดียวกับขี้เลื่อยไม้ยงพารา ซึ่งต้นยางพาราและต้นมะพร้าวยังมีการเพาะปลูกกันมากในภาคใต้และภาคตะวันออก จึงมีวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ได้จำนวนมาก แต่แกลบยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ เพราะมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ต่ำกว่ามาตรฐานอุตสาหกรรม อาจจะมีการพัฒนาการผลิตถ่านกัมมันต์จากแกลบให้มากขึ้น เพื่อให้สามารถมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงกว่ามาตรฐานอุตสาหกรรม ส่วนงานวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์ของพลัฏฐ์ โสภณากิจโกศล (2544) ผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว และณัฐยา พูนสุวรรณ (2545) ผลิตถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย แล้วกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก 50% มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงถึง 1,050 และ 1,043 mg/g ตามลำดับดับ ซึ่งสูงกว่างานวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากงานวิจัยของพลัฏฐ์ โสภณากิจโกศล (2544) และณัฐยา พูนสุวรรณ (2545) มีเตาเผาที่มีประสิทธิภาพมากกว่า และยังสามารถเติมก๊าซไนโตรเจนในขณะเผาถ่านกัมมันต์ได้อีกด้วย ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากกว่าและมีปริมาณเถ้าน้อย และการผลิตถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยของมานพ ติระรัตนสมโภช (2545) ซึ่งผลิตถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยเช่นกันก็มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงกว่างานวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากใช้ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เป็นสารกระตุ้น จะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ทำให้มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงตามไปด้วย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 27 ถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพารา เปลือกลูกยางพารา และกะลามะพร้าวที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงกว่ามาตรฐานอุตสาหกรรม

วัสดุถ่านกัมมันต์	อัตราส่วนถ่าน: สารเคมี (w/w)	อุณหภูมิที่เผากระตุ้น (°C)	Iodine Number (mg/g)
ขี้เลื่อยไม้ยางพารา	1:1	700	617
		800	689
	1:2	700	631
		800	681
	1:3	700	625
		800	724
เปลือกลูกยางพารา	1:1	800	719
	1:2	800	703
	1:3	800	728
กะลามะพร้าว	1:1	800	690
	1:2	800	668
	1:3	800	662

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 28 ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของการถ่านกัมมันต์จากวัสดุต่าง ๆ

วัสดุถ่านกัมมันต์	การกระตุ้น	Iodine Number (mg/g)	อ้างอิง
กะลามะพร้าว	กรดฟอสฟอริก 50%	1,050	พลัฏฐ์ โสภณากิจโกศล (2544)
ชานอ้อย	กรดฟอสฟอริก 50%	1,043	ณัฐยา พูนสุวรรณ (2545)
เมล็ดอินทผลัม (Date Pits)	กรดฟอสฟอริก 50%	508	Girgis and Hendawy (2002)
ขี้เลื่อยไม้ยางพารา (Rubber Wood Sawdust)	กรดฟอสฟอริก	795	Kalavathy et al. (2005)
ฟางข้าว (Rice – Straw - Based)	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)	1,720	Oh and Park (2002)
ต้นปาล์มน้ำมัน	กระตุ้นด้วยไอน้ำ	404	สุรชัย สุวรรณแสงชูโต (2542)
กะลาปาล์มน้ำมัน	กระตุ้นด้วยไอน้ำ	326	ภัทรา ปัญญวัฒนกิจ (2540)
เปลือกทุเรียน	เกลือแกง (NaCl)	567	ลลิดา นิทัศนจารุกุล (2544)
เปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์	เกลือแกง (NaCl)	523	ลลิดา นิทัศนจารุกุล (2544)
เปลือกถั่ว (Groundnut Shell)	ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)	500	Malik, Ramteke and Wate (2006)
ขี้เลื่อย	ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)	1,021	มานพ ติระรัตนสมโภช (2545)
กาบมะพร้าว (Coir Pith)	ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)	203	Namasivayam and Sangeetha (2006)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การศึกษาเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมและโลหะหนักโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากแกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อยไม้ยางพาราและเปลือกลูกยางพารา และเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ผลิตจากกะลาปาล์ม

1. การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อม (Dyes)

1.1 การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมเมททิลไวโอเลต (Methyl Violet)

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพารามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับดีกว่าถ่านกัมมันต์จากแกลบ รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกยางพารา การค้า และกะลามะพร้าว ตามลำดับ ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับสีย้อมเมททิลไวโอเลต (Methyl Violet) ดีกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า ยกเว้นถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

Kadirvelu et al. (2003) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยต้นมะพร้าว (Coconut Tree Saw Dust) และปาล์ม (Sago Waste) มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเมททิลไวโอเลต (Methyl Violet) ที่ระดับความเข้มข้น 25 ppm เวลา 1 ชม. เท่ากับ 93.00 และ 85.00% ตามลำดับ

1.2 การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมมาลาไคท์กรีน (Malachite Green)

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพารามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับดีกว่าถ่านกัมมันต์จากแกลบ รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากการค้า เปลือกลูกยางพารา และกะลามะพร้าว ตามลำดับ ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์กรีน (Malachite Green) ดีกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า ยกเว้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกยางพารา และกะลามะพร้าว

Rajeshwarisivaraj et al. (2001) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกมันสำปะหลังโดยการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) แล้วดูดซับมาลาไคท์กรีน (Malachite Green) โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 500 มิลลิกรัม ปริมาตรสีย้อม 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 ชม. พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 100% แต่ถ้าไม่ได้กระตุ้นเปลือกมันสำปะหลังด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 100% เช่นกัน

1.3 การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมคองโกเรด (Congo Red)

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพารามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับดีกว่าถ่านกัมมันต์จากการค้า รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากแกลบ กะลามะพร้าว และเปลือกลูกยางพารา ตามลำดับ ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากขี้เลื่อยเพียงชนิดเดียวเท่านั้นที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมคองโกเรด (Congo Red) ดีกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า

Kadirvelu et al. (2003) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยต้นมะพร้าว (Coconut Tree Saw Dust) เปลือกข้าวโพด (Maize Cop) และปาล์ม (Sago Waste) มีเปอร์เซ็นต์การ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ดูดซับคองโกเรด (Congo Red) ที่ระดับความเข้มข้น 25 ppm เวลา 1 ชม. เท่ากับ 4.70, 50.00 และ 11.00% ตามลำดับ และ Namasivayam and Sangeetha (2006) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกาบมะพร้าว (Coir Pith) ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) แล้วดูดซับคองโกเรด (Congo Red) ที่ระดับความเข้มข้น 20 ppm พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การดูดซับ 93.00%

1.4 การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมโรดาไมด์ บี (Rhodamine - B)

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพารามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับดีกว่าถ่านกัมมันต์จากแกลบและทางการค้า ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับไม่แตกต่างกัน รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว และเปลือกลูกยางพารา ตามลำดับ ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับสีย้อมโรดาไมด์ บี (Rhodamine - B) ดีกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า ยกเว้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกยางพารา และกะลามะพร้าว

Namasivayam and Sangeetha (2006) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกาบมะพร้าว (Coir Pith) ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) แล้วดูดซับโรดาไมด์ บี (Rhodamine - B) ที่ระดับความเข้มข้น 20 ppm พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การดูดซับ 98.00% ส่วน Kadirvelu et al. (2003) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยต้นมะพร้าว (Coconut Tree Saw Dust) เปลือกข้าวโพด (Maize Cop) และปาล์ม (Sago Waste) มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับโรดาไมด์ บี (Rhodamine - B) ที่ระดับความเข้มข้น 25 ppm เวลา 1 ชม. เท่ากับ 5.00, 95.30 และ 25.30% ตามลำดับ และ Rajeshwarisivaraj et al. (2001) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกมันสำปะหลังโดยการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) แล้วดูดซับโรดาไมด์ บี (Rhodamine - B) โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 500 มิลลิกรัม ปริมาตรสีย้อม 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 ชม. พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 99.00% แต่ถ้าไม่ได้กระตุ้นเปลือกมันสำปะหลังด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 94.20%

เนื่องจากถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับสีย้อมได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุของถ่านกัมมันต์ และชนิดของสีย้อม แม้จะเป็นสีย้อมประเภทเดียวกันแต่เมื่อโทนสีแตกต่างกัน องค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีก็จะแตกต่างกันไปด้วยทำให้เปอร์เซ็นต์ในการดูดติดสีของถ่านกัมมันต์แตกต่างกันไปในแต่ละโทนสี (จุฑารัตน์ อรรคธรรม, 2546) ดังเช่นในการทดลองนี้จะเห็นว่าสีย้อมคองโกเรดมีเปอรเซ็นต์ในการดูดซับต่ำกว่าสีย้อมชนิดอื่น ๆ เนื่องจากมีโครงสร้างโมเลกุลไม่มีขั้ว จึงถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่มีขั้วได้น้อย หรือขนาดของรูพรุนที่เหมาะสมต่อขนาดของอนุภาคสีย้อมบนถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดแตกต่างกัน จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับไม่เท่ากัน ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวเป็นไปในทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Kadirveru et al. (2003) ซึ่งถ่านกัมมันต์จากเปลือกฝ้าย (Silk Cotton) มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับคองโกเรด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

(Congo Red) และเมททิลไวโอเลต (Methyl Violet) ที่ระดับความเข้มข้น 25 ppm เท่ากับ 93.00 และ 72.00% ตามลำดับ แต่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับโรดาไมด์ บี (Rhodamine - B) 4.10% ส่วนถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยต้นมะพร้าว (Coconut Tree Saw Dust) มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับมาลาไคท์กรีน (Malachite Green) และเมททิลไวโอเลต (Methyl Violet) ที่ระดับความเข้มข้น 25 ppm เท่ากับ 91.20 และ 93.00% ตามลำดับ แต่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับโรดาไมด์ บี (Rhodamine - B) และคองโกเรด (Congo Red) เท่ากับ 5.00% และ 4.70% ตามลำดับ และถ่านกัมมันต์จากปาล์ม (Sago Waste) มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับมาลาไคท์กรีน (Malachite Green) และเมททิลไวโอเลต (Methyl Vviolet) และโรดาไมด์ บี (Rhodamine - B) เท่ากับ 77.00, 85.00 และ 95.30% ตามลำดับ แต่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับคองโกเรด (Congo Red) 50.00%

2. การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะหนัก (Heavy Metal)

2.1 การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับแคดเมียม (Cadmium)

ถ่านกัมมันต์จากการค้ามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับดีกว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกยางพารา ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และกะลามะพร้าว ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับไม่แตกต่างกัน รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากแกลบ จะเห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับแคดเมียมต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้าทุกชนิด

Kadirvelu, Thamaraiselvi and Namasivayam (2001) ใช้ถ่านกัมมันต์จากกาบมะพร้าว (Coir Pith) ดูดซับแคดเมียม (II) ที่ pH 4 – 5 พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับเท่ากับ 100% Mohan and Singh (2002) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยที่กระตุ้นด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) แล้วดูดซับแคดเมียม (II) ที่ระดับความเข้มข้น 200 mg/l ที่ pH 4 – 6 พบว่า มีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับเท่ากับ 90.00% และ Wilson et al. (2006) ดูดซับแคดเมียม (II) ที่ระดับความเข้มข้น 20 มิลลิโมล เป็นเวลา 24 ชม. ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกถั่วที่กระตุ้นด้วยไอน้ำ พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับเท่ากับ 0.133 mmol/g

2.2 การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสังกะสี (Zinc)

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกลูกยางพารามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับไม่แตกต่างจากถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และแกลบ รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากการค้า จะเห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทุกชนิดมีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับสังกะสีสูงกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า

Mohan and Singh (2002) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยที่กระตุ้นด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) แล้วดูดซับสังกะสี (II) ที่ระดับความเข้มข้น 200 mg/l ที่ pH 4 – 6 พบว่า มี

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับเท่ากับ 95.00% และ Wilson et al. (2006) ดูดซับสังกะสี (II) ที่ระดับความเข้มข้น 20 มิลลิโมล เป็นเวลา 24 ชม. ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกถั่วที่กระตุ้นด้วยไอน้ำ พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับเท่ากับ 0.211 mmol/g

2.3 การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับทองแดง (Copper)

ถ่านกัมมันต์จากการค้ามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับดีกว่าถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพารา รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากแกลบ เปลือกลูกยางพารา และกะลามะพร้าว จะเห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับแคดเมียมต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้าทุกชนิดเช่นเดียวกับการดูดซับแคดเมียม

ขจรศักดิ์ โสภาจารีย์ และวัชรพล มณีโชติ (2546) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะคาเดเมียที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) แล้วดูดซับทองแดง พบว่า ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น Kalavathy et al. (2005) ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เพื่อดูดซับทองแดง พบว่า มีความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 1.997 mg/g และ Wilson et al. (2006) ดูดซับทองแดง (II) ที่ระดับความเข้มข้น 20 มิลลิโมล เป็นเวลา 24 ชม. ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกถั่วที่กระตุ้นด้วยไอน้ำ พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับเท่ากับ 0.440 mmol/g

2.4 การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับตะกั่ว (Lead)

ถ่านกัมมันต์จากการค้ามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับดีกว่าถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพารา รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกยางพาราและแกลบ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับไม่แตกต่างกัน รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว จะเห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับแคดเมียมต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้าทุกชนิดเช่นเดียวกับการดูดซับแคดเมียม และทองแดง

ขจรศักดิ์ โสภาจารีย์ และวัชรพล มณีโชติ (2546) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะคาเดเมียที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) แล้วดูดซับตะกั่ว พบว่า ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น Wilson et al. (2006) ดูดซับตะกั่ว (II) ที่ระดับความเข้มข้น 20 มิลลิโมล เป็นเวลา 24 ชม. ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกถั่วที่กระตุ้นด้วยไอน้ำ พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับเท่ากับ 0.394 mmol/g Kadirvelu, Thamaraiselvi and Namasivayam (2001) ใช้ถ่านกัมมันต์จากกาบมะพร้าว (Coir Pith) ดูดซับตะกั่ว (II) ที่ pH 4 – 5 พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับเท่ากับ 100%

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เนื่องจากถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุของถ่านกัมมันต์ และชนิดของโลหะหนัก องค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ทำให้เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับของถ่านกัมมันต์แตกต่างกันไป หรือขนาดของรูพรุนที่เหมาะสมต่อขนาดของอนุภาคโลหะหนักบนถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดแตกต่างกัน จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับไม่เท่ากัน เช่นเดียวกับการทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อม

กลไกในการดูดซับสีย้อมและโลหะหนัก

กลไกในการดูดซับสีย้อมเกิดจากการทำปฏิกิริยาของอิเล็กตรอนระหว่างโปรตอนของคาร์บอนและกรดของสี หรือเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างถ่านกัมมันต์และสีย้อม (Namasivayam & Kavitha, 2002) ซึ่งกลไกในการดูดซับนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกับ Mohamed (2004) ที่กล่าวว่า กลไกในการดูดซับสีย้อม เกิดจากโมเลกุลของสีจะหลบหลีกจากของเหลว (Aqueous Phase) หรือเข้าไปแทนที่โมเลกุลของน้ำบริเวณพื้นผิวคาร์บอนใกล้เคียง แล้วถูกดูดซับโดยการกระทำของแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van Der Waals) หรือ แรงไดโพล์ – ไดโพล์ (Dipole - Dipole) ส่วนกลไกในการดูดซับโลหะหนัก Huang and Ostovic (1978) ได้อธิบายถึงกลไกการดูดซับไว้ ดังนี้ ประจุบนพื้นผิว (Surface Charge) ของถ่านกัมมันต์จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าพีเอช (pH) ค่าพีเอชที่ทำให้ประจุบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์เป็นศูนย์ คือ pH_{zpc} ถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดจะมีค่า pH_{zpc} แตกต่างกันออกไป เช่น ถ่านกัมมันต์ F – 400 มี pH_{zpc} เท่ากับ 7.1 พีเอชที่น้อยกว่า pH_{zpc} จะทำให้ประจุบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์เป็นบวก ในทางตรงกันข้าม พีเอชที่มากกว่า pH_{zpc} จะทำให้ประจุบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์เป็นลบ และยังต้องคำนึงถึงชนิดของโลหะหนักที่เปลี่ยนไปตามพีเอชด้วย ในสภาวะกรดแก่ทั้งพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ และชนิดของโลหะหนักจะเป็นบวก จึงมีแรงผลัก (Electrostatic Repulsion) ระหว่างประจุสูง การดูดติดจึงเกิดได้น้อย ในสภาวะด่างแก่ทั้งพื้นผิวของถ่านกัมมันต์และชนิดของโลหะหนักจะเป็นลบ มีแรงผลัก (Electrostatic Repulsion) ระหว่างประจุสูงเช่นกัน การดูดติดจึงเกิดได้น้อย ดังนั้นกลไกในการดูดซับจะเกิดได้ดีที่สุด เมื่อแรงผลักระหว่างพื้นผิวของถ่านกัมมันต์และชนิดของประจุของโลหะหนักมีน้อยที่สุด คือ ระบบจึงมีแรงขับเคลื่อน (Driving Force) ของการดูดซับสูงที่สุด

ความสามารถในการดูดซับสีย้อมและโลหะหนัก

ในการดูดซับสีย้อมนั้นถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพารามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับสีย้อมดีกว่าถ่านกัมมันต์จากทางการค้า รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากแกลบ กะลามะพร้าว และเปลือกลูกยางพารา ซึ่งมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 689, 1,120, 385, 690, และ 719 mg/g ตามลำดับ ส่วนการดูดซับโลหะหนักนั้นถ่านกัมมันต์จากการค้ามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับ

โลหะหนักดีกว่าถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพารา รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากแกลบ เปลือกลูกยางพารา และกะลามะพร้าว ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 1,120, 689, 385, 719 และ 690 mg/g ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความสามารถในการดูดซับสีย้อมและโลหะหนักนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าไอโอดีนนัมเบอร์อย่างเดียว ดังเช่นถ่านกัมมันต์จากการค้ามีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดแต่ไม่สามารถดูดซับสีย้อมได้ดีที่สุด แต่ถ่านกัมมันต์จากแกลบซึ่งมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ต่ำที่สุด แต่สามารถดูดซับสีย้อมได้มากกว่าถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว และเปลือกลูกยางพารา ซึ่งมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงกว่า และถ่านกัมมันต์จากแกลบซึ่งมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ต่ำที่สุด แต่สามารถดูดซับโลหะหนักได้มากกว่าถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว และเปลือกลูกยางพารา ซึ่งมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงกว่า ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าความสามารถในการดูดซับนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าไอโอดีนนัมเบอร์เพียงอย่างเดียว ยังขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิว (Surface Area) ปริมาตรรูพรุน (Pore Volume) โมลาสนัมเบอร์ (Molasses Number) ขนาดของรูพรุน (Pore Size) เป็นต้น เนื่องจากค่าการดูดซับไอโอดีนซึ่งเป็นตัวเลขที่ใช้บอกความสามารถของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับไอโอดีนที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยไอโอดีนจะสามารถจับกับพื้นผิวของรูพรุนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่กว่า 1 นาโนเมตร (Girgis & Hendawy, 2002) ค่าเลขไอโอดีนนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะให้ผลเชิงการค้ามากกว่าเชิงวิทยาศาสตร์ คือ ค่าไอโอดีนที่สูงจะทำให้ราคาของถ่านกัมมันต์มีค่าสูงด้วย ดังนั้นค่าไอโอดีนจึงไม่ใช่ค่าพื้นที่ผิวที่แท้จริง เพราะไม่ได้รวมถึงพื้นที่ผิวภายในรูพรุนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 1 นาโนเมตร พื้นที่ผิวจากการดูดซับไอโอดีนต่างไปจากพื้นที่ผิวที่แท้จริงมากหรือน้อยแตกต่างกันตามแต่ชนิดของถ่านกัมมันต์ (บุญเรือน สรรเพชร, 2543)

เพชร เพ็งชัย (ม.ป.ป.) กล่าวว่า สารที่ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับได้ดีมากบนถ่านกัมมันต์ คือ พลวง (Antimony), สารหนู (Arsenic), บิสมัท (Bismuth), คลอระมีน (Chloramines), คลอไรด์ (Chlorine), โครเมียม (Chromium), สี (Colors), สีย้อม (Dyes), ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide), ยาฆ่าแมลง (Insecticides), กลิ่น (Odors), ยาปราบศัตรูพืช (Pesticides), ฟีนอล (Phenols) ส่วนสารที่สามารถดูดซับได้ปานกลาง ได้แก่ กรดอะซิติก (Acetic Acid), โคบอลท์ (Cobalt), ผงซักฟอก (Detergents), Dissolved Organic Compounds (DOC), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide), ปรอท (Mercury), โอโซน (Ozone), ด่างทับทิม (Potassium Permanganate), เงิน (Silver), สบู่ (Soap), ตัวทำละลาย (Solvents), สารละลายกรด (Vinegar) และสารที่สามารถดูดซับได้น้อย คือ ด่าง (Alkalinity), แอมโมเนีย (Ammonia), แบเรียม (Barium),

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เบริลเลียม (Beryllium), แคดเมียม (Cadmium), คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide), ทองแดง (Copper), เหล็ก (Iron), ปูนขาว (Lime), แมงกานีส (Manganese), โมลิบดินัม (Molybdenum), ไนเตรท (Nitrates), ซีลีเนียม (Selenium), วุลแฟรม (Tungsten), สังกะสี (Zinc) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ คือ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากแกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อยไม้ยางพารา เปลือกลูกยางพารา และถ่านกัมมันต์ทางการค้า มีความสามารถในการดูดซับสีย้อมได้ดี แต่ดูดซับโลหะหนักแคดเมียม สังกะสี ตะกั่ว และทองแดง ได้ไม่ดีนัก ซึ่งสาเหตุในการดูดซับสารแต่ละชนิดไม่เท่ากันยังไม่ทราบแน่ชัด (เพชร เพ็งชัย, ม.ป.ป.) และสารที่ไม่ถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ คือ

ก. โมเลกุลขนาดเล็กที่มีคาร์บอนน้อยกว่า 3 อะตอม

ข. โมเลกุลแบบโพล่าส่วนใหญ่ เช่น น้ำ, แอลกอฮอล์ธรรมดา, กรดอินทรีย์โมเลกุลเล็ก, น้ำตาล (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2539)

นอกจากการประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสีย้อมและโลหะหนักแล้ว ยังมีการนำจุลินทรีย์ต่าง ๆ เช่น แบคทีเรีย (Salehizadeh & Shojaosadati, 2003) เชื้อรา (Prasanjit & Sumathi, 2005) มาใช้ในการกำจัดโลหะหนัก หรือใช้แบคทีเรียร่วมกับรา (รุ่งโรจน์ วงศ์อนุรักษ์ชัย, 2545) มาใช้ในการกำจัดสีย้อม เป็นต้น ซึ่งการใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสีย้อมและโลหะหนักยังมีข้อเสีย คือ จุลินทรีย์เหล่านี้จะอิ่มตัวเร็ว สารที่ถูกดูดซับสามารถหลุดออกได้ง่าย และมีข้อจำกัดในการนำกลับมาใช้ใหม่ (Ahluwalia & Goyal, 2007) ดังนั้นจึงต้องมีการวิจัยและพัฒนาการกำจัดสีย้อมและโลหะหนักที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมให้มีประสิทธิภาพดีต่อไป

3. การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมและโลหะหนักกับถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ผลิตจากกะลาปาล์ม

จากการทดสอบเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับสีย้อมและโลหะหนัก แล้วเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้าซึ่งผลิตจากกะลาปาล์มนั้น ถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพาราสามารถดูดซับสีย้อมได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า แต่ถ่านกัมมันต์ทางการค้าสามารถดูดซับโลหะหนักได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำการวิจัยในครั้งนี้ สิ่งที่แตกต่างกันของถ่านกัมมันต์ทางการค้าและถ่านกัมมันต์ในการวิจัยนี้ คือ กระบวนการในการผลิต เนื่องจากถ่านกัมมันต์ทางการค้าใช้วิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ ซึ่งรายละเอียดในการผลิตไม่ทราบแน่ชัด ส่วนถ่านกัมมันต์ในการวิจัยนี้ใช้วิธีการกระตุ้นทางเคมี (กรดฟอสฟอริก 50%) ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยใช้วิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำมีความเหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักมากกว่าสีย้อม และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยใช้วิธีการกระตุ้นทางเคมี (กรดฟอสฟอริก 50%) มีความเหมาะสมในการดูดซับสีย้อมมากกว่าโลหะหนัก

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ราคาของถ่านกัมมันต์ตามท้องตลาด มีราคา 80 – 100 ขึ้นอยู่กับค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ส่วนถ่านกัมมันต์ในการวิจัยนี้ประมาณกิโลกรัมละ 120 บาท ซึ่งสูงกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้าเล็กน้อย เนื่องจากเป็นราคาในระดับการทดลอง ถ้าผลิตเป็นอุตสาหกรรมก็จะมีราคาถูกลงอีก และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ที่ใช้ยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์ครั้งนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยนำถ่านที่ผ่านการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 400 และ 600 °C มาทำการกระตุ้นและนำไปทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมและโลหะหนักด้วย เพื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ไปเป็นข้อมูลในการประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีย้อมและโลหะหนักต่อไป และควรมีการศึกษาการกำจัดถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วให้สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่และไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ในการศึกษาในอนาคตควรมีการศึกษาถึงความสามารถในการดูดซับสีย้อมและโลหะหนักรวมถึงสารชนิดอื่น ๆ ของถ่านกัมมันต์ด้วยว่าเหตุใดถ่านกัมมันต์จึงมีความสามารถในการดูดซับสารแต่ละชนิดได้ไม่เท่ากัน และมีการปรับสภาพพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์เพื่อให้สามารถดูดซับสารชนิดต่าง ๆ ได้ดีขึ้น

เนื่องจากปัจจุบันมีการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์กันมากขึ้น โดยวัสดุที่นิยมนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ คือ ถ่านหินและกะลามะพร้าว นอกจากนี้ยังมีการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่าโดยการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ซึ่งมีคุณภาพดี ตรงตามมาตรฐานอุตสาหกรรม แต่ยังไม่มีการเผยแพร่การผลิตถ่านกัมมันต์ให้แก่ประชาชนมากนัก จึงควรมีการเผยแพร่วิธีการผลิตถ่านกัมมันต์ให้แก่ประชาชนและชุมชนที่มีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจำนวนมากที่สามารถนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ได้ เช่น กะลามะพร้าว ขี้เลื่อย เปลือกลูกยางพารา กะลาปาล์ม ชานอ้อย เป็นต้น โดยมีการประยุกต์และพัฒนาการผลิตให้สามารถใช้เครื่องมือที่ไม่ยุ่งยากมากนัก ต้นทุนต่ำ เพื่อให้ประชาชนทั่วไปสามารถประกอบเป็นอาชีพได้ เพราะความต้องการถ่านกัมมันต์ยังมีมากทั้งในประเทศและต่างประเทศ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University