ผลและวิจารณ์

จากการดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการ ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้ว ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ แยกเป็นการทดลองย่อยๆ ตามลำดับในรูปแบบของภาพประกอบ ตาราง และกราฟ ดังนี้

การเตรียม และการศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์

การศึกษาในขั้นตอนนี้ เป็นการศึกษาการเตรียมวัตถุดิบเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ หาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้ และศึกษาประสิทธิภาพของถ่านโดยวัดการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ เพื่อเลือกถ่านกัมมันต์ที่ดีที่สุดไปใช้ในการทดลองขั้นตอนไป

1. การเตรียมวัตถุดิบเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบกะลามะพร้าวที่นำมาใช้ในการทดลอง เมื่อทำการทุบเป็นชิ้นเล็กผ่านตระแกรงร่อนขนาด 12.7 มิลลิเมตร นำมาอบจนแห้ง และนำมาแช่ในสารละลายเกลือแกงอิ่มตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาอบแห้งอีกครั้ง พบว่ามีน้ำหนักเพิ่มขึ้นร้อยละ 8 เทียบกับน้ำหนักกะลามะพร้าวอบแห้ง ซึ่งน้ำหนักเพิ่มขึ้นนี้เป็นน้ำหนักเกลือที่อยู่บนผิว และแทรกอยู่ในเนื้อของกะลามะพร้าว หรือคิดเป็นอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวแห้งต่อเกลือแกงเป็นอัตราส่วน 1 : 0.08

วัตถุดิบซังข้าวโพดที่นำมาใช้ในการทดลอง เมื่อทำการหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ความยาวประมาณ 3 เซนติเมตร นำมาอบจนแห้ง และนำมาแช่ในสารละลายเกลือแกงอิ่มตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาอบแห้งอีกครั้ง พบว่ามีน้ำหนักเพิ่มขึ้นร้อยละ 55 เทียบกับน้ำหนักซังข้าวโพดอบแห้ง ซึ่งน้ำหนักเพิ่มขึ้นนี้เป็นน้ำหนักเกลือที่อยู่บนผิว และแทรกอยู่ในเนื้อของซังข้าวโพด หรือคิดเป็นอัตราส่วนโดยน้ำหนักของซังข้าวโพดแห้งต่อเกลือแกงเป็นอัตราส่วน 1 : 0.55

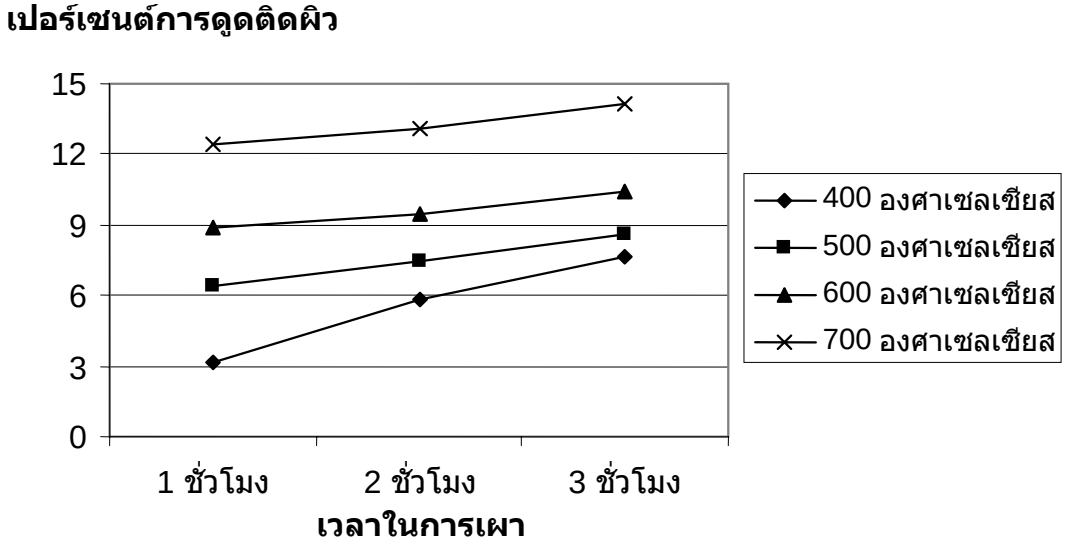
เห็นได้ว่าภายหลังแช่สารละลายเกลือแกงและอบแห้ง ซังข้าวโพดมีเกลืออยู่มากกว่ากะลามะพร้าว เนื่องจากซังข้าวโพดมีลักษณะคล้ายฟองน้ำ เมื่อทำการแช่สารละลายเกลือแกง ซัง

ข้าวโพดอมน้ำไว้ได้มากกว่า ซึ่งช่วยให้สารละลายเกลือแกงสามารถซึมเข้าสู่เนื้อของซังข้าวโพดและแทรกอยู่ในเนื้อได้มากกว่ากะลามะพร้าว

1.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์ การคัดเลือกถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วนสารกระตุ้นที่เหมาะสม และการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

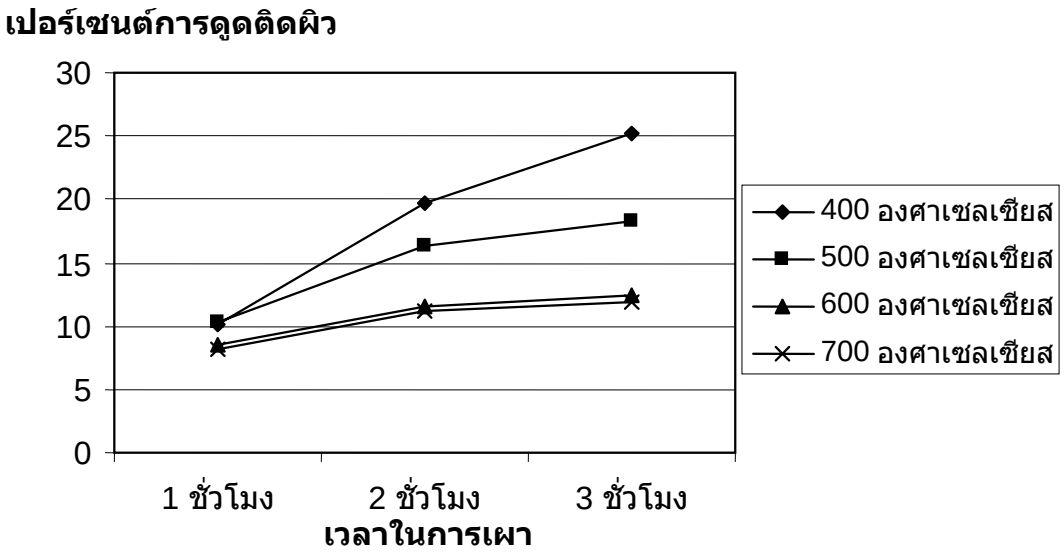
1.1.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเผา ต่อความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์

จากการทดลองผลของอุณหภูมิและเวลาในการเผา ต่อความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่มาจากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพด ที่ผ่านการแช่สารละลายเกลือแกงอิ่มตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และอบจนแห้งแล้ว แล้วนำมาเผาให้เป็นถ่านพร้อมกับการกระตุ้นที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 400, 500, 600 และ700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60, 120 และ180 นาที เปรียบเทียบการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption (AA) ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 9 และภาพที่ 10 ผลการวิเคราะห์ร้อยละน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ได้เทียบกับวัตถุดิบได้ดังภาพที่ 11 และภาพที่ 12 ตามลำดับ



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วกับอุณหภูมิและเวลาในการเผาถ่านจากกะลามะพร้าว

จากภาพที่ 9 พิจารณาประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว ที่เผาที่อุณหภูมิ 400 500 600 และ700 องศาเซลเซียส และเวลา 60 120 180 นาที พบว่า เมื่ออุณหภูมิมากขึ้น ประสิทธิภาพการดูดติดผิวเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารประกอบต่างๆในวัตถุดิบมีการสลายตัวมากขึ้น ทำให้มีความพรุนหรือพื้นที่ผิวมากขึ้น และที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วมากที่สุด ส่วนอิทธิพลของเวลาในการเผาต่อประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ก็เช่นเดียวกันแต่เมื่อพิจารณาทางด้านเศรษฐศาสตร์ ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเวลามากขึ้น และปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้มีลดลงเมื่อเวลามากขึ้น ทำให้เป็นการเสียพลังงานค่อนข้างสูญเปล่า จึงเลือกอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส 60 นาที มาเป็นข้อมูลที่ใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

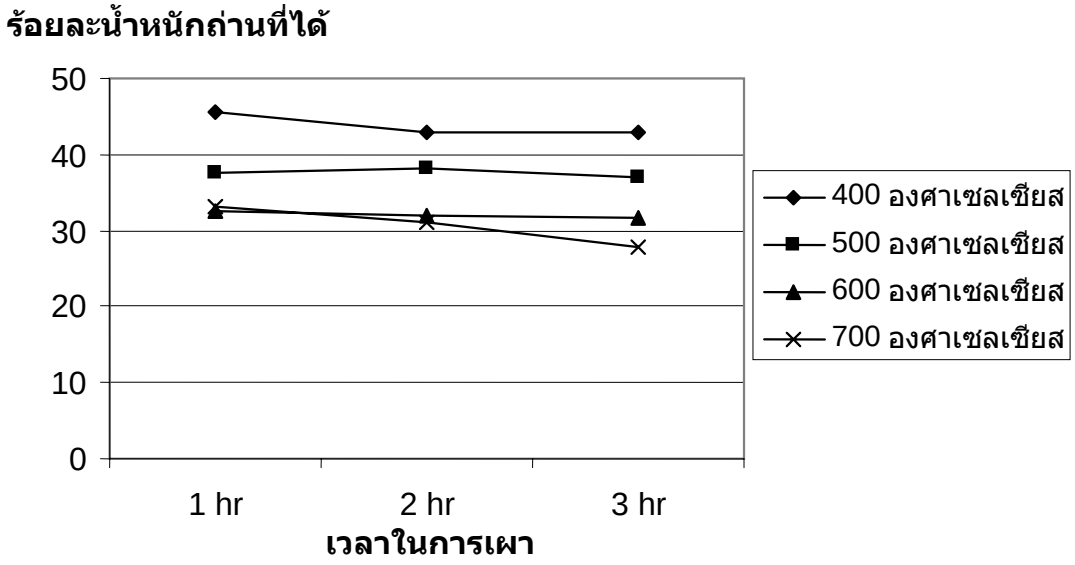


ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วกับอุณหภูมิและเวลาในการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด

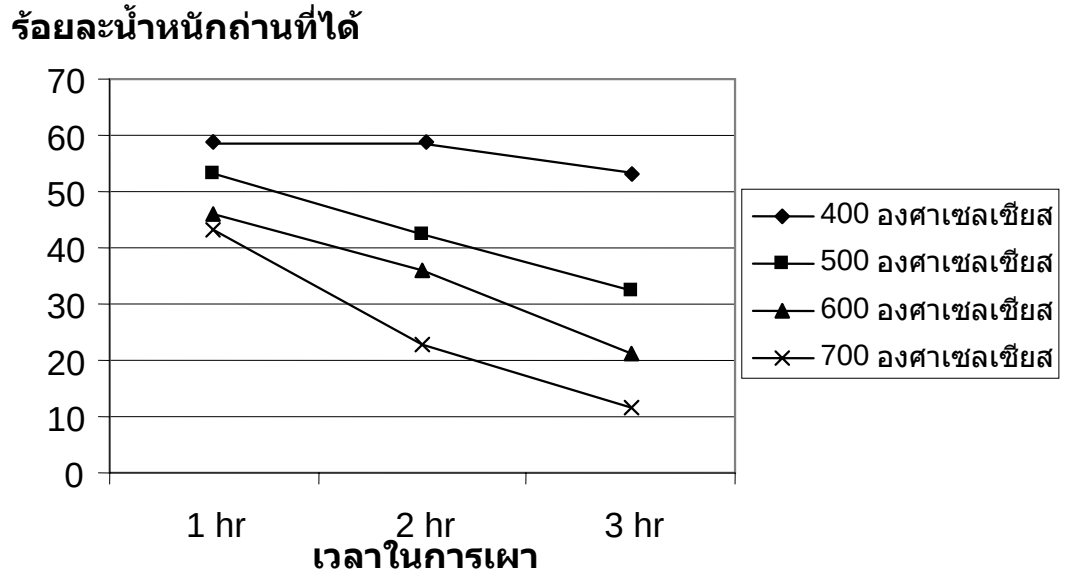
จากภาพที่ 10 พิจารณาประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด ที่เผาพร้อมกระตุ้นที่อุณหภูมิ 400 500 600 700 องศาเซลเซียส และเวลา 60 120 180 นาที พบว่าที่อุณหภูมิคงที่ เมื่อเวลามากขึ้น ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว เนื่องจากสารประกอบต่างๆในวัตถุดิบมีการสลายตัวมากขึ้น ทำให้มีความพรุนหรือพื้นที่ผิวมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิพบว่าเมื่อ

อุณหภูมิสูงขึ้นประสิทธิภาพในการดูดติดผิวต่ำลง ทั้งนี้เป็นเพราะความร้อนที่มากเกินไปทำให้ขนาดของรูมีขนาดใหญ่เกินไปสำหรับโลหะตะกั่ว เนื่องจากการดูดติดผิวเกิดได้ดีที่สุด เมื่อขนาดของโมเลกุลตัวถูกดูดติดมีขนาดเล็กกว่าขนาดของรูพรุนเล็กน้อย (Schuliger, 1987) ดังนั้นจากการทดลองครั้งนี้พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการเผาซังข้าวโพดที่เหมาะสมที่สุดในการดูดติดผิวตะกั่วคือ 400 องศาเซลเซียส 180 นาที และนำมาเป็นข้อมูลที่ใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

จากภาพที่ 11 และ12 พิจารณาผลอุณหภูมิและเวลาในการเผาต่อร้อยละของน้ำหนักถ่านที่ได้เทียบกับวัตถุดิบ พบว่า เมื่ออุณหภูมิและเวลามากขึ้น ร้อยละของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพดที่ได้มีค่าลดลง โดยร้อยละของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวที่ได้เทียบกับวัตถุดิบ สูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด เทียบจากร้อยละของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 400 – 700 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดได้ร้อยละของน้ำหนักถ่านสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว แต่เมื่อเวลาในการเผาเพิ่มขึ้นเป็น 2 ชั่วโมง พบว่าร้อยละของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดที่ได้ลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ร้อยละของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดมีค่าเท่ากับ 22.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าร้อยละของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวที่เท่ากับ 31.6 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 500 และ 600 องศาเซลเซียส ร้อยละของน้ำหนักถ่านทั้ง 2 ชนิดที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน โดยร้อยละของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 500 และ 600 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 42.1 และ 35.7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนร้อยละของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวที่อุณหภูมิ 500 และ 600 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 38.3 และ 32.2 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิในการเผา 400 องศาเซลเซียสเวลา 2 ชั่วโมง ร้อยละของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดที่ได้มีค่าสูงกว่าร้อยละของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว โดยร้อยละของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดมีค่าเท่ากับ 68.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนร้อยละของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวมีค่าเท่ากับ 42.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาร้อยละของน้ำหนักที่ได้ทั้ง 2 ชนิด ที่เวลาในการเผาที่ 3 ชั่วโมง พบว่า ร้อยละของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดที่อุณหภูมิในการเผา 500-700 องศาเซลเซียสมีค่าต่ำกว่าร้อยละของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว ส่วนที่อุณหภูมิในการเผา 400 องศาเซลเซียสเวลา 3 ชั่วโมงร้อยละของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดมีค่าเท่ากับ 52.3 เปอร์เซนต์ซึ่งมีค่าสูงกว่าร้อยละของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวที่มีค่าเท่ากับ 42.6 เปอร์เซนต์ ทั้งนี้เป็นเพราะสารอินทรีย์ที่เป็นส่วนประกอบของซังข้าวโพดสลายตัวที่อุณหภูมิสูงได้มากกว่าของกะลามะพร้าว



ภาพที่ 11 ร้อยละน้ำหนักถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่ได้เทียบกับวัตถุดิบที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

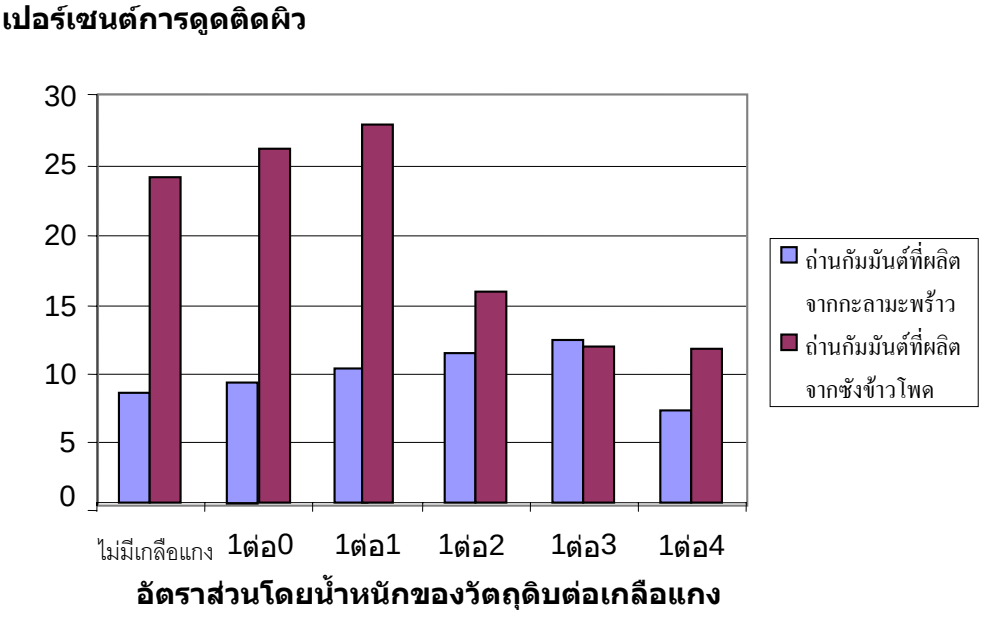


ภาพที่ 12 ร้อยละน้ำหนักถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดที่ได้เทียบกับวัตถุดิบที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วและปริมาณถ่านที่ได้จากการผลิตได้ว่าอุณหภูมิและเวลาในการเผาที่เหมาะสมที่สุด คือ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที สำหรับกะลามะพร้าว และอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลา 180 นาที สำหรับซังข้าวโพด จากนั้นจึงนำถ่านทั้งสองนี้ไปทำการทดลองขั้นต่อไป

1.1.2 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกง ต่อประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์

การศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพด โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อสารกระตุ้นเกลือแกง ที่อัตราส่วนต่างๆ กันคือ 1:0 1:1 1:2 1:3 และ 1:4 ทำการเผาและกระตุ้นวัตถุดิบให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที สำหรับวัตถุดิบที่เป็นกะลามะพร้าว และที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที สำหรับวัตถุดิบที่เป็นซังข้าวโพด เปรียบเทียบการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption (AA) จากนั้นเปลี่ยนสารกระตุ้นจากเกลือแกงเป็นเกลือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ในการใช้สารกระตุ้นระหว่างเกลือแกงและเลือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการได้ผลการทดลองดังภาพที่ 13 และ 14



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วกับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกง

จากภาพที่ 13 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว ที่อัตราอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกงต่างๆ ซึ่งมีค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 1.86 พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวมีประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วดีที่สุดที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกงเท่ากับ 1:3 โดยประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วเท่ากับ 13.1 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการดูดติดผิวเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกงเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ แบบไม่มีการผสมเกลือแกง จนถึง 1:3 ซึ่งเกิดจากการที่เมื่อให้ความร้อนแก่วัตถุดิบให้กลายเป็นถ่าน ผลึกของเกลือจะเข้าไปแทรกอยู่ภายในโพรงของวัตถุดิบ เมื่ออุณหภูมิลดลงโพรงถ่านจะไม่ค่อยมีการหดตัวเนื่องจากมีผลึกของเกลือแทรกตัวอยู่ เมื่อล้างด้วยน้ำร้อน ผลึกเกลือที่อยู่ในโพรงถ่านจะหลุดออกมา ทำให้โพรงที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น

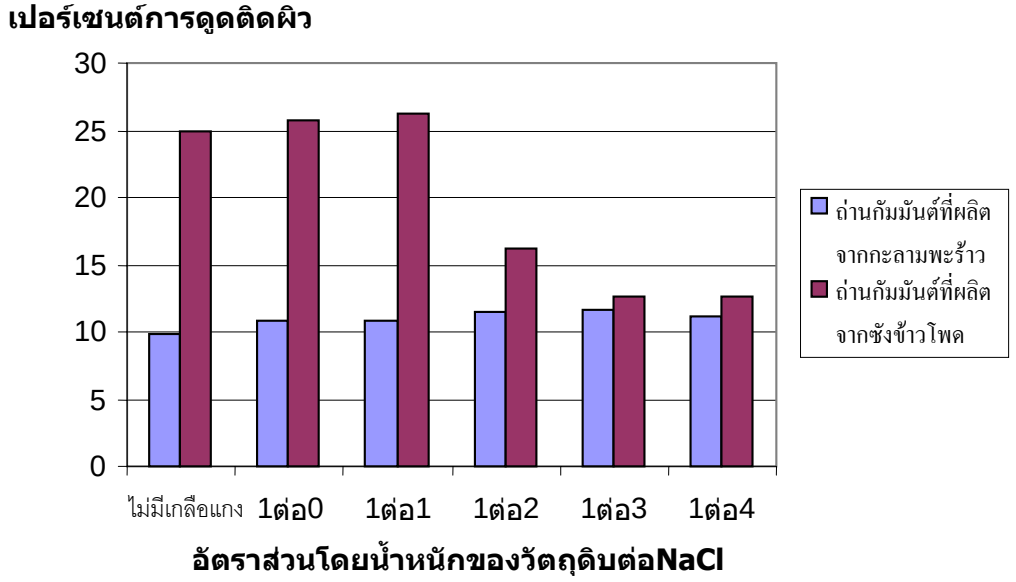
แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกงเป็น 1:4 พบว่าประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วได้น้อยลงกว่าเดิมทั้งนี้เนื่องจากการที่ใช้สารกระตุ้นมากจนเกินไป ทำให้ขนาดโพรงของถ่านใหญ่เกินไป ส่งผลให้พื้นที่ในการดูดติดผิวตะกั่วลดลงซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ ลลิดา (2544)

สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกงต่างๆ ซึ่งมีค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 1.86 พบว่าประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดดีที่สุดที่อัตราส่วน 1:1 โดยประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วเท่ากับ 28.3 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกงเพิ่มขึ้น ตั้งแต่แบบไม่มีการผสมเกลือแกง จนถึง 1:1 ซึ่งเกิดจากการที่เมื่อให้ความร้อนแก่วัตถุดิบให้กลายเป็นถ่าน ผลึกของเกลือจะเข้าไปแทรกอยู่ภายในโพรงของวัตถุดิบ เมื่ออุณหภูมิลดลงโพรงถ่านจะไม่ค่อยมีการหดตัวเนื่องจากมีผลึกของเกลือแทรกตัวอยู่ เมื่อล้างด้วยน้ำร้อน ผลึกเกลือที่อยู่ในโพรงถ่านจะหลุดออกมา ทำให้โพรงที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น

แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกงเป็น 1:2, 1:3 และ 1:4 พบว่าประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วได้น้อยลงกว่าเดิม ทั้งนี้เนื่องจากการที่ใช้สารกระตุ้นมากจนเกินไปทำให้ขนาดโพรงของถ่านใหญ่เกินไป ส่งผลให้พื้นที่ในการดูดติดผิวตะกั่วลดลง

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านทั้งสองชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดมีประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วมากกว่ากว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว

ส่วนในการทดลองเปลี่ยนสารกระตุ้นจาก NaCl เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วระหว่างสารกระตุ้นที่เป็นเกลือแกงกับสารกระตุ้นที่เป็น NaCl บริสุทธิ์ได้ผลตามภาพที่ 14 ซึ่งพบว่า ประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์มีแนวโน้มใกล้เคียงกับการใช้เกลือแกงเป็นสารกระตุ้นและมีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วสูงสุดที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักวัตถุดิบต่อเกลือแกงเท่ากับ 1:3 และ 1:1 ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากะลามะพร้าวและซังข้าวโพดตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่าภายในสภาวะที่ทำการศึกษาเกลือแกงที่จำหน่ายในท้องตลาดสามารถเป็นสารกระตุ้นได้



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วกับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อNaCl

จากการทดลองจึงได้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกงที่เหมาะสมที่สุด คือ 1:3 สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว และ1:1 สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซัง

ข้าวโพด จากนั้นนำอัตราส่วนที่ได้มาวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ได้ตามตารางที่ 4 จึงนำถ่านทั้งสองนี้ไปทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์และทำการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 4 ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตภายใต้สภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุด

ชนิดถ่านกัมมันต์	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) /เวลา(นาที)	อัตราส่วนวัตถุดิบต่อเกลือแกง	ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
กะลามะพร้าว	700 / 60	1:3	532.23
ซังข้าวโพด	400 / 180	1:1	229.29

จากตารางที่ 4 ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผากะลามะพร้าวที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกงเท่ากับ 1:3 ได้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 532.23 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผาซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 180 นาที อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกงเท่ากับ 1:1 ได้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 229.29 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดที่ได้พบว่ามีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อกรัม อย่างไรก็ตามถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน

3. คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์ และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต พบว่า ที่อุณหภูมิในการเผา 400 องศาเซลเซียส เวลา 180 นาที และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกง 1:1 เป็นสภาวะที่ทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดมีความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วได้สูงที่สุด ส่วนสภาวะที่ทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวมีความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วได้สูงที่สุด คือ ที่อุณหภูมิในการเผา 700 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกง 1:3 จึงมาศึกษาลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ พื้นที่ผิว และขนาดรูพรุน เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ ord No 143/04 โดยใช้เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว (BET) ผลการศึกษาที่ได้แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

พารามิเตอร์	ชนิดของถ่านกัมมันต์		
	ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว	ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด	ถ่านกัมมันต์ ord No 143/04
ไอโอดีนนัมเบอร์ (มิลลิกรัมของไอโอดีนต่อกรัมของถ่านกัมมันต์)	532.23	229.29	830.33
พื้นที่ผิว BET (ตารางเมตรต่อกรัม)	439.90	79.63	1313.00
ขนาดของรูพรุนเฉลี่ย (อังสตรอม)	4.89×10^5	0.11×10^5	3.25×10^5
ความพรุนตัว (%)	60.54	36.79	73.25

จากตารางที่ 5 ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพดมีค่าเท่ากับ 532.23 และ 229.29 มิลลิกรัมของไอโอดีนต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก. 90-2532) แต่ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน คือ 600 มิลลิกรัมของไอโอดีนต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้กะลามะพร้าวเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ทางการค้าต่อไป ส่วนถ่านกัมมันต์ ord No 143/04 มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ เท่ากับ 830.33 มิลลิกรัมของไอโอดีนต่อกรัมของถ่านกัมมันต์

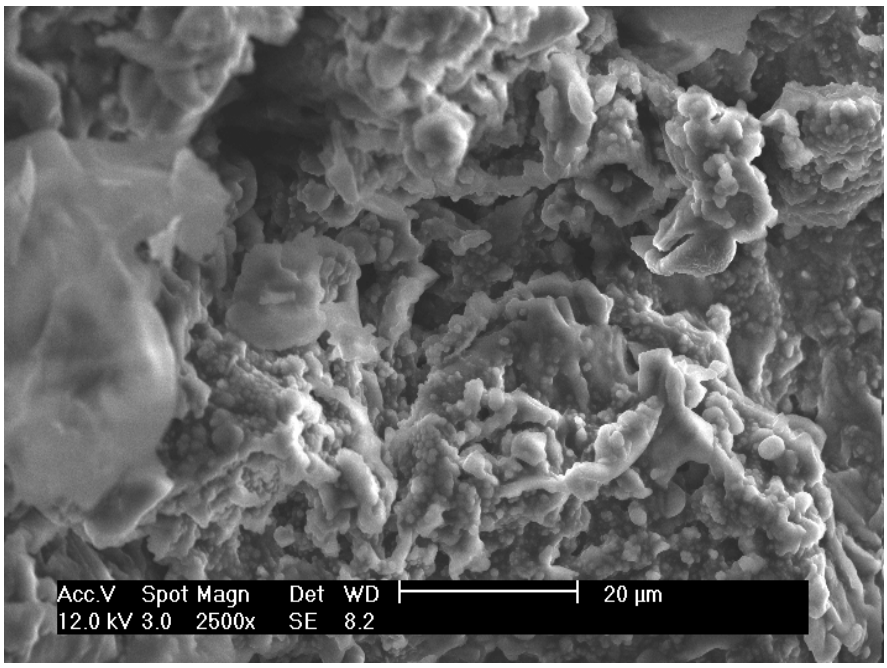
ถ่านกัมมันต์ ord No 143/04 มีพื้นที่ผิวมากที่สุดรองลงมาคือถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดตามลำดับ โดยพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวมีค่าเท่ากับ 439.90 ตารางเมตรต่อกรัม ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดและถ่านกัมมันต์ ord No 143/04 มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 79.63 และ 1313.00 ตารางเมตรต่อกรัม

พิจารณาขนาดของรูพรุนเฉลี่ย พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวมีขนาดของรูพรุนใหญ่ที่สุดคือ 4.89×10^5 อังสตรอม รองลงมาคือถ่านกัมมันต์ ord No 143/04 และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด ซึ่งมีขนาดของรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 3.25×10^5 และ 0.11×10^5 ตามลำดับ

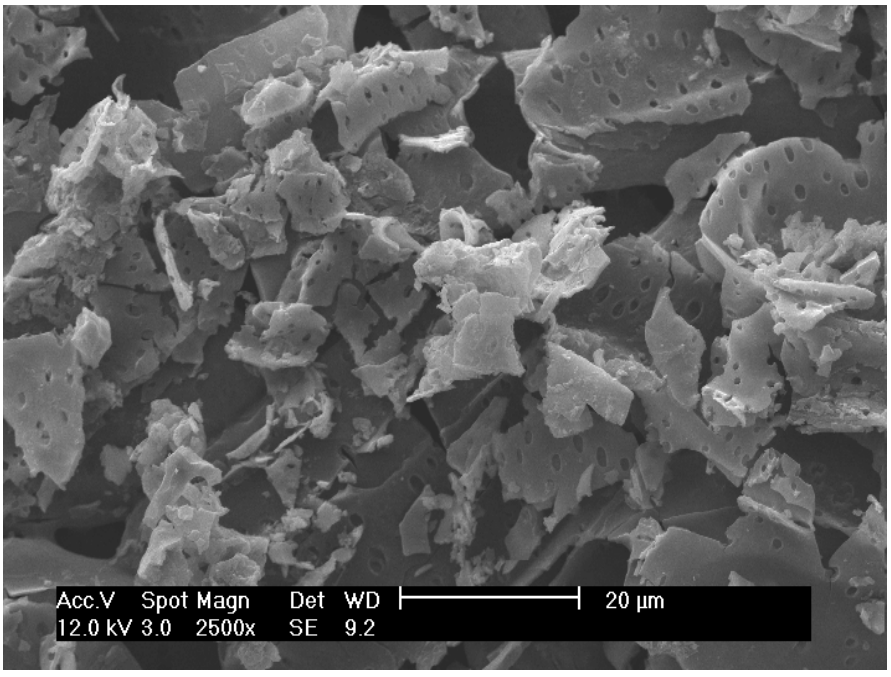
ส่วนความพรุนตัวของถ่านกัมมันต์ ord No 143/04 มีค่าเท่ากับ 73.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความพรุนสูงที่สุด รองลงมาคือถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด ซึ่งมีค่าความพรุนตัวเท่ากับ 60.54 และ 36.79 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพด เช่น ไอโอดีนนัมเบอร์, พื้นที่ผิว, ขนาดของรูพรุนเฉลี่ย และความพรุนตัว พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด แต่เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกง (ภาพที่ 13) พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดมีประสิทธิภาพการดูดติดผิวสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว ทั้งนี้เนื่องมาจากมาตรฐานที่ใช้เป็นค่ามาตรฐานสำหรับการดูดติดผิวไอโอดีน ดังนั้นจึงไม่สามารถบอกประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วอย่างเดียวได้โดยตรงและอาจเนื่องมาจากกลไกในการดูดติดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เป็นกลไกการดูดติดผิวแบบสะเทินประจุ ซึ่งประสิทธิภาพการดูดติดผิวขึ้นอยู่กับจำนวนประจุไอออนลบบนผิวของถ่านกัมมันต์ ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดอาจมีประจุไอออนลบมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมถ่านกัมมันต์ เมื่อแช่วัตถุดิบในสารละลายเกลือแกงอิ่มตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาอบแห้ง พบว่า ซังข้าวโพดมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นร้อยละ 55 ซึ่งมากกว่ากะลามะพร้าวที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นร้อยละ 8 และอาจทำให้ประจุไอออนลบของคลอไรด์ในเกลือติดอยู่ที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว

เมื่อทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นผิว และรูพรุนของวัตถุดิบ ที่เปลี่ยนแปลงไปเปรียบเทียบก่อนและหลังการเผากระตุ้นวัตถุดิบ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM) แสดงในภาพที่ 15 ถึงรูปที่ 19

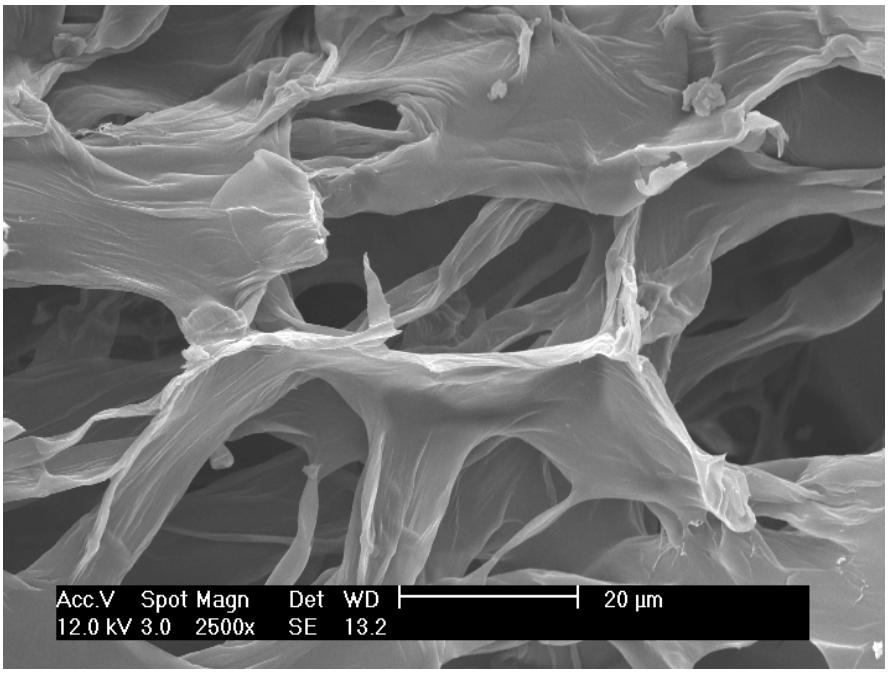


ภาพที่ 15 ลักษณะโครงสร้างและพื้นที่ผิวของกะลามะพร้าวก่อนการเผากระตุ้น เมื่อใช้กำลังขยาย 2,500 เท่า

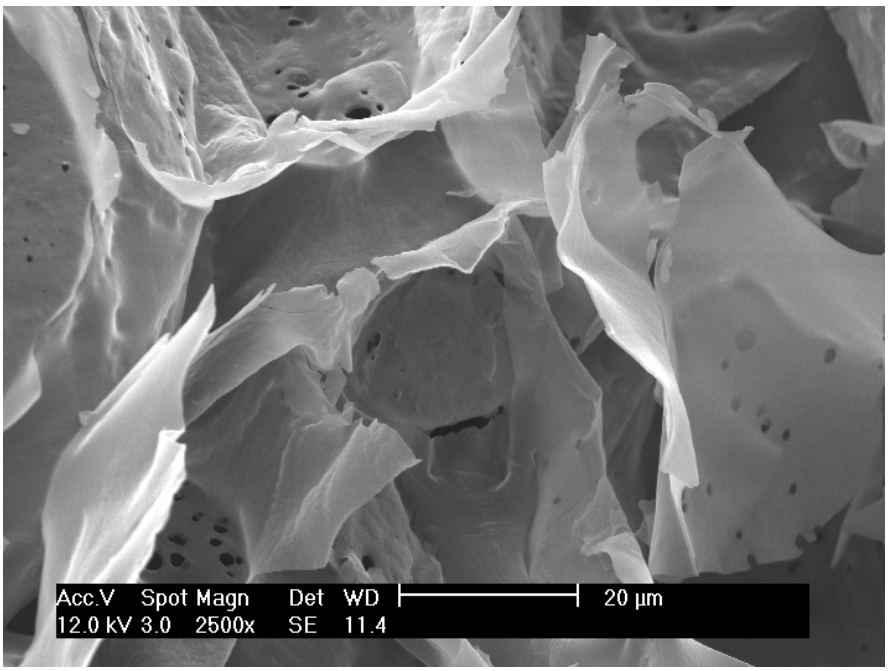


ภาพที่ 16 ลักษณะโครงสร้างและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวหลังการเผากระตุ้น เมื่อใช้กำลังขยาย 2,500 เท่า

จากภาพที่ 15 และ 16 ลักษณะโครงสร้างและพื้นที่ผิว ของกะลามะพร้าวก่อนและหลังการเผากระตุ้น เมื่อใช้กำลังขยาย 2,500 เท่า พบว่า ลักษณะโครงสร้างของกะลามะพร้าวก่อนการเผากระตุ้นมีลักษณะเป็นเนื้อแน่นและเป็นรอยหยัก มีรูพรุนน้อย แต่เมื่อทำการเผาพร้อมการกระตุ้นด้วยเกลือแกงที่อัตราส่วน 1:3 ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที พบว่า ลักษณะโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวได้เปลี่ยนแปลงไปโดย เกิดรูพรุนมากขึ้น และกระจายตัวกันอย่างสม่ำเสมอ แต่ก็มีความพรุนน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ ord No 143/04 ซึ่งแสดงในภาพที่ 19

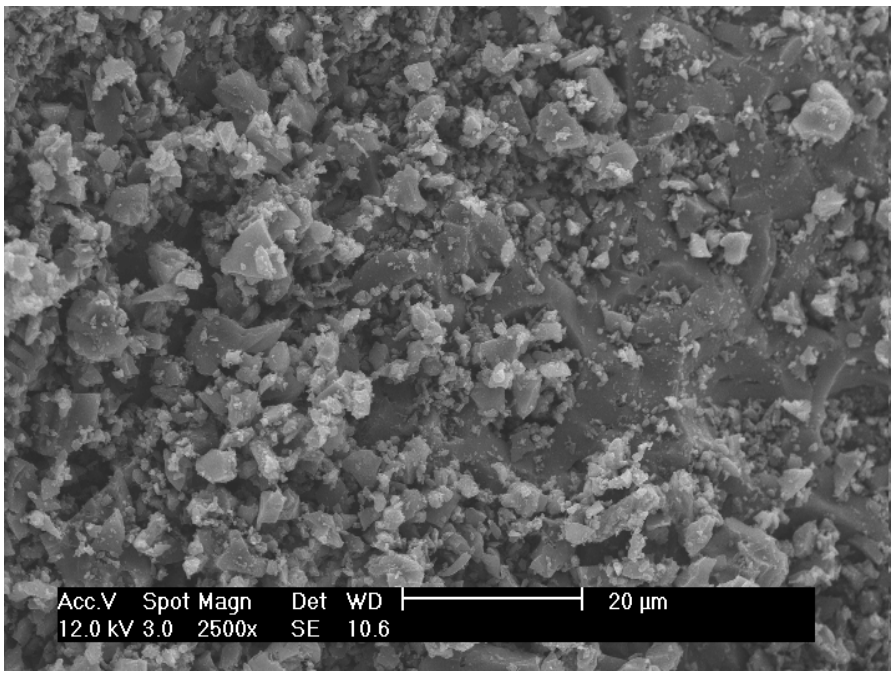


ภาพที่ 17 ลักษณะโครงสร้างและพื้นที่ผิวของซังข้าวโพดก่อนการเผากระตุ้น เมื่อใช้กำลังขยาย 2,500 เท่า



ภาพที่ 18 ลักษณะโครงสร้างและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดหลังการเผากระตุ้น เมื่อใช้กำลังขยาย 2,500 เท่า

จากภาพที่ 17 และ 18 ลักษณะโครงสร้างและพื้นที่ผิวของซังข้าวโพดก่อนและหลังการเผากระตุ้น เมื่อใช้กำลังขยาย 2,500 เท่า พบว่า ลักษณะโครงสร้างของซังข้าวโพดก่อนการเผากระตุ้นมีลักษณะเป็นแผ่นราบเรียบไม่มีรูพรุนเกิดขึ้น และเมื่อทำการเผาพร้อมการกระตุ้นด้วยเกลือแกงที่อัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 180 นาที พบว่า ลักษณะโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยเกิดรูพรุนเล็กๆ กระจายตัวกันอย่างเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับค่าพื้นที่ผิวและไอโอดีนนัมเบอร์ที่ได้ ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดมีพื้นที่ผิวและไอโอดีนนัมเบอร์น้อยที่สุด

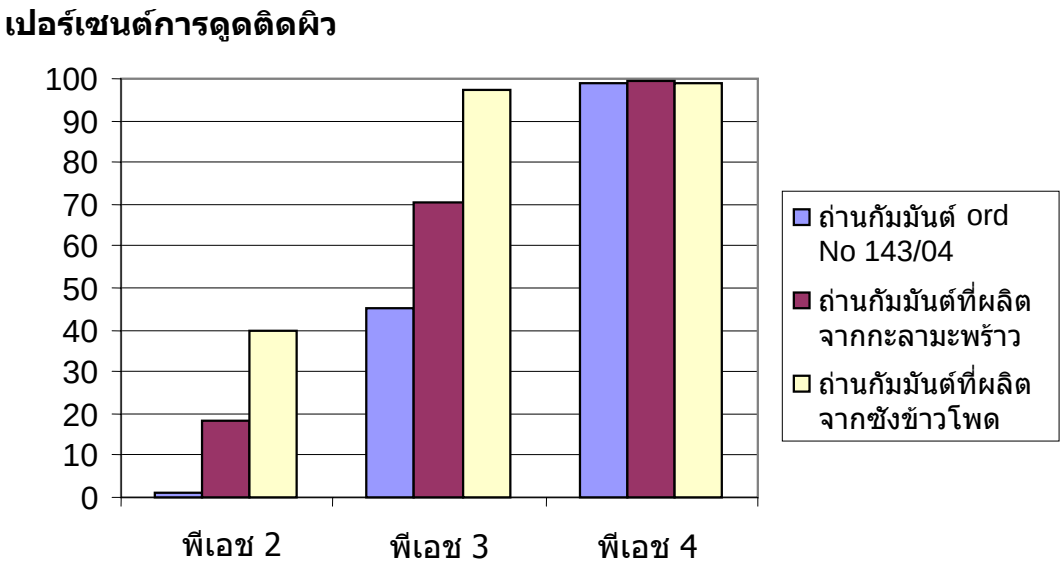


ภาพที่ 19 ลักษณะโครงสร้างและพื้นที่ผิวของ ถ่านกัมมันต์ ord No 143/04 เมื่อใช้กำลังขยาย 2,500 เท่า

การศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch test)

1. อิทธิพลของพีเอชของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์

จากการทดลองศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชต่อการดูดติดผิวตะกั่วของ ลลิดา (2544) พบว่าค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ และพบว่าค่าพีเอชที่ 5 ถึง 9 ตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ตกตะกอนในรูปของตะกั่วไฮดรอกไซด์ ($Pb(OH)_2$) จึงไม่สามารถหาปริมาณตะกั่วที่ลดลงเนื่องจากการดูดติดผิวตะกั่วได้ ดังนั้นในการทำวิจัยครั้งนี้จึงทำการทดลองปรับค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่วเริ่มต้นที่ 1.86 เป็นพีเอชตั้งแต่ 2 ถึง 4 ความเข้มข้นตะกั่วเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 100 ลบ.ซม. แล้วเติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0.2 กรัม นำไปเขย่าเป็นเวลา 60 นาที แยกผงถ่านกัมมันต์ นำน้ำเสียไปวัดค่าปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดติดผิวตะกั่ว ผลการทดลองที่ได้แสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ค่าพีเอชต่างๆ

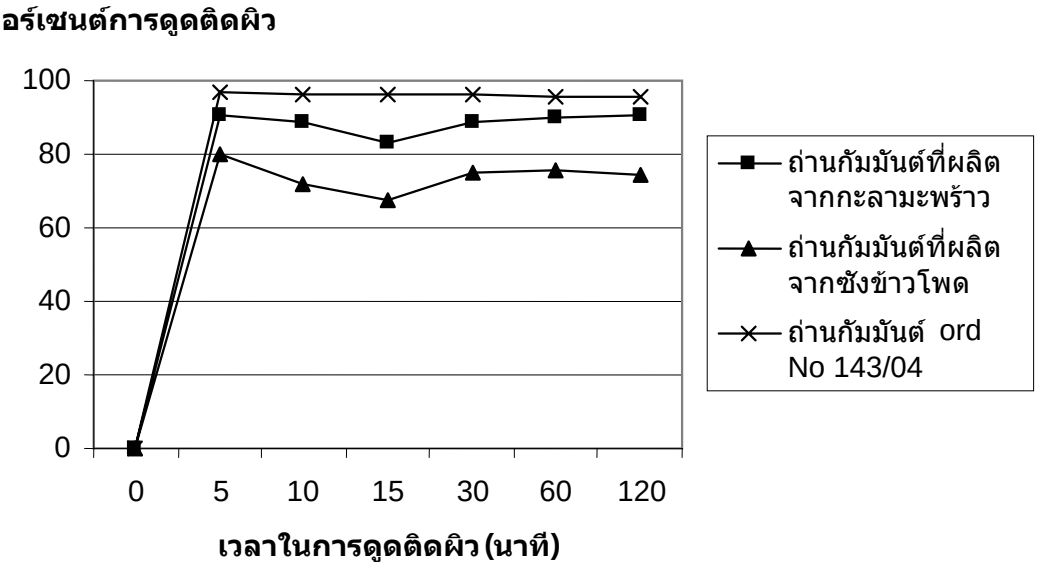
จากภาพที่ 20 พบว่าประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดแปรตามค่าพีเอชในน้ำเสียสังเคราะห์โดย ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ค่าพีเอช

ต่างๆของมีค่าแปรตามพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดโดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดมีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วที่ค่าพีเอช 2, 3, 4 คือ 18.4, 70.6 และ 99.2 % ตามลำดับสำหรับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว และ 39.6 97.6 และ 99.1 % ตามลำดับสำหรับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด โดยค่าพีเอช 4 เป็นค่าพีเอชที่ดีที่สุดของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวในการดูดติดผิวตะกั่ว สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วที่ค่าพีเอช 3 และ 4 มีค่าใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วง 97-99 %

ส่วนถ่านกัมมันต์ ord No 143/04 มีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วที่ พีเอช 2, 3, 4 คือ 0.86, 45.3 และ 99.2 % ตามลำดับ และค่าพีเอช 4 เป็นค่าพีเอชที่ดีที่สุดในการดูดติดผิวตะกั่ว

2. อิทธิพลของเวลาในการดูดติดผิวตะกั่ว

จากการศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดติดผิวตะกั่ว โดยนำน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 ลบ.ซม. ปรับพีเอชให้เท่ากับค่าที่เหมาะสมสำหรับถ่านแต่ละชนิด โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพดและถ่านกัมมันต์ ord No 143/04 คือ พีเอช 4 เติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0.1 กรัมเพื่อไม่ให้พีเอชของน้ำเสียหลังการดูดติดผิวเพิ่มขึ้นจนถึงช่วงพีเอชของการตกตะกอน เนื่องจากถ่านมีความเป็นด่างสูง นำขวดไปเขย่าบนเครื่องเขย่า เป็นเวลา 5, 10, 15, 30, 60 และ120 นาที แยกผงถ่านกัมมันต์ นำน้ำเสียไปวัดค่าปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาในการดูดติดผิวต่างๆ กัน

จากผลการทดลองในภาพที่ 21 พบว่าการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาสัมผัสตั้งแต่ 0-5 นาที และมีค่าประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วค่อนข้างคงที่จนถึงเวลาสัมผัสเท่ากับ 120 นาที โดยลักษณะของกราฟของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน โดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวมีประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่ว ที่เวลาสัมผัส 5 10 15 30 60 และ 120 นาที เท่ากับ 90.8 88.9 83.3 89.0 90.2 และ 90.4 เปอร์เซนต์ตามลำดับ และประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวดีที่สุดที่เวลาสัมผัสเท่ากับ 5 นาที คือ 90.8 เปอร์เซนต์

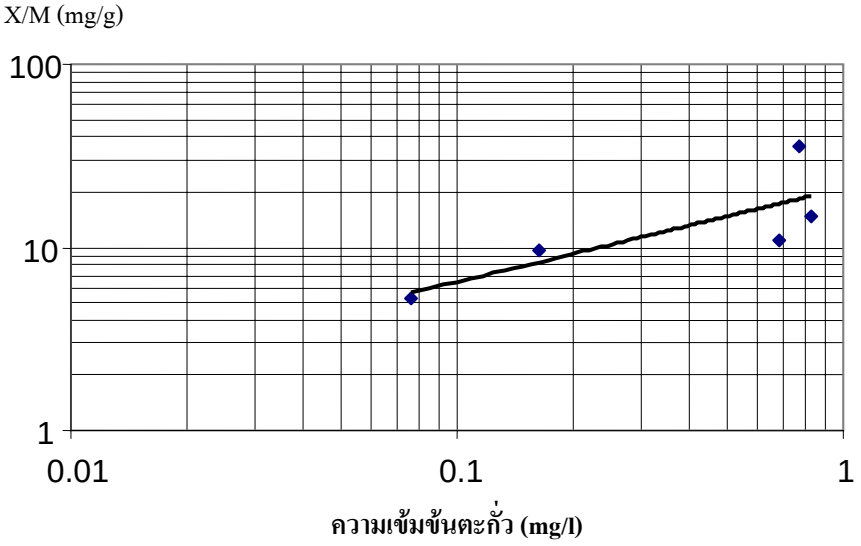
ในส่วนของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด มีประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่ว ที่เวลาสัมผัส 5 10 15 30 60 และ 120 นาที เท่ากับ 79.9 72.1 67.2 74.8 75.9 และ 74.5 เปอร์เซนต์ตามลำดับ และ ประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดดีที่สุด คือ 79.9 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลาสัมผัสเท่ากับ 5 นาที

สำหรับถ่านกัมมันต์ ord No 143/04 ประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่ว ที่เวลาสัมผัส 5 10 15 30 60 และ 120 นาที เท่ากับ 97 96.5 96 96.2 95.8 และ 95.6 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ และประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ ord No 143/04 ดีที่สุดคือ 97 เปอร์เซนต์ ที่เวลาสัมผัสเท่ากับ 5 นาที

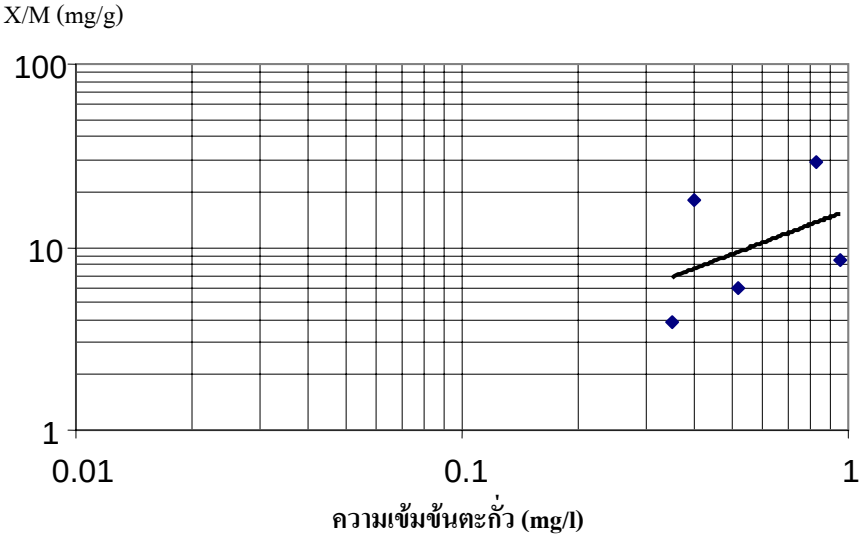
เนื่องจากเวลาสัมผัสที่เหมาะสมของการดูดติดผิวตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด มีค่าเท่ากับ 5 นาที ดังนั้นเวลาสัมผัส 60 นาทีที่ใช้ในการทดลองจึงเพียงพอสำหรับการเข้าสู่จุดสมดุลของการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด

3. อิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อการดูดติดผิวตะกั่ว

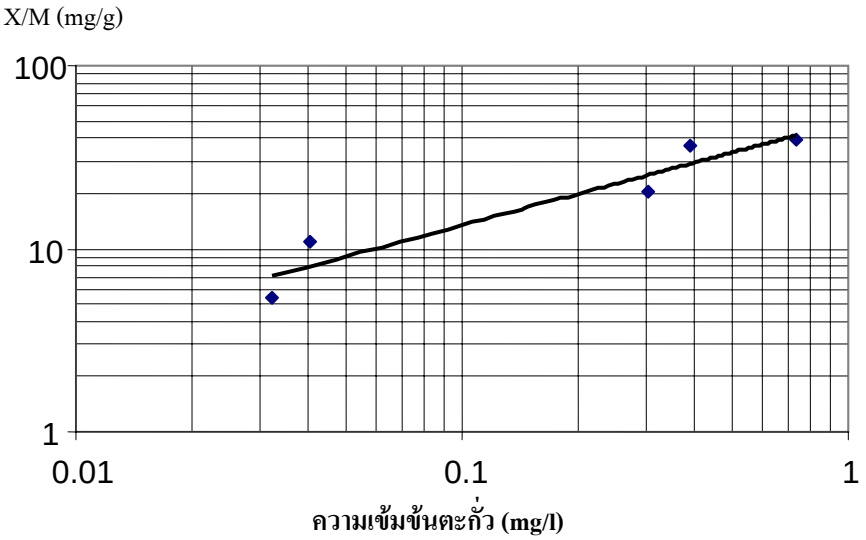
จากการศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดติดผิวตะกั่ว โดยนำน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 ลบ.ซม. ปรับพีเอชให้เท่ากับค่าที่เหมาะสมสำหรับถ่านแต่ละชนิด เติมผงถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วนปริมาณตะกั่วต่อปริมาณถ่านกัมมันต์ เท่ากับ 1:10 (0.01 กรัม) 1:20 (0.02 กรัม) 1:40 (0.04 กรัม) 1:100 (0.1 กรัม) และ 1:200 (0.2 กรัม) นำขวดไปเขย่าเป็นเวลา 5 นาที แยกผงถ่านกัมมันต์ออก นำน้ำเสียไปวัดค่าปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ ผลการวิเคราะห์ไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพด และถ่านกัมมันต์ Ord No 143/04 แสดงในภาพที่ 22, 23 และ 24 ตามลำดับ



ภาพที่ 22 ไอโซเทอมการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว



ภาพที่ 23 ไอโซเทอมการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด



ภาพที่ 24 ไอโซเทอมการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ ord No 143/04

เส้นไอโซเทอมการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ สามารถอธิบายได้จากสมการ ฟรุนดลิช คือ

$$X/M = K_F C^{1/n} \qquad (7)$$

เมื่อ X/M = ปริมาณของสารที่ถูกดูดติดผิวต่อปริมาณของตัวดูดติดผิว (มิลลิกรัมต่อกรัม)

K_F = ค่าคงที่ของ ฟรุนดลิช

C = ความเข้มข้นของสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

1/n = ค่าคงที่

ความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านแต่ละชนิดสามารถพิจารณาได้จากค่า X/M ซึ่งเป็นปริมาณของสารตะกั่วที่ถูกดูดติดผิวต่อน้ำหนักถ่านที่ใช้ โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์ที่มีเส้นไอโซเทอมการดูดติดผิวตะกั่วอยู่เหนือเส้นอื่นมีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วดีกว่า ดังนั้นประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์สามารถหาได้จากค่า K_F และ 1/n ที่ได้จากสมการของ ฟรุนดลิช

จากภาพที่ 22 23 และ 24 สามารถหาค่า K_F และ n ของถ่านทั้ง 3 ชนิดได้ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงค่า K_F และ n ของถ่านทั้ง 3 ชนิด จากไอโซเทอมของ ฟรุนดลิช

ชนิดถ่าน	K_F	1/n
ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว	21.097	0.5122
ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด	15.921	0.8007
ถ่านกัมมันต์ ord No 143/04	49.704	0.568

จากข้อมูลในตารางที่ 6 พบว่า ถ่านที่มีค่า K_F สูงสุด คือ ถ่านกัมมันต์ ord No 143/04 โดยมีค่า K_F เท่ากับ 49.704 และรองลำดับลงมาคือ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด โดยมีค่า K_F เท่ากับ 21.097 และ 15.921 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดมีค่า 1/n สูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.8007 นั่นคือ กราฟมีความชันสูง แสดงว่า ค่าความเข้มข้น มีบทบาทต่อความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด นั่นคือ ถ้าสารที่ถูกดูดติดผิวมีความเข้มข้นสูง ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด มีแนวโน้มในการดูดติดผิวตะกั่วได้ดี

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วจากค่า K_F ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพดพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวมีประสิทธิภาพดูดติดผิวตะกั่วดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด ซึ่งขัดแย้งกับผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกง ต่อประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์(ภาพที่13) โดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวมีประสิทธิภาพดูดติดผิวตะกั่วต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด เนื่องจากการทดลองทั้งสองใช้ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์แตกต่างกัน โดยในการทดสอบอิทธิพลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกง ต่อประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ใช้ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 1.86 แต่การทดสอบอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อการดูดติดผิวตะกั่วใช้ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 4 ซึ่งพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดแตกต่างกัน โดยผลของอิทธิพลของพีเอชของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ในภาพที่20 แสดงว่าที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ต่ำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว มีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด ดังนั้นในผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกง ต่อประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ ประสิทธิภาพของการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวจึงต่ำกว่าประสิทธิภาพของการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด

การประเมินต้นทุนในการผลิตถ่านกัมมันต์

เมื่อประเมินต้นทุนในการผลิตถ่านกัมมันต์ 1 กิโลกรัม จากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพด โดยคิดจากค่าสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นคือ เกลือแกง, ค่าไฟฟ้าซึ่งได้แก่ ค่าพลังงานจากเตาเผาและหม้อต้ม และค่าน้ำ ได้แก่ น้ำสำหรับเตรียมทำสารละลายเกลือแกงอิ่มตัว น้ำล้างถ่านกัมมันต์ และน้ำสำหรับต้มวัตถุดิบ ที่ใช้ในการผลิตแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ต้นทุนในการผลิตถ่านกัมมันต์ 1 กิโลกรัม

ต้นทุนในการผลิตต่อกิโลกรัม(บาท)	ราคาต่อหน่วย	กะลามะพร้าว	ซังข้าวโพด
เกลือแกง	5 บาท/กิโลกรัม	23	33
ค่าไฟฟ้า	3.5 บาท/UNIT	7	8.75
ค่าน้ำกลั่น	4 บาท/ลิตร	4	4
ค่าน้ำประปา	1 บาท/100ลิตร	0.1	0.1
รวม		34.1	45.85

จากตารางที่ 7 ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว 1 กิโลกรัม มีต้นทุนในการผลิตประมาณ 34.1 บาท และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด 1 กิโลกรัม มีต้นทุนในการผลิตประมาณ 45.85 บาท ซึ่งต้นทุนส่วนใหญ่ในการผลิตถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดเป็นค่าเกลือแกงคิดเป็น 71.97 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากซังข้าวโพดมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำเกลือได้ดีกว่ากะลามะพร้าว โดยกะลามะพร้าวมีต้นทุนจากค่าเกลือแกงคิดเป็น 67.45 เปอร์เซ็นต์ต่อต้นทุนทั้งหมด ในการประมาณต้นทุนการผลิตไม่คิดราคาวัตถุดิบสำหรับทำถ่านกัมมันต์ เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการศึกษาต้องการนำวัตถุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิต ซึ่งไม่คิดเป็นค่าใช้จ่าย ส่วนถ่านกัมมันต์ ord No 143/04 มีราคาจำหน่ายประมาณกิโลกรัมละ 60 บาท

เมื่อประเมินต้นทุนต่อผลผลิตโดยประมาณของการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด พบว่ามีราคาไม่สูงนักเมื่อเทียบราคากับถ่านกัมมันต์ ord No 143/04 จึงมีความเป็นไปได้ในการนำวัตถุดิบทั้งสองชนิดมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์สำหรับการกำจัดตะกั่วในน้ำเสีย แต่ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียจริงโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่งเข้ามาเป็นข้อมูลประกอบ เพื่อเปรียบเทียบปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดติดผิวของตะกั่วในถังดูดติดผิวแบบแท่ง แล้วนำมาคำนวณเป็นค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกั่วต่อไป

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิวตะกั่ว โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ กะลามะพร้าว และซังข้าวโพด ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการเผาพร้อมการกระตุ้นโดยใช้เกลือแกงที่ขายตามท้องตลาดเป็นตัวกระตุ้น และทดสอบประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่ว ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดติดผิวตะกั่ว ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสีย, เวลาในการดูดติดผิว และปริมาณถ่านกัมมันต์ในการดูดติดผิว ในการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง และเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาตร์ในการผลิตถ่านกัมมันต์ในแต่ละชนิด ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์ โดยทำการทดลองเผาวัตถุดิบในช่วงอุณหภูมิและเวลาต่างๆกัน รวมทั้งอัตราส่วนตัวกระตุ้น นำไปดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ค่าเปอร์เซนต์การดูดติดผิวตะกั่วเป็นตัวตัดสินสภาวะในการผลิตที่เหมาะสมที่สุด พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวคือ การเผาพร้อมการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาทีและอัตราส่วนวัตถุดิบต่อสารกระตุ้นซึ่งก็คือเกลือแกงเท่ากับ 1:3 ค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 532.23 (มิลลิกรัมต่อกรัม) ส่วนสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดคือ การเผาพร้อมการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลา 180 นาทีและอัตราส่วนวัตถุดิบต่อสารกระตุ้นซึ่งก็คือเกลือแกงเท่ากับ 1:1 3 ค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 229.29 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งพบว่าค่าไอโอดีนนัมเบอร์ที่ได้จากถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด (600 มิลลิกรัมต่อกรัม)

จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นที่ผิว โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เปรียบเทียบลักษณะพื้นที่ผิวของวัตถุดิบก่อนและหลังการเผา พบว่า หลังจากเผาพร้อมกระตุ้นแล้วถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพด มีโครงสร้างและพื้นที่ผิวเปลี่ยนแปลงไปโดยมีลักษณะที่มีความพรุนสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ พื้นที่ผิว, ขนาดรูพรุนเฉลี่ย, เปอร์เซ็นต์ความพรุน ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าถ่านกัมมันต์ ord No 143/04 มีค่าสูงที่สุดรองลงมาคือ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพดตามลำดับ

1.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้การทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง ในการทดลองอิทธิพลของพีเอชต่อการดูดติดผิว พบว่า ค่าพีเอชมีผลต่อการดูดติดผิวตะกั่ว โดยพีเอชที่เหมาะสมในการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพดและถ่านกัมมันต์ ord No 143/04 คือ พีเอช 4

ส่วนอิทธิพลของเวลาในการดูดติดผิวตะกั่ว พบว่าอัตราการดูดติดผิวตะกั่วเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาการดูดติดผิวเท่ากับ 5 นาที และมีประสิทธิภาพดูดติดผิวตะกั่วคงที่เมื่อเวลามากขึ้น โดยผลอิทธิพลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน

สำหรับอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อการดูดติดผิวตะกั่ว ผลการทดลองที่ได้เขียนเป็นกราฟการดูดติดผิวแบบฟรุนดริช พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวมีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตะกั่วดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด ส่วนถ่านกัมมันต์ ord No143/04 มีประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่วได้ดีที่สุด

เมื่อคำนวณต้นทุนในการผลิตของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและซังข้าวโพด พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวมีราคาที่ถูกกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพด และถ่านทั้ง 2 ชนิดมีราคาถูกกว่าถ่านถ่านกัมมันต์ ord No143/04

จากการทดสอบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้น โดยการวัดค่าไอโอดีนนัมเบอร์ พบว่าถ่านที่ได้ยังมีคุณสมบัติต่ำกว่าข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แต่เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพการดูดติดผิวตะกั่ว พบว่า ถ่านที่เตรียมขึ้นโดยการใช้เกลือแกงเป็นตัวกระตุ้นสามารถดูดติดผิวตะกั่วได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้เกลือแกงเป็นตัวกระตุ้น และนำมาพัฒนาเพื่อไปใช้งานจริงต่อไป

ข้อเสนอแนะ

2.1 ควรมีการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพการดูดติดผิวโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่ง (Adsorption Column) เพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว และใช้ข้อมูลที่ได้ในการคำนวณหาต้นทุนค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกั่วต่อไป

2.2 จากการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดที่ได้ มีความแข็งค่อนข้างต่ำ เนื้อถ่านเปราะและแตกง่าย จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการพัฒนาถ่านให้สามารถนำไปใช้งานได้สะดวกมากยิ่งขึ้น เช่น การผสมตัวประสาน(binder) เพื่อให้เป็นถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด เป็นต้น

2.3 จากขั้นตอนการทดลองในการล้างถ่านกัมมันต์หลังจากการเผา พบว่า ถ้าทำการล้างถ่านด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง ช่วยให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านสูงขึ้น จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติม

2.4 ควรมีการศึกษาการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว เพื่อจะได้สามารถนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่ และเป็นการลดต้นทุนการใช้ถ่านกัมมันต์

2.5 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่นๆ มาทดลองเป็นถ่านกัมมันต์โดยใช้เกลือแกงเป็นตัวกระตุ้น เช่น กากน้ำตาล และเศษไม้

2.6 ควรมีการศึกษาถึงรูปแบบเตาเผาที่สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ได้ โดยออกแบบให้มีราคาถูกและใช้งานได้ง่าย เพื่อให้คนทั่วไปสามารถผลิตถ่านกัมมันต์จากเศษวัสดุที่เหลือใช้เองได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรรณิการ์ สถาปิตานนท์ และคณะ. 2541. **การผลิตถ่านกัมมันต์คุณภาพสูงจากวัตถุดิบในประเทศ**. 49.

เกศรา นุตาลัย และคณะ. 2531. **รายงานการวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพรุในห้องปฏิบัติการ**. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

ดำรง ชุมมงคล และอภิสิทธิ์ เจริญกุล. 2533. การผลิตถ่านกัมมันต์ โดยใช้ NaCl เป็นสารกระตุ้น. **วิศวกรรมสาร**. 43: 96-99.

พลัฏฐ์ โสภณากิจโกศล. 2544. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวเพื่อใช้ในการดูดติดผิวโลหะโครเมียม. วิทยาพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พงศธร โค้วคชาภรณ์. 2538. ถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พงศ์ศักดิ์ โอชารส. 2539. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดโดยใช้เกลือแกงเป็นสารกระตุ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยมหิดล.

พรพิมล ห่อสุวรรณชัย. 2542. การบำบัดโลหะหนักบางชนิดในน้ำเสียชุมชนโดยวิธีหญ้ากรอง. วิทยาพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2538. **วิศวกรรมการประปา เล่ม 2.** สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2542. **เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม.** สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ลลิดา นิทัศนจารุกุล. 2544. การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยาพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เศรษฐกิจการพาณิชย์, กรม. 2521. **รายงานผลการศึกษาวิจัยเกลือทะเล.** โรงพิมพ์ข่าวพาณิชย์, กรุงเทพฯ.

สุจนีย์ คุ่ยเสงี่ยม. 2544. การกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว. วิทยาพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2532. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์.** มอก. 900-2532.

กรมควบคุมมลพิษ. 2549. กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html, 9 มิถุนายน 2549.

Amercan Society for Testing Materials. 1996. **Annual book of ASTM Standards**. MD., USA.

Cheramisinoff, P.N. and Morresi, A. C. 1978. **Carbon adsorption handbook**. Michigan: Ann Arbor Science., USA.

Davidson, H.W, Wigg, P.K.C., Chwehouuse, A.H., Maggs, F.A.P and Bradley, R.S. 1968. **Manufactured Carbon**. London: Pegamon press Ltd., UK.

Faust, S.D. and O.M. Aly. 1987. **Adsorption process for water treatment**. Butterworth Publ, USA.

Harrison, R.M. and Laxen, D. P. H. 1981. **Lead pollution : causes and control**. London: Chapman and Hall., UK.

Namasivayam, C. and Kadirvelu, K. 1999. Uptake of mercury (II) from waste by activated carbon from an unwanted agricultural solid by-product. **coirpith. Carbon** (37): 79-84.

Reed, B. E., Robertson, J. and Jamil, M. 1995. Regeneration of granular activated carbon (GAC) columns used for removal of lead. **Journal of Environmental Engineering**. 121: 653-662.

Schuliger, W. G. 1978. Techniques for obtaining and interpreting data and selscting the type of commercial system. Michigan: Ann Arbor Science., USA.

Yehaskel, A. 1978. **Activated carbon: Manufacture and regeneration**. New Jersey: Noyes Data Corporation., USA.