

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม

ปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทั้งหมด 49 โรงงาน เป็นโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน 17 โรงงาน ซึ่งสกัดน้ำมันโดยนำผลปาล์มด้วยไอน้ำและแยกเมล็ดในปาล์มออก แล้วสกัดน้ำมันจากส่วนเปลือก โดยมีกำลังการผลิตรวมมากกว่า 60 เพอร์เซ็นต์ของกำลังการผลิตรวมทั้งหมด มีการใช้น้ำในปริมาณมากและมีเศษวัสดุในรูปทะลายเปล่า เส้นใยปาล์ม กะลา และตะกอน ตลอดจนน้ำเสียในปริมาณมาก ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมได้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2546)

อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มในประเทศไทย

การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันและอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มของประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2522 มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน 155,000 ไร่ และเพิ่มเป็น 950,000 ไร่ ในปี พ.ศ. 2536 โดยมีผลผลิต 1,530,000 ตันทะลายปาล์ม มูลค่าประมาณ 2,600 ล้านบาท โดยพื้นที่การปลูกปาล์มน้ำมันมากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในภาคใต้ของประเทศไทย จึงมีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจของภาคใต้ จังหวัดที่มีการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันมากคือ กระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร ตรัง สตูล และสงขลา จึงก่อให้เกิดอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์มอยู่ในภาคใต้ด้วย ในปี พ.ศ. 2538 มีโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 49 โรงงาน โดยมีกำลังการผลิตรวม 405,000 ตันน้ำมันปาล์มดิบต่อปี โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน 17 โรงงาน มีกำลังการผลิตประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังการผลิตรวม โดยได้น้ำมัน 250,000 ตันน้ำมันปาล์มดิบต่อปี ทั้งการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันและการสกัดน้ำมันปาล์มมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อไป

การสกัดน้ำมันปาล์มนอกจากจะได้น้ำมันปาล์มดิบแล้ว ยังมีเศษวัสดุและของเสียหากจัดการไม่เหมาะสมจะมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมาก การสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน เมื่อใช้ทะลายปาล์มสด 1 ตัน จะมีน้ำเสียประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าบีโอดี 27 กิโลกรัม ซีโอดี 52 กิโลกรัม ของแข็งแขวนลอย 13 กิโลกรัม น้ำมันและไข 9 กิโลกรัม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2546)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณมลสารของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทั้งหมดกับปริมาณมลสารที่เป็นของเหลวจากบ้านเรือน (60 กรัม บีโอดีต่อคนต่อวัน) จะมีค่าเท่ากับการปล่อยของเสียโดยประชากรจำนวนประมาณ 3 ล้านคนต่อวัน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2546)

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม

1. การเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน (Oil palm plantation)

น้ำมันปาล์มสกัดจากส่วนเปลือก (Mesocarp) ของปาล์มน้ำมัน ปัจจุบันพันธุ์เทนเนอราให้ปริมาณน้ำมันสูงสุด ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 18 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (มีค่าสูงสุด 21 เปอร์เซ็นต์และต่ำสุด 16 เปอร์เซ็นต์) เมล็ดปาล์ม มีปริมาณ 120 กิโลกรัมต่อตันทะลายปาล์ม ซึ่งประกอบด้วยเมล็ดในปาล์ม (Kemel) ปริมาณ 60 กิโลกรัมต่อตันทะลายปาล์ม (5 เปอร์เซ็นต์ของทะลายปาล์มสด) ปริมาณน้ำมันในเมล็ดในปาล์มมีประมาณ 30 กิโลกรัมต่อตันทะลายปาล์ม (50 เปอร์เซ็นต์ของทะลายปาล์มสด) ดังนั้นปริมาณน้ำมันทั้งหมดของทะลายปาล์ม จึงอยู่ในช่วง 20 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ของทะลายปาล์มสด เมื่อรวมทั้งน้ำมันจากเมล็ดในปาล์ม การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันทั้งหมดอยู่ในภาคใต้ของประเทศ มีการประมาณพื้นที่ราบ และพื้นที่ลาดชันเพื่อให้เห็นภาพความเป็นไปได้ที่จะนำเศษวัสดุที่เป็นของเหลวจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ไปใช้ประโยชน์

2. กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน แหล่งของเศษวัสดุ

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน โดยการแยกน้ำมันด้วยแรงโน้มถ่วงในถังตกจมมีกระบวนการดังนี้

การรับและการเก็บทะลายปาล์มสดที่โรงงาน

หลังการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มสดจะส่งยังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแล้วนั้น ทะลายปาล์มสดจะถูกขนถ่ายลงบนพื้นที่รองรับ และใส่ในห้องขนาด 2.5-3.0 ตัน ระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวจนถึงการนึ่งทะลายปาล์มควรสั้นที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และไม่ควรมากกว่า 72 ชั่วโมง เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดกรดไขมันอิสระจากเอนไซม์ที่มีอยู่ในส่วนเปลือกปาล์ม น้ำมันปาล์มจากผลปาล์มสดมีกรดไขมันอิสระประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ หากทิ้งผลปาล์มไว้นานปริมาณกรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำมันมีปริมาณและคุณภาพลดลง

การนึ่งปาล์ม

การนึ่งทะลายปาล์มในแต่ละครั้งจะบรรจุทะลายปาล์มในหม้อฆ่าเชื้อที่มีความจุ 20 ถึง 30 ตันทะลายปาล์ม โดยใช้คู่อัจฉริยะ 7-9 คู่อัจฉริยะ ความจุ การนึ่งใช้ไอน้ำโดยใช้สภาวะต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการนึ่งปาล์มโดยใช้ไอน้ำ

ค่าที่กำหนด	สภาวะที่ต้องการ	หน่วย
อุณหภูมิ	120-130	องศาเซลเซียส
ความดัน	2	บาร์
ระยะเวลาทั้งหมดในการนึ่งแต่ละครั้ง	2	ชั่วโมง
ระยะเวลาที่ใช้ไอน้ำ	45-60	นาที
ไอน้ำทั้งหมดที่ใช้	200	กิโลกรัมต่อตัน
ไอน้ำที่สูญเสียไปในอากาศ	75	กิโลกรัมต่อตัน
น้ำเสียจากการนึ่งทะเลาะปาล์ม	150	กิโลกรัมต่อตัน
ปริมาณน้ำมันเริ่มต้น	180	กิโลกรัมต่อตัน
น้ำมันที่สูญเสีย	0.5	กิโลกรัมต่อตัน

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2546

การนึ่งทะเลาะปาล์มมีวัตถุประสงค์เพื่อขยับยั้งเอนไซม์ ซึ่งจะหยุดปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระ อันจะเป็นผลให้เกิดการสูญเสียน้ำมัน แต่การนึ่งปาล์มยังทำให้ผลปาล์มนุ่มหลุดร่วงจากทะเลาะปาล์มได้ง่าย และทำให้เนื้อเยื่อของผลปาล์มย่อยทำให้ง่ายต่อการหีบอัดน้ำมัน

การแยกผลปาล์ม

ทะเลาะปาล์มที่นึ่งเสร็จแล้วจะถูกถ่าเลียงเข้าเครื่องแยกผลปาล์มและทะเลาะปาล์มออกจากกันโดยใช้เครื่อง Rotary drum thresher ทะเลาะปาล์มเปล่าถูกแยกเก็บแล้วนำไปเผาเพื่อลดปริมาณวัสดุเหลือและเพื่อผลิตถ่านสำหรับใช้เป็นฟืนต่อไป กระบวนการในขั้นนี้มีปริมาณเศษวัสดุเกิดขึ้น แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณเศษวัสดุที่เกิดขึ้นในกระบวนการแยกผลปาล์ม

เศษวัสดุ	ปริมาณ (กิโลกรัมต่อตัน)
ทะเลาะปาล์มเปล่า (เศษวัสดุที่เป็นของแข็ง)	200-300
ปริมาณน้ำมันที่สูญเสีย	4.5
ความชื้นที่ระเหยไป	30

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2546

การย่อยผลปาล์ม

ผลปาล์มที่แยกได้จะถูกส่งไปยังเครื่องย่อย (Vertical steam-jacketed drum digesters) มีแผ่นตีผลปาล์มให้แตก โดยเติมน้ำร้อนเล็กน้อยเพื่อตีผลปาล์มให้ขุย ซึ่งจะถูกป้อนต่อไปยังขั้นตอนการสกัดน้ำมันต่อไป ซึ่งสิ่งที่เข้าและออกของกระบวนการนี้คือ ปริมาณไอน้ำที่ใช้ไป 20 กิโลกรัมต่อตัน ปริมาณน้ำร้อนที่ใช้ 65 กิโลกรัมต่อตัน ความชื้นที่ระเหยไป 30 กิโลกรัมต่อตัน

การสกัดน้ำมันและการจัดการเศษวัสดุที่เป็นของแข็ง

น้ำมันเกิดขึ้นจากส่วนเปลือกของผลปาล์มถูกสกัดด้วยเครื่องหีบเกลียวอัด และของผสมที่มีน้ำมันอยู่ จะมีปริมาณสารแขวนลอยสูง ในส่วนที่เป็นของแข็งประกอบด้วยเมล็ดและเส้นใยปาล์ม ซึ่งถูกทำให้ร้อนด้วยลมร้อน (135 องศาเซลเซียส) จนแห้ง แล้วแยกออกจากกันโดยใช้ไซโคลน เมล็ดปาล์มที่แยกได้จะถูกนำไปเข้าเครื่องกะเทาะ เพื่อแยกเมล็ดในกะลา โดยโรงงานสกัดน้ำมันส่วนใหญ่จะขายเมล็ดในปาล์มให้โรงงานสกัดน้ำมันเมล็ดใน จากนั้นจะนำเส้นใยปาล์มและกะลาไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อกำเนิดไอน้ำ โดยผลิตภัณฑ์และเศษวัสดุในขั้นตอนนี้แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลิตภัณฑ์และเศษวัสดุที่เกิดขึ้นในกระบวนการสกัดน้ำมัน

ผลิตภัณฑ์และเศษวัสดุ	ปริมาณ (กิโลกรัมต่อตัน)
น้ำมันปาล์มดิบ (ส่วนผสมของน้ำมัน น้ำ และเส้นใยปาล์ม)	400
ปริมาณน้ำมัน	170
ปริมาณน้ำ (ไอน้ำจากผลปาล์ม)	200
ของแข็งแขวนลอย	30
การระเหยของความชื้น	50
เศษวัสดุที่เป็นของแข็งทั้งหมด (ส่วนผสมของเส้นใยปาล์มและเมล็ด)	320
เมล็ดในปาล์ม (รวมน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 30 กิโลกรัมต่อตัน)	60
กะลา	60
เส้นใยปาล์ม	145
ไอน้ำที่ระเหยระหว่างการแยกเส้นใยปาล์ม	55

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2546

การทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ การกรองกาก และการกำจัดน้ำ

การกรองน้ำมันดิบ

การแยกน้ำมันจากของผสมที่มีน้ำมันอยู่จำเป็นต้องเติมน้ำร้อนลงไปใต้น้ำมันดิบ แล้วผ่านตะแกรงสั่น (Vibrating screen เป็นตะแกรงกรองเส้นใยปาล์มและชิ้นส่วนเล็กๆ ของส่วนเปลือกออกจากส่วนที่เป็นของเหลว) น้ำมันดิบที่ได้หลังการกรองยังมีอนุภาคขนาดเล็กและน้ำปนกันอยู่ ตะแกรงชนิดนี้มีพื้นที่ผิวมาก ทำให้มีการสัมผัสของน้ำมันและออกซิเจน ซึ่งทำให้คุณภาพน้ำมันลดลง โดยผลิตภัณฑ์และเศษวัสดุในขั้นตอนนี้คือ น้ำมันดิบ (ส่วนผสมของน้ำมัน น้ำ และเส้นใยปาล์มเล็กน้อย) 40 กิโลกรัมต่อตัน และเศษวัสดุที่เป็นของแข็งเล็กน้อย

การแยกน้ำมันในถังตกจม

วิธีการแยกน้ำมันและส่วนปนเปื้อน (น้ำและอนุภาคต่างๆ) เกิดขึ้นในถังตกจม โดยมีการให้ความร้อนด้วยไอน้ำโดยตรง หรือให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่อยู่ในท่อปิด และอาศัยแรงโน้มถ่วงตลอดจนการเติมน้ำร้อนเพื่อปรับปรุงการแยกน้ำมัน เครื่องมือและวิธีการนี้ให้ประสิทธิภาพการแยกอย่างจำกัดรวมทั้งกลไกในการควบคุม โดยเฉลี่ยสามารถแยกน้ำมันได้เพียง 30 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นกับอัตราการระบรทุกพื้นผิว (surface loading rate) และระยะเวลาที่ตั้งทิ้งไว้ น้ำมันที่แยกได้ยังคงมีอนุภาคต่างๆ ปนเปื้อน และส่วนผสมที่ปล่อยออกจากถังตกจมยังคงมีน้ำมันปะปนอยู่มาก การเพิ่มระยะเวลาที่อยู่ในถังตกจมและการใช้อุณหภูมิมีผลให้น้ำมันที่ได้มีคุณภาพลดลง โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มบางแห่งที่ใช้กระบวนการสกัดแบบมาตรฐาน โดยใช้เครื่องเหวี่ยงแยก 3-phase (เครื่อง Decanter) เครื่องนี้ไม่รวมอยู่ในกระบวนการสกัดแบบมาตรฐานที่ใช้ถังตกจมและเครื่องเหวี่ยงแยก (Separator) น้ำมันที่อยู่ส่วนบนของถังตกจมจะถูกส่งไปทำให้บริสุทธิ์ ของผสมส่วนล่าง (น้ำสลัดจ์) จะถูกรวบรวมไว้ในถังน้ำสลัดจ์ และจะถูกส่งไปแยกน้ำมันโดยเครื่องเหวี่ยงแยกต่อไป โดยผลิตภัณฑ์และเศษวัสดุในขั้นตอนนี้ (ถังตกจม) ประกอบด้วยรายละเอียดดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณผลิตภัณฑ์และเศษวัสดุที่เกิดขึ้นในกระบวนการแยกน้ำมันในถังตกจม

ผลิตภัณฑ์และเศษวัสดุ	ปริมาณ
ปริมาณน้ำร้อนที่ใช้	ไม่เกิน 320 กิโลกรัม ต่อตันทะลายปาล์ม
น้ำมันดิบ	95 กิโลกรัม ต่อตันทะลายปาล์ม
น้ำสลัดจ์	ไม่เกิน 625 กิโลกรัม ต่อตันทะลายปาล์ม
อุณหภูมิของกระบวนการ	>95 องศาเซลเซียส
อัตราการระบรทุกพื้นผิว	0.5-2 เมตร ต่อชั่วโมง
ระยะเวลาที่อยู่ในถัง	1-5 ชั่วโมง

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2546

การแยกและการกำจัดอนุภาคขนาดเล็กในน้ำมัน

น้ำมันดิบจากดงตกม (น้ำมันส่วนบน) จะผสมรวมกับน้ำมันที่แยกได้จากน้ำสลัดจ์ จะได้น้ำมัน 163 กิโลกรัมต่อตันทะเลสาปาล์ม การทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ในขั้นตอนสุดท้ายใช้วิธีเหวี่ยงแยก เศษวัสดุที่เป็นของแข็งจากการเหวี่ยงแยกมีเพียงเล็กน้อยซึ่งจะถูกแยกออก ขั้นตอนนี้จึงจัดว่าไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีเศษวัสดุจำนวนน้อยมาก

การกำจัดน้ำออกจากน้ำมัน

แม้ว่าขั้นตอนการแยกหลายขั้นตอนจะลดปริมาณน้ำของน้ำมันดิบ แต่น้ำมันที่ได้ยังคงมีน้ำอยู่จะถูกกำจัดออกด้วยการระเหยภายใต้สุญญากาศ น้ำมันปาล์มดิบที่บริสุทธิ์จะเก็บไว้ในถังเก็บจนกว่าจะส่งไปขายยังโรงกลั่นบริสุทธิ์ ขั้นตอนนี้ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะพบว่าผลิตภัณฑ์และเศษวัสดุจากการกำจัดน้ำออกจากน้ำมัน ประกอบด้วยรายละเอียดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณผลิตภัณฑ์และเศษวัสดุที่เกิดขึ้นในกระบวนการกำจัดน้ำออกจากน้ำมัน

ผลิตภัณฑ์และเศษวัสดุ	ปริมาณ
ปริมาณไอน้ำที่ใช้	10 กิโลกรัม ต่อตันทะเลสาปาล์ม
ปริมาณน้ำในการทำให้เย็น	300 กิโลกรัม ต่อตันทะเลสาปาล์ม
น้ำมันดิบที่บริสุทธิ์	163 กิโลกรัม ต่อตันทะเลสาปาล์ม
อุณหภูมิที่ใช้	95 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิของน้ำมันสุดท้าย	40 องศาเซลเซียส
น้ำเหลือเย็น (น้ำทิ้ง)	300 กิโลกรัม ต่อตันทะเลสาปาล์ม
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น	80 องศาเซลเซียส
ไอน้ำ (จากการทำให้แห้ง)	10 กิโลกรัม ต่อตันทะเลสาปาล์ม

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2546

การแยกน้ำมันออกจากน้ำสลัดจ์

จากกระบวนการในขั้นตอน 2.2.6.2 น้ำสลัดจ์ที่ออกจากดงตกมอยู่ในรูปอิมัลชันมีปริมาณน้ำมันสูง (ประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์) มีสารอินทรีย์ที่ละลายได้และแขวนลอยอยู่ในปริมาณสูงเช่นกัน ซึ่งมาจากอนุภาคของแข็งและสารที่ละลายน้ำของปาล์ม ส่วนที่เป็นน้ำยังประกอบด้วยเส้นใยปาล์มขนาดเล็กและทราย ของผสมนี้จะถูกส่งไปแปรรูปในขั้นตอนต่อไปเพื่อแยกน้ำมันและลดปริมาณสารอินทรีย์

- การกำจัดครวตทราย

น้ำสลัดจ์จากถังสลัดจ์จะถูกส่งเข้าเครื่องกำจัดครวตทราย ซึ่งใช้หลักการไฮโดรไซโคลนในการแยกอนุภาคของแข็งเป็นเม็ดทรายก่อนที่จะแยกน้ำมันออกโดยเครื่องเหวี่ยงแยกเพื่อป้องกันการอุดตัน และการกักครวอนในเครื่องเหวี่ยงแยก เครื่องนี้ถูกทำความสะอาดด้วยน้ำโดยมีเศษวัสดุที่เป็นของแข็งคือ เศษวัสดุหลังการกรองเล็กน้อย, ส่วนผสมของทรายกับน้ำ 10 กิโลกรัมต่อตันทะเลสาปาล์ม และน้ำที่ใช้ล้าง 5 กิโลกรัมต่อตันทะเลสาปาล์ม

- การเหวี่ยงแยก

ของผสมที่ผ่านเครื่องกำจัดครวตทรายจะถูกส่งไปเก็บรวบรวมในถัง จากนั้นจะถูกป้อนเข้าเครื่องเหวี่ยงแยก การใช้เครื่องนี้ต้องมีการเติมน้ำเข้าไปผสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแยกให้ได้สูงถึง 92.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีผลิตภัณฑ์และเศษวัสดุจากการเหวี่ยงแยกประกอบด้วยรายละเอียดดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณผลิตภัณฑ์และเศษวัสดุที่เกิดขึ้นในกระบวนการเหวี่ยงแยก

ผลิตภัณฑ์และเศษวัสดุ	ปริมาณ (กิโลกรัมต่อตัน ทะลายปาล์ม)
การใช้น้ำ (รวมทั้งการล้าง)	200
ปริมาณน้ำมันดิบที่ได้จากน้ำสลัดจ์	78
น้ำเสีย	742
รวมสารแขวนลอย	30
รวมน้ำมันที่สูญเสียน	7

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2546

ลักษณะสมบัติของเศษวัสดุ

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มไม่มีการเติมสารเคมี ดังนั้นสารต่างๆ ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ผลิตผลพลอยได้ และเศษวัสดุ จึงมาจากปาล์มน้ำมัน

ในแง่ของการใช้ประโยชน์หรือการบำบัด คุณลักษณะของเศษวัสดุจะอธิบายอยู่ในรูปฉบับสเตรตต่อไป

ตารางที่ 7 ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ของเศษวัสดุจากการสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน
ที่ใช้ตั้งคกจมร่วมกับเครื่องเหวี่ยงแยก

ชนิดของวัสดุ	มวลวัสดุ (กิโลกรัมต่อตัน)	บีโอดี (กรัมต่อลิตร)	ซีโอดี (กรัมต่อลิตร)	ของแข็งแขวนลอย (กรัมต่อลิตร)	น้ำมันที่สูญเสีย (กิโลกรัมต่อตัน)
ทะลายปาล์มเปล่า	230	-	-	-	4.5
เส้นใยปาล์ม	145	-	-	-	5.0
กะลา	60	-	-	-	-
เมล็ดใน	60	-	-	-	0
กากสลัดจ์	0	-	-	-	-
น้ำเสียจากบ่อดัก น้ำมันสุดท้าย	892	30	90	34	7.5
รวม	1387	-	-	-	17.0

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2546

การใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุที่เป็นของแข็ง

1. ทะลายปาล์มเปล่า

ทะลายปาล์มเปล่าจัดเป็นเศษวัสดุที่มีปริมาณมากที่สุด (คิดเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปาล์มสด) ในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

การนำทะลายปาล์มเปล่าเพื่อนำกลับไปใช้ในสวนปาล์ม เพื่อใช้เป็นปุ๋ยและสารปรับสภาพดิน จัดเป็นการใช้ประโยชน์ที่ควรให้ความสำคัญเป็นอันดับแรก มีแนวทางในการใช้ประโยชน์ของทะลายปาล์มเปล่าดังนี้

1) การใช้ทะลายปาล์มเปล่าเป็นวัสดุคลุมดิน เพื่อป้องกันการชะหน้าดิน ช่วยลดการสูญเสียความชื้นจากผิวหน้าดิน และใช้เป็นสารอาหาร ประโยชน์จะได้รับมาน้อยเพียงใดขึ้นกับชนิดของดินและสถานะของชั้นสัมพัทธ์ของสถานที่ ดังนั้นการช่วยป้องกันความชื้นจะมีความสำคัญในพื้นที่ที่แห้งแล้งมากกว่าบริเวณชายฝั่งทะเล

2) การใช้ทะลายปาล์มเปล่าเป็นปุ๋ย อย่างไรก็ตามปัญหาและอุปสรรคของการใช้ทะลายปาล์มเปล่า เป็นปุ๋ย มีหลายประการ ประการแรกคือทะลายปาล์มเปล่ามีปริมาณจำเพาะสูง ทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงในการขนส่ง และต้องจ่ายค่าแรงงานในการตกแต่ง ประการที่สองคือ การรบกวนจากหนู แมลงและตัวด้วง ซึ่งมีผลไปทำลายโดยการกัดกินยอดของต้นปาล์ม

นอกจากนี้มีการใช้ทะลายปาล์มเปล่าในการเพาะเห็ด แต่ยังมีนำไปใช้กันน้อย

การใช้ทะลายปาล์มเปล่าในการผลิตไม้อัดพาร์ติเคิล (Particle board) จะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุนี้ ข้อจำกัดการใช้ทะลายปาล์มเปล่าเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำคือการใช้ปริมาณความชื้นสูงและมีความร้อนต่ำ (ทะลายปาล์มเปล่าแห้งมีค่าความร้อนต่ำกว่า 10 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม) อย่างไรก็ตามการใช้ทะลายปาล์มเปล่าเป็นแหล่งเชื้อเพลิงไม่มีความจำเป็นมากนักเนื่องจากมีเศษวัสดุอื่น ๆ ดีกว่าเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มเป็นต้น นอกจากนี้การเผาไหม้ทะลายปาล์มเปล่า ทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ ได้แก่ ฝุ่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) มาตรการการป้องกันมลพิษทางอากาศ เช่น การกรอง หรือการดูดซับด้วยสารเคมี รวมทั้งระบบการควบคุมคุณภาพของอากาศ สิ่งเหล่านี้มีค่าใช้จ่ายสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของ Boiler house

การเผาทะลายปาล์มเปล่าเพื่อลดปริมาตรและได้ถ่านนั้นมีข้อเสียคือทำให้เกิดมลภาวะอันเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ควรหลีกเลี่ยงการใช้วิธีการนี้ เนื่องจากเป็นการสูญเสียแหล่งคาร์บอนที่สามารถใช้ในการปรับปรุงสภาพหน้าดิน แม้ว่าถ่านจะมีธาตุที่เป็นปุ๋ยและสามารถใช้ได้ง่ายในสวนปาล์มก็ตาม

2. เส้นใยปาล์ม (Palm fiber)

เส้นใยปาล์มมีปริมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ของทะลายปาล์ม เส้นใยปาล์มใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำ (ค่าความร้อนของเส้นใยปาล์มแห้ง มีค่าน้อยกว่า 5 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม) การนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ได้แก่ การใช้เป็นวัสดุสำหรับการย่อยสลายให้ได้น้ำตาล และเป็นอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยผสมในปริมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณที่สูงเกินไป (40-60 เปอร์เซ็นต์) มีผลให้การย่อยได้ของสัตว์ลดลง การปรับปรุงคุณภาพอาจทำได้โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือยูเรีย 5-6 เปอร์เซ็นต์แล้วหมัก 2-3 วัน การเสริมอาหารเส้นใยปาล์มด้วยโปรตีน เช่น ปลา ปั่น กากถั่วเหลือง และกากน้ำตาลทำให้การกินของสัตว์เพิ่มขึ้น

3. กะลา

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มใช้กะลาเป็นแหล่งเชื้อเพลิงสำหรับหม้อกำเนิดไอน้ำ (ค่าความร้อนของกะลาแห้งประมาณ 17 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม) แต่เนื่องจากนิยมใช้เส้นใยปาล์มมากกว่า จึงเกิดการสะสมของกะลาในโรงงาน การนำกะลาไปใช้ประโยชน์อีกอย่างหนึ่ง คือใช้ผลิตถ่านกัมมันต์

4. กากสลัดจ์

สำหรับโรงงานที่ใช้เครื่องเครื่องถ่ายของเหลว (Decanter) ในการแยกสกัดหรือ แยกน้ำมัน จะได้กากสลัดจ์เป็นเศษวัสดุสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยได้เช่นเดียวกับทะลาย ปลาย์มเปล่า

2.2 เส้นใยธรรมชาติ (กรมป่าไม้, 2548)

เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) เป็นอินทรีย์วัสดุที่สำคัญ หาได้ง่ายจากธรรมชาติ มี ปริมาณมาก สามารถเกิดขึ้นได้ใหม่เรื่อยๆ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้เส้นใย ธรรมชาติจึงนิยมใช้เป็นสารเติมแต่งในพลาสติก โดยอาจเป็นทั้งสารตัวเติม และสารเสริมแรง เพื่อ เป็นการลดต้นทุน เพิ่มปริมาณการผลิต และเสริมแรงแก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิด และขนาดของ เส้นใยที่นำมาใช้ โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยธรรมชาติประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่นๆ

เส้นใยปลาย์มที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ จัดเป็นเส้นใยธรรมชาติ ดังนั้นย่อมมีโครงสร้าง เหมือนกับเส้นใยชนิดอื่นๆ โดยมีองค์ประกอบดังนี้

ตารางที่ 8 อัตราส่วนขององค์ประกอบในเส้นใยปลาย์ม

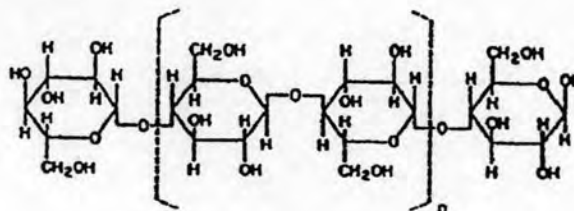
ชนิดขององค์ประกอบ	ร้อยละ
เซลลูโลส (Cellulose)	39.9
เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	28.9
ลิกนิน (Lignin)	20.3
สารประกอบอื่นๆ	3.6

ที่มา: Low และคณะ, 1993 และ จิรภรณ์ อารยเมธาเลิศ, 2542

เซลลูโลส

เซลลูโลส (Cellulose) เป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharides) ซึ่งเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ กัน มีสูตรโมเลกุลทั่วไปคือ $(C_6H_{12}O_5)_n$ เป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืช โดยพบร่วมกับลิกนิน เพนโตแซนแกมแทนนิน ไขมัน และสารที่ทำให้เกิดสี เป็นต้น

เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมากและ โครงสร้างของเซลลูโลสยังจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึก อุณหภูมิการหลอมตัวจึงสูงมาก มักจะเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว และมีความสามารถในการละลายต่ำ เซลลูโลสธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพคือ ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี ในทางอุตสาหกรรมจะหาน้ำหนักโมเลกุลโดยประมาณได้โดยการวัดความหนืด



รูปที่ 3.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส (ลัดดา ยาวีร์ชน, 2544)

ลักษณะสมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

เซลลูโลสไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในกรดเข้มข้น เช่น กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) และ กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid) เป็นต้น โดยเซลลูโลสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็วในสารละลายกรดที่อุณหภูมิห้อง แต่ปฏิกิริยาจะหยุดที่อุณหภูมิต่ำ โดยที่สารเซลลูโลสบวมตัวในสารละลายของเกลือเข้มข้นบางชนิด เช่น สารละลายอัลคาไลไฮดรอกไซด์ (Alkali hydroxide) บางครั้งทำให้เซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถละลายได้

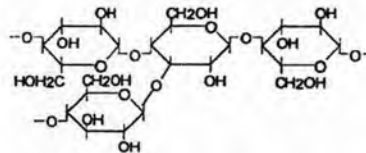
ความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญ อย่างหนึ่ง ของเซลลูโลส โดยถ้าเราเพิ่มความเข้มข้นของเซลลูโลส ความหนืดก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้มีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น

การดูดซับความชื้น เซลลูโลสส่วนใหญ่จะมีการดูดซับ หรือการคายไอน้ำ หรือของเหลวอื่นๆ ในบรรยากาศรอบตัวของมันจนกระทั่งถึงจุดสมดุล โดยสมดุลของความชื้นของเซลลูโลสจะแปรเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศนั้น ปริมาณความชื้นของเซลลูโลส

มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ เช่น เมื่อความชื้นสูงขึ้นจะมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) มีค่าเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของเซลลูโลสที่เป็นเส้นใยเดี่ยวจะไม่มีค่าความหนาแน่นที่แน่นอน โดยค่าความหนาแน่นจะแปรเปลี่ยนไปตามแหล่งที่มาหรืออาจเปลี่ยนไปเนื่องจากการปรับปรุงทางเคมี

เฮมิเซลลูโลส

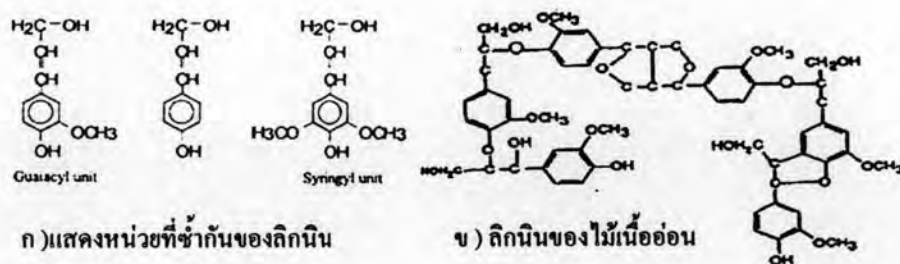
เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายเซลลูโลสแต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนส ไซโลส อะราบิโนส รวมทั้งกรดกลูโคนิก และกาแลกทูโรนิก เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่นๆ เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ พบมากในแกลบ ชังข้าวโพด เสกโซแซน สูตรทางเคมีคือ $(C_6H_{12}O_5)_2$ โครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สูตร โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส (กรมป่าไม้, 2548)

ลิกนิน

ลิกนิน (Lignin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนมีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิดซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา ตัวอย่างหน่วยที่ซ้ำกันของลิกนินดังแสดงในรูปที่ 3.3

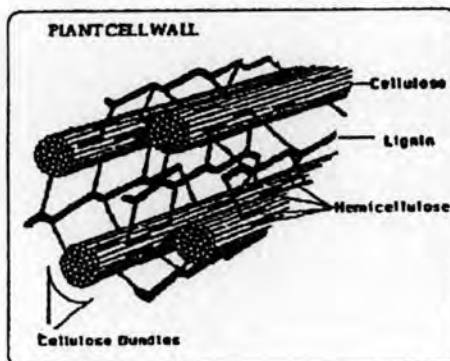


ก) แสดงหน่วยที่ซ้ำกันของลิกนิน

ข) ลิกนินของไม้เนื้ออ่อน

รูปที่ 3.3 ก) สูตร โครงสร้างของหน่วยซ้ำกันของลิกนิน ข) ลิกนินไม้เนื้ออ่อน (กรมป่าไม้, 2548)

ไม้แต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินไม่เท่ากัน ขึ้นกับ ชนิดและอายุของไม้ โดยไม้ที่มีลิกนินมาก จะมีความแข็งสูง และในไม้ชนิดเดียวกัน ไม้ที่มีอายุมาก จะมีปริมาณลิกนินมาก เช่นเดียวกัน โดยการจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้จะเป็นไปดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินในไม้ (กรมป่าไม้, 2548)

2.3 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4-7 โดยลักษณะทั่วไปของโลหะหนักจะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิปกติ ยกเว้นปรอท ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่มีคุณสมบัติคล้ายกัน ได้แก่ การนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาวสะท้อนแสงได้ดี และเหนียวสามารถตีเป็นแผ่นได้ ส่วนคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญ คือ มีเลขออกซิเดชัน (Oxidation number) ได้หลายค่า จึงสามารถรวมกับสารอื่นๆเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex compound) ได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อโลหะหนักรวมตัวกับสารอินทรีย์ (Organometallic compound) ซึ่งสามารถถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตโดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร เมื่อมีโลหะเหล่านี้แพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมโดยปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ และผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งจะทำให้สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์และสิ่งมีชีวิตได้ โดยจะส่งผลกระทบต่อเมตาบอลิซึมของเซลล์ของสิ่งมีชีวิตซึ่งอาจทำให้เกิดความพิการและเสียชีวิตได้ (เกษตรฯ พูลคำ, 2537)

โลหะหนักถูกนำมาใช้ประโยชน์มากในอุตสาหกรรม โดยในงานวิจัยนี้ได้นำโลหะหนักมาใช้ในการทดลอง 3 ชนิดคือ ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ทั้งนี้เพราะ โลหะเหล่านี้จัดเป็นโลหะที่มีการใช้งานสูง และเป็นโลหะผสมในโลหะหลายชนิด เช่น ทองแดงผสมกับสังกะสีจะได้เป็นทองเหลือง ทองแดงผสมอะลูมิเนียมจะได้บรอนซ์อะลูมิเนียม เป็นต้น (เล็ก สีคง, 2543)

2.3.1 ทองแดง (Copper; Cu)

ทองแดง เป็นธาตุแรกของหมู่ IB โดยมีเลขอะตอม 29 จัดเป็นโลหะและโลหะทรานซิชัน มีน้ำหนักอะตอม 63.54 มวลอะตอม จุดหลอมเหลว 1083 องศาเซลเซียส จุดเดือด (โดยประมาณ) 2582 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น (จากการคำนวณ) 8.94 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 20 องศาเซลเซียส และมีเลขออกซิเดชันสามัญ +1, +2

ทองแดงเป็นโลหะที่สกัดจากแร่ซึ่งมีส่วนผสมของทองแดงซัลไฟด์ ที่ใช้มากที่สุด โลหะหนึ่ง เพราะมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ นำความร้อนและไฟฟ้าได้ดี ไม่เป็นสนิม มีความเหนียวดี ขึ้นรูปง่าย มีสีสวย และสามารถผสมกับธาตุอื่นได้ดี

การใช้ประโยชน์

ทองแดงเป็นโลหะที่มีประโยชน์มากที่สุดและใช้มากที่สุดโลหะหนึ่ง รองจากเหล็ก

1. ใช้ทำเส้นลวดไฟฟ้า วงจรไฟฟ้าและเครื่องมือไฟฟ้าต่าง ๆ
2. ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง
3. ใช้ในการผลิตหม้อต้มน้ำ กาน้ำ ถังน้ำ ท่อน้ำ และขดลวด กัดต้มน้ำร้อน ฯลฯ
4. ใช้เคลือบผิวของโลหะ
5. ใช้ทำโลหะเจือ ทองเหลือง (brass) คือโลหะเจือของทองแดง (70 เปอร์เซ็นต์) และสังกะสี (30 เปอร์เซ็นต์) ทองสัมฤทธิ์ (bronze) เป็นโลหะเจือของทองแดง

ความเป็นพิษ

ทองแดงเป็นโลหะที่ร่างกายเราต้องการในปริมาณเล็กน้อย (Trace element) เช่น จำเป็นสำหรับกระบวนการเผาผลาญอาหาร (metabolism) ผู้ใหญ่ต้องการทองแดง 2 มิลลิกรัมต่อวัน และร่างกายของคนเรามีทองแดงอยู่ 100 – 150 มิลลิกรัมซึ่งทองแดงจำนวนนี้ มีความเข้มข้นสูงสุดที่ตับและกระดูก โลหิตของเราก็มีทองแดงอยู่ด้วย เป็นที่ทราบกันว่าการสร้างฮีโมโกลบินต้องอาศัยทองแดง ถึงแม้ฮีโมโกลบินจะไม่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้การสังเคราะห์เอนไซม์หลายชนิดต้องอาศัยทองแดงด้วย

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าทองแดงในปริมาณเล็กน้อยไม่เพียงแต่ไม่เป็นพิษ ยังเป็นสิ่งที่ร่างกายเราต้องการ แต่ถ้ามีในปริมาณสูงก็จะให้โทษและเป็นพิษได้ เช่น CuSO_4 27 กรัมทำให้ตายได้ ถ้ารับประทานปริมาณน้อยกว่านี้จะเกิดอาการอาเจียน เหน็บชา และสำคัญ

ทองแดงเป็นธาตุจำเป็นสำหรับพืชด้วย เช่น จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และเอนไซม์ของพืช

โลหะผสมทองแดง

ทองเหลือง (Brass)

มีสังกะสีไม่เกิน 40% ถ้าเกิน 40% ความเหนียวลดลงจนใช้งานไม่ได้ดี แต่หากมีปริมาณสังกะสีไม่เกิน 15% จะมีสีคล้ายทองคำสวยงามและมีค่าจึงใช้ทำเหรียญตราและเครื่องดนตรี

บรอนซ์ (Bronze)

ทองสำริด (Tin bronze)

เป็นการผสมระหว่างโลหะทองแดงกับดีบุก ใช้ทำระฆังในวัด
ทำสปริง

บรอนซ์อะลูมิเนียม (Aluminum bronze)

บรอนซ์อะลูมิเนียม หมายถึง โลหะผสมของทองแดงที่มีอะลูมิเนียมเป็นธาตุผสมหลักปริมาณอะลูมิเนียมในบรอนซ์ที่นิยมมีประมาณ 9-11 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก บรอนซ์ชนิดนี้ มีข้อดีคือ

- เป็นบรอนซ์ที่สามารถชุบแข็งได้ เหนียวแข็งแรงจะขึ้นได้สูงถึง 100 กิโลปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Ksi) หลังการชุบแล้ว
- คงกำลังวัสดุได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 4000 องศาเซลเซียส ได้อย่างสบาย
- ทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิสูงเพราะมีอะลูมิเนียม
- ทนทานต่อการผุกร่อนในภาวะทั่วไป
- ทนทานต่อการสึกกร่อน
- มีสีเหลืองอร่ามคล้ายทอง 18 กระรัต ใช้ทำเครื่องประดับและเครื่องตกแต่งได้ (ทองคำ 100 เปอร์เซ็นต์ มี 24 กระรัต)

ธาตุอื่นๆ ที่นิยมผสมเข้าไปในบรอนซ์อะลูมิเนียมได้แก่ นิกเกิล เหล็ก และ แมงกานีส ธาตุทั้งสาม ต่างช่วยเพิ่มกำลังวัสดุให้กับบรอนซ์ นิกเกิลเพิ่มความทนทานต่อการผุกร่อนให้มากขึ้นไปอีก เหล็กและแมงกานีสช่วยทำให้บรอนซ์นี้มีขนาดของเกรนละเอียดและยังช่วยคงความแข็งแรงให้กับโลหะมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย

โลหะนี้เหมาะสำหรับทำปั๊มที่ใช้ในงานเหมือง อุปกรณ์ในเรือเดินสมุทร วาล์ว คอวาล์ว (Valve seat) สลักและเป็นเกลียว เครื่องตกแต่ง และเครื่องมืออื่น ๆ

บรอนซ์ซิลิคอน (Silicon bronze)

บรอนซ์ซิลิคอนเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงกับซิลิคอน โดยทั่วไปมีซิลิคอนประมาณ 1-4 เปอร์เซ็นต์ หากมีซิลิคอนน้อยกว่านี้ ผลสืบเนื่องของซิลิคอนที่มีต่อบรอนซ์จะมีไม่เด่นชัด แต่ถ้าซิลิคอนมีมากเกินไปจะทำให้โลหะแข็งมากเกินไปจนขึ้นรูปลำบากมาก

ธาตุอื่นที่ผสมเข้าโลหะเพื่อส่งเสริมให้มีกำลังวัสดุเพิ่มขึ้นโดยใช้ปริมาณของซิลิคอนน้อยลง ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส คีนิก สังกะสี และ นิกเกิล บรอนซ์ชนิดนี้ต้องมีตะกั่วปนอยู่ไม่เกิน 0.05 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก หากมากกว่านี้จะทำให้เปราะแตกหักเมื่อร้อน ทำให้การขึ้นรูปร้อนทำได้ลำบากมาก

บรอนซ์ซิลิคอนเป็นบรอนซ์อีกกลุ่มหนึ่งที่ทำให้กำลังวัสดุสูงมาก ทนทานต่อการผุกร่อนทั่วไปที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิสูงได้ดีกว่าบรอนซ์ดีบุก จึงใช้แทนบรอนซ์ดีบุกเมื่อต้องการโลหะที่มีคุณภาพดีกว่า

โลหะนี้เหมาะสำหรับทำท่อในเครื่องไฮดรอลิก ท่อร้อยสายไฟ สลักและแป้นเกลียว เพลา หม้อต้มภาชนะใส่สารเคมี เป็นต้น

บรอนซ์เบริลเลียม (Beryllium bronze)

บรอนซ์ชนิดนี้เป็นบรอนซ์อีกกลุ่มหนึ่งที่สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้โดยกรรมวิธีทางความร้อนและมีความทนทานต่อการกัดกร่อนดีมาก ทนทานต่อการล้า นำไฟฟ้าได้ดีพอสมควรและไม่เป็นสารแม่เหล็ก นอกจากนี้ยังมีสมบัติพิเศษคือ ไม่เกิดประกายไฟเมื่อถูกตีหรือกระทบกระแทก เหมาะสำหรับทำสปริงแผ่นไดอะแฟรม หน้าสัมผัสทางไฟฟ้า ซอกเก็ต (Sockets) ทำเครื่องมือในงานจุดเจาะระเบิด (non-sparking tools) และชิ้นส่วนทางโครงสร้างอื่น ๆ ที่ต้องการกำลังวัสดุมาก ๆ

ทองแดงโครเมียม (Chromium bronze)

บรอนซ์โครเมียมคือ โลหะผสมระหว่างทองแดงกับโครเมียม ส่วนผสมที่นิยม คือ 1 เปอร์เซ็นต์โครเมียม บางครั้งก็เรียกว่าทองแดงโครเมียม (Chromium copper) บรอนซ์ชนิดนี้มีค่าการนำไฟฟ้าสูงและมีกำลังวัสดุสูง เหมาะจะใช้งานที่มีอุณหภูมิสูง

ตัวอย่างการใช้งานที่สำคัญ คือ เป็นหน้าสัมผัสทางไฟฟ้า และชิ้นส่วนทางโครงสร้างที่เป็นตัวนำไฟฟ้าด้วย (1 เปอร์เซ็นต์ของโครเมียม)

ทองแดงนิกเกิลแอลลอย (Cu-Ni alloy)

ทองแดงอาจมีนิกเกิลผสมอยู่ประมาณ 4-30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเพื่อให้มีกำลังวัสดุสูง ทนทานต่อการผุกร่อนได้ดีมาก ใช้ทำท่อกัน (Condenser tube) ปลอกกระสุนปืน ลูกกอล์ฟ เนื่องจากโลหะนี้มีคุณค่าของมันพอสมควร จึงนิยมใช้ทำเหรียญกษาปณ์ เช่น เหรียญบาท และเหรียญห้าบาท

นิกเกิลเงิน (nickle silver)

นิกเกิลเงิน ที่จริงเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดง สังกะสี และนิกเกิล ไม่มีส่วนผสมของเงินอยู่เลย ที่เรียกชื่อนี้เป็นเพราะโลหะชนิดนี้มีสีขาวคล้ายเงิน การใช้งานในช่วงแรก ๆ ของการค้นพบส่วนใหญ่ใช้แทนภาชนะที่ทำด้วยเงิน ทำให้ได้โลหะที่มีราคาถูกลง แต่ยังมีสีสนิมที่น่านิยมนำมาใช้ และควมมีคุณค่า ที่จริงสีของนิกเกิลเงินอาจไม่เป็นสีขาว แต่จะมีสีออกชมพูเรื่อย ๆ หรือฟ้าเรื่อย ๆ หรือเหลืองเรื่อย ๆ ก็ได้ ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของนิกเกิลสังกะสี และทองแดงที่อยู่ในโลหะนั้น โลหะนี้เหมาะสำหรับทำเครื่องประดับ ชิป ถาด งาน ช้อน ส้อม อุปกรณ์ในกล้องจายรูป แผ่นป้าย เป็นต้น

2.3.2 นิกเกิล

นิกเกิลมีเลขอะตอม 28 เป็นธาตุที่ 3 ในคาบที่ 4 ของหมู่ VIII ในตารางธาตุ จัดเป็นโลหะและโลหะทรานซิชัน โดยมีน้ำหนักอะตอม 58.71 amu จุดหลอมเหลว 1453 องศาเซลเซียส จุดเดือด (โดยประมาณ) 2730 องศาเซลเซียส และมีเลขออกซิเดชันสามัญ +2, +3

นิกเกิลถูกค้นพบได้เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1751 โดย Cronstedt ในปี ค.ศ. 1804 Richter สามารถเตรียมนิกเกิลที่ค่อนข้างบริสุทธิ์และได้ศึกษาถึงสมบัติของนิกเกิล และในปี ค.ศ. 1870 Fleitmann พบว่าถ้าผสมแมกนีเซียมเล็กน้อยกับนิกเกิล จะสามารถนำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้

การใช้ประโยชน์

มากกว่ากึ่งหนึ่งของโลหะนิกเกิลที่ผลิตได้ทั้งหมดใช้ในอุตสาหกรรมโลหะเจือ (alloy) เช่น เหล็กกล้าปลอดสนิม (stainless steel) ที่นิยมนำชนิดหนึ่งมีนิกเกิล 8 เปอร์เซ็นต์ และโครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบ โลหะเจือ wrought และ cast มีนิกเกิลสูงกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ (ที่เหลือเป็น โครเมียม, เหล็ก และโลหะอื่น ๆ) ใช้ทำแม่เหล็กถาวร โลหะเจือที่สามารถต้านทาน ไฟฟ้า เป็นต้น การใช้ประโยชน์อื่น ๆ ของนิกเกิล เช่น

1. ใช้ชุบโลหะ
2. ใช้เป็นตัวเร่งสำหรับปฏิกิริยาบางประเภท (ตัวเร่งเรียกว่า Raney nickel) เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของน้ำมันพืช
3. แบตเตอรี่สะสมแบบอัลคาไลน์ (alkaline storage battery)
4. อิเล็กโทรดเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell electrodes)
5. อุตสาหกรรมเซรามิกส์
6. ใช้เป็นโลหะประดับและอื่น ๆ



ความเป็นพิษ

ถึงแม้ निकิลจะอยู่คาบเกี่ยวกันกับเหล็ก (Fe) และโคบอลต์ (Co) ซึ่งอาจคาดว่ามีผลต่อร่างกาย แต่กลับปรากฏว่า निकิลไม่มีผลทางสรีระต่อทั้งสัตว์และพืช निकิลและสารประกอบของ निकิลทั่วไปเป็นพิษต่อร่างกายในเกณฑ์ต่ำหรือจัดว่าไม่เป็นพิษก็ได้ (เข้าสู่ร่างกายโดยทางอาหาร) อย่างไรก็ตาม निकิลในรูปของผงหรือฝุ่นติดไฟง่ายและเป็นพิษ ระดับการทนได้ของผง निकิลในอากาศ คือ 1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ

โลหะ निकิลที่มีการใช้งานในปัจจุบัน

นิกเกิลและนิกเกิลผสมน้อย (Nickel and low alloy nickel)

นิกเกิลค่อนข้างบริสุทธิ์ได้รับการใช้งานในอุตสาหกรรมเคมี เช่น โรงงานทำโซดาไฟ อุตสาหกรรมประกอบอาหาร และชิ้นส่วนในวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ นิกเกิลผสมน้อยที่นิยมใช้กัน ได้แก่พวกที่ผสมด้วยอะลูมิเนียมประมาณ 4.5 เปอร์เซ็นต์ และมีชื่อทางการค้าว่า ดิวรา นิกเกิล (duranickel) อะลูมิเนียมช่วยเพิ่มทนไฮดรอกไซด์และยัลด์สเตร็งของนิกเกิลได้มากถึงประมาณ 3 ถึง 10 เท่าตามลำดับ จัดเป็นพวกที่มีกำลังวัสดุสูง เหมาะสำหรับการทำสปริง แผ่นโคอะเฟรม ฯลฯ

นิกเกิลที่ผสมด้วยแมงกานีสประมาณ 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีชื่อทางการค้าว่า ดินิกเกิล (D-nickel) เป็นพวกที่เหมาะสมสำหรับใช้งานในบรรยากาศที่มีซัลเฟอร์ปนอยู่ได้ดี นิยมใช้ทำขั้วหัวเทียนของเครื่องยนต์และสายไฟหัวเทียน

นิกเกิลเกรดที่ใช้หล่อทำอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต้องใช้กับสารเคมีอย่างเช่น โซดาไฟ เป็นพวกที่มีธาตุผสมอยู่อย่างละเล็กละน้อยเพื่อให้สมบัติหล่อหลอมดีขึ้น

กลุ่มโลหะนิกเกิลผสมมากที่ทนทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี (High alloy nickel)

นิกเกิลกลุ่มนี้ได้แก่ โมเนล (monel) และ แฮสเทลลอย (hastelloy)

โมเนล เป็นโลหะผสมระหว่างนิกเกิลกับทองแดงในอัตราส่วนประมาณ 2 : 1 โดยน้ำหนัก ธาตุผสมอื่น ๆ ที่สำคัญ คือ เหล็ก แมงกานีส และอะลูมิเนียม โมเนลมีความทนทานต่อการกัดกร่อนและน้ำทะเลได้ดีมากจึงใช้ทำภาชนะอุปกรณ์สำหรับงานด้านนี้ เช่น ทำท่อและชิ้นส่วนในเครื่องส่งผ่านความร้อน ทำชิ้นส่วนของวาล์วของปั๊ม ทำสปริง เป็นต้น นอกจากนี้โมเนลยังไม่ดูดซับแม่เหล็ก จึงใช้ทำชิ้นส่วนที่ต้องใช้ในที่อุณหภูมิสูงและต้องไม่เป็นแม่เหล็กในอากาศเย็น

แฮสเทลลอยเป็นโลหะผสมระหว่างนิกเกิลกับ โมลิบดีนัมเป็นหลัก (ยกเว้นแฮสเทลลอย-ดี ซึ่งไม่มีโมลิบดีนัมผสมอยู่) เป็นโลหะผสมที่มีชื่อเสียงในด้านทนทานต่อการถูกกัดกร่อนจากสารเคมีได้ดีมาก

ซูเปอร์อัลลอยกลุ่มนิกเกิล (Ni-base Superalloys)

ซูเปอร์อัลลอย หมายถึง กลุ่มโลหะที่สามารถคงความแข็งแรงได้จนถึงอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 10000 องศาเซลเซียส พวกที่ใช้กันมากมี 3 กลุ่มคือ

- (1) กลุ่มเหล็กไร้สนิมที่มีนิกเกิลผสมอยู่มากเป็นพิเศษ
- (2) ซูเปอร์อัลลอยกลุ่มนิกเกิล
- (3) ซูเปอร์อัลลอยกลุ่มโคบอลต์

ซูเปอร์อัลลอยมีธาตุต่าง ๆ ผสมอยู่มาก ตัวที่สำคัญมากคือโครเมียม ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้โลหะถูกออกซิไดซ์ในอุณหภูมิสูง ทั้งยังช่วยเพิ่มความแข็งแรง ธาตุผสมสามัญอื่นๆ ได้แก่ C, Al, Ti, Mo, B, Zr และ Nb ธาตุเหล่านี้ช่วยกันส่งเสริมให้โลหะมีความแข็งแรงในอุณหภูมิสูง ข้อเสียของการผสมธาตุหลายๆ ในนิกเกิลก็มีคือ ในบางภาวะธาตุเหล่านี้จะรวมตัวกันเป็นสารประกอบและเกิดเป็นเฟสที่เปราะขึ้นในเนื้อโลหะ ทั้งยังทำให้ความทนทานต่อการถูกกัดกร่อนลดลง

ซูเปอร์อัลลอยเป็นโลหะที่มีราคาค่อนข้างแพง เพราะทั้งตัวโลหะหลักและธาตุผสมต่างมีราคาแพงงานวิศวกรรมนิยมใช้ซูเปอร์อัลลอยของนิกเกิล ทำชิ้นส่วนและใบของเครื่องยนต์เจ็ท (jet) และในเครื่องยนต์กังหันก๊าซในโรงไฟฟ้า

นิกเกิลอัลลอย (Nickel alloy)

ใช้ทำลวดความต้านทานไฟฟ้า ที่นิยมใช้กันมี 3 กลุ่มคือ ไนโครม ไนโครมที่ผสมเหล็ก และคอนสแตนแทน (constantan) โดยสำหรับคอนสแตนแทนมีสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิน้อยมาก จึงนิยมใช้ทำลวดวัดอุณหภูมิ (thermocouple wire) ด้วย

2.3.3 สังกะสี (Zinc; Zn)

สังกะสีมีเลขอะตอม 30 เป็นธาตุแรกของหมู่ II B จัดเป็นโลหะ โดยมีน้ำหนักอะตอม 65.37 หน่วยมวลอะตอม (atomic mass unit; amu) จุดหลอมเหลว 419.5 องศาเซลเซียส จุดเดือด 907 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 7.133 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส และมีเลขออกซิเดชันสามัญ +2

สังกะสีเป็นโลหะที่มีความสำคัญอยู่ในลำดับที่ 4 รองมาจากเหล็กกล้า อะลูมิเนียม และทองแดง เนื่องจากสังกะสีมีเลขออกซิเดชันได้เพียงค่าเดียวคือ +2 และขาดสมบัติทั่วไปของธาตุทรานซิชัน ในปัจจุบันจึงไม่จัดสังกะสีเป็นโลหะทรานซิชัน แต่เรียกว่าเป็นธาตุหลังทรานซิชัน (post transition element) (ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, 2549)

-การค้นพบ

มนุษย์รู้จักนำสังกะสีมาใช้ประโยชน์เป็นเวลานานแล้ว แต่การรู้จักสังกะสีในรูปของโลหะหรือธาตุอิสระเกิดขึ้นหลังมากเมื่อเปรียบเทียบกับทองแดงและตะกั่ว เพราะในสมัยโบราณมักใช้สังกะสีในรูปของโลหะเจือ เริ่มมีการถลุงและสกัดสังกะสีที่ไม่บริสุทธิ์ในประเทศจีนและอินเดียประมาณปี ค.ศ. 1000 และได้มีการนำสังกะสีที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ (เรียกว่า slab zinc หรือ spelter) เข้าไปยังยุโรปในศตวรรษที่ 17 ซึ่งในขณะนั้นยังไม่ได้มีชื่อเป็นทางการสำหรับโลหะนี้และได้มีการเรียกชื่อต่าง ๆ กัน เช่น tutanege, Indian tin, calamine หรือ spiauter จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1697 Lohneyes เรียกชื่อธาตุนี้ว่า "Zink" ซึ่งต่อมากลายเป็น "zinc" (ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, 2549)

การใช้ประโยชน์

1. ใช้ประโยชน์ในรูปของโลหะเจือ เช่นกับทองแดง (Cu) และอะลูมิเนียม (Al) ในการผลิตแผ่นโลหะเจือ
2. ใช้เคลือบผิว (galvanizing) เหล็กกล้าเพื่อป้องกันการขึ้นสนิมของเหล็กกล้า
3. ใช้เติมในยางและสี
4. อื่น ๆ เช่น ชิ้นส่วนของรถยนต์ พิวไฟฟ้า อะโนดของเซลล์ไฟฟ้า ถ่านไฟฉาย (dry cell) และเตรียมสารเคมีของสังกะสี

ความเป็นพิษ

สังกะสีในรูปธาตุไม่ปรากฏเป็นพิษ และตามความเป็นจริงแล้ว สังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของคนและสัตว์ แต่สารประกอบหลายชนิดอาจเป็นพิษ แต่จัดอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ เพราะสามารถถูกขจัดออกจากร่างกายอย่างรวดเร็ว สังกะสีในรูปผงอาจติดไฟโดยตนเองและเกิดการระเบิดได้

การใช้งานทั่วไป

ในประเทศไทยนั้นสังกะสีถูกนำมาใช้เป็นปริมาณ 91,872 ตันในปี 2546 (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2549) และมีแนวโน้มในการใช้งานเพิ่มขึ้นเรื่อยมา โคนมีการใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆมากมาย ได้แก่

อุตสาหกรรมชุบเหล็ก

เนื่องจากสังกะสีมีคุณสมบัติทนต่อการผุกร่อนได้ดี ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นและอากาศเข้าถึงเนื้อเหล็กจนทำให้เหล็กเกิดสนิม อุตสาหกรรมเหล็กชุบในประเทศไทยจึงนิยมใช้โลหะสังกะสีเป็นตัวเคลือบชุบเหล็กกล้า เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมแผ่นเหล็กชุบสังกะสี ลวดเหล็กชุบสังกะสี ข้อต่อท่อเหล็กชุบสังกะสี ข้อต่อท่อเหล็กชุบสังกะสี ลวดเหล็กชุบสังกะสี เป็นต้น โดย 70 เปอร์เซ็นต์ สังกะสีภายในประเทศจะถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมดังกล่าวมานี้

อุตสาหกรรมทองเหลือง

ทองเหลืองเป็นโลหะผสมที่เกิดจากการนำเอาทองแดงมาผสมสังกะสี โลหะทองเหลืองมีความแข็งแรง ทนต่อการผุกร่อน สามารถนำมาขึ้นรูปหรือหล่อผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้จึงนิยมใช้ทำอุปกรณ์ตกแต่งบ้านภายใน และเครื่องประดับต่าง ๆ ในประเทศไทยมีการใช้โลหะสังกะสีในอุตสาหกรรมทองเหลืองประมาณ 11 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการใช้โลหะสังกะสีทั้งหมด

อุตสาหกรรมโลหะผสมสังกะสี (Die Casting Alloy No.3, Zamak – 3)

โลหะผสมสังกะสี คือ โลหะผสมที่มีสังกะสีเป็นเนื้อหลักมีธาตุอื่น ๆ เช่น อะลูมิเนียมและแมกนีเซียม ผสมเข้าไปด้วยทำให้มีความแข็งแรงกว่าโลหะสังกะสีธรรมดา ทนต่อการผุกร่อนได้ดี นำมาหล่อเป็นรูปต่าง ๆ ได้ง่าย และคงขนาดแม่นยำ จึงใช้มากในอุตสาหกรรมหล่อผลิตภัณฑ์ เช่น คาร์บูเรเตอร์ มือจับประตูของเด็กเล่น ตะแกรงหน้าของรถยนต์ บานพับประตู เป็นต้น

อุตสาหกรรมสังกะสีออกไซด์ (Zinc Oxide)

สังกะสีออกไซด์ คือสารประกอบของสังกะสีที่มีสภาพเป็นแข็งหรือผง ใช้ในอุตสาหกรรมยาง สีเซรามิก ยา และ อาหารสัตว์ สังกะสีออกไซด์เกิดจากการนำสังกะสีมาหลอมละลายจนระเหยกลายเป็นไอ เมื่อสังกะสีกระทบกับอากาศจะรวมตัวกับออกซิเจนกลายเป็นออกไซด์ซึ่งมีลักษณะเป็นแข็งหรือผง มีขนาดแตกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งาน ในประเทศไทยมีการใช้โลหะสังกะสีในอุตสาหกรรมสังกะสีออกไซด์ประมาณ 11 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการใช้โลหะสังกะสีทั้งหมดภายในประเทศ

อุตสาหกรรมปลอกถ่านไฟฉาย

ปลอกถ่านไฟฉายทำจากโลหะผสมสังกะสีที่มีปริมาณของแคดเมียมร้อยละ 0.05 และปริมาณเหล็กไม่เกินร้อยละ 0.005 การที่มีปริมาณของเหล็กต่ำ ก็เพื่อช่วยลดการผุกร่อนของปลอกถ่านไฟฉายทำให้เก็บไว้ได้นาน ส่วนการเติมแคดเมียมนั้นเป็นการช่วยให้โลหะผสมสังกะสีขึ้นรูปเป็นปลอกถ่านไฟฉายได้ง่ายขึ้นในประเทศไทยใช้โลหะสังกะสีมาทำปลอกถ่านไฟฉาย 6 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการใช้โลหะสังกะสีทั้งหมด

2.4 ทฤษฎีการดูดซับ (เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, 2542)

การดูดซับ(Adsorption) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส โดยเกิดที่พื้นที่ผิวสัมผัส (Interface) ซึ่งเป็นพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวและก๊าซ ของแข็งกับก๊าซ ของแข็งกับของเหลว และของเหลวกับของเหลว สารที่พื้นผิวเกิดการดูดซับขึ้น เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) ส่วนสารที่ถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นในการดูดซับ อาจเป็นแรงที่ไม่เจาะจง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือแรงที่มีลักษณะเจาะจง ซึ่งเป็นแรงที่อยู่ในรูปของพันธะเคมี

2.4.1 พฤติกรรมการดูดซับของสาร

พฤติกรรมการดูดซับที่เกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ สามารถจำแนกได้เป็น 4 ชนิด คือ การดูดซับทางกายภาพ(Physical Adsorption) การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) การดูดซับแลกเปลี่ยน (Exchange Adsorption) และการดูดซับแบบเจาะจง (Specific Adsorption) การดูดซับทางกายภาพ เกิดขึ้นเมื่อมีการดูดซับโดยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อนๆ และเป็นแรงที่ไม่กำหนดทิศทาง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือพันธะไฮโดรเจน ซึ่งมีทิศทางและยังพบว่าไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากตัวดูดซับจะทำได้ง่ายและการดูดซับอาจเกิดขึ้นกันแบบหลายชั้น (Multilayer)

2.4.1.1 การดูดซับทางเคมี

เป็นพฤติกรรมที่เกิดขึ้นระหว่างตัวถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ โดยเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น ส่งผลให้มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมใหม่ เป็นสารประกอบใหม่ขึ้นมา ซึ่งพันธะระหว่างอะตอมมักจะแข็งแรง มีพันธะกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องและมีการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer)

2.4.1.2 การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน

เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดเป็นไอออนที่มีประจุกับตัวดูดซับที่มีประจุตรงกันข้าม หรือเกิดเนื่องจากการแทนที่ประจุที่อยู่บนผิวของตัวดูดซับด้วยไอออนของตัวถูกดูดซับ

2.4.1.3 การดูดซับแบบเจาะจง

เกิดขึ้นเนื่องมาจากมีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชันนัลอยู่บนผิว แต่ไม่ได้มีผลทำให้ตัวถูกดูดซับเปลี่ยนโครงสร้างไปพฤติกรรมดูดซับชนิดนี้ จะมีพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี ในการดูดซับที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบ การดูดซับกายภาพ การดูดซับเคมี การดูดซับแลกเปลี่ยน หรือการดูดซับแบบเจาะจงขึ้นอยู่กับชนิดของคู่ตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับนั้น

2.4.2 วัสดุดูดซับ

วัสดุดูดซับสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม ตามพฤติกรรมของการดูดซับ ดังนี้ คือ

1) กลุ่มที่ได้จากพืชประเภทพรุน

วัสดุกลุ่มนี้จะมีรูพรุนขนาดเล็กมากกระจายอยู่ทั่วไป ตามพื้นที่ผิวของวัสดุ ตัวถูกดูดซับสามารถดูดซับไว้ที่ผิวของวัสดุในลักษณะเป็นชั้น (Layer) ทำให้วัสดุกลุ่มนี้สามารถใช้ในการดูดซับได้ โดยความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนและการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอน ถ้าปริมาณคาร์บอนสูงจะดูดซับได้ดี เช่น แกลบเผา ถ่าน และถ่านกัมมันต์

2) กลุ่มแร่ธาตุจากธรรมชาติ

วัสดุกลุ่มนี้ภายในโครงสร้างจะประกอบด้วยแผ่นซิลิกาเตตระไฮดรอลเชื่อมต่อกันกับแผ่นอลูมินาออกไซด์ไฮดรอล การดูดซับไอออนของตัวดูดซับเกิดจากการที่มีการแตกหักของพันธะเคมีภายในโครงสร้าง ทำให้เกิดประจุค้ำข้างขึ้น โดยมีประจุค้ำข้างเป็นลบ ดังนั้นจึงสามารถดึงดูดประจุบวกที่มีอยู่ในสภาพมีโมเลกุลน้ำล้อมรอบ (Hydrated) ไว้ที่ผิวของมันได้ด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต เช่น ดินขาวหรือเกาหิน เบนโทไนต์ และซีโอไลต์

2.4.3 ขั้นตอนที่เกิดขึ้นในการดูดซับ

ขั้นตอนสำคัญที่เกิดขึ้นในการดูดซับ มี 4 ขั้นตอน ดังนี้

1) การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าหาคาร์บอน หรือสารดูดซับในกรณีของคาร์บอนแบบผง การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกวนน้ำจนทำให้เกิดความปั่นป่วน แต่ในกรณีของคาร์บอนแบบเกร็ด การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นมีกลไกเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในเครื่องกรองน้ำ

2) फिल्मของน้ำห่อหุ้ม (Film Diffusion) เมื่อโมเลกุลของตัวถูกละลายเข้ามาถึงคาร์บอนซึ่งตามปกติมีฟิล์มของน้ำห่อหุ้มอยู่โดยรอบคล้ายเยื่อต่างๆ โมเลกุลต้องแทรกตัวผ่านฟิล์มน้ำให้ได้ จึงจะเข้าถึงผิวคาร์บอนได้

3) การแพร่ตามช่องว่าง (Pore Diffusion) เนื่องจากคาร์บอนมีพื้นที่ผิวส่วนใหญ่อยู่ที่โพรง หรือช่องว่างภายในโมเลกุลของตัวถูกละลาย จึงต้องแทรกตัวเข้าไปถึงช่องว่างภายในคาร์บอน จึงจะมีการดูดซับเกิดขึ้น

4) โมเลกุลต้องเกาะติดบนผิวคาร์บอนโดยไม่หลุด

2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับหรือดูดซับ

อัตราเร็ว และขีดความสามารถ ในการดูดซับของคาร์บอนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับฟิล์มของน้ำหรือการแพร่ในช่องว่างซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบคาร์บอนจะมีความหนามาก (เพราะไม่ถูกรบกวน) และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาคาร์บอน ทำให้ฟิล์มเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูง ทำให้น้ำไม่อาจสะสมตัวจนเป็นฟิล์มหนา เป็นผลให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำ เข้าไปหาคาร์บอนได้รวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในโพรง กรณีการแพร่ในช่องว่างจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ด้วยเหตุนี้อัตราเร็วในการดูดซับของคาร์บอนผงจึงขึ้นอยู่กับ การแพร่ในช่องว่าง เพราะระบบคาร์บอนผงมักมีความปั่นป่วนสูง (มีการกวนน้ำในถังผสม) แต่อัตราเร็วของการดูดซับของคาร์บอนแบบเกร็ดมักขึ้นอยู่กับฟิล์มของน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้

คาร์บอนแบบแกร์ดมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายกับการใช้ถังกรองทรายซึ่งมีความปั่นป่วนเกิดขึ้นภายในถึงอยู่ในระดับต่ำ

2) ขนาดและพื้นที่ผิวของคาร์บอน คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของคาร์บอน คือ ขนาดและพื้นที่ผิว ขนาดของคาร์บอนมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วของการดูดซับในทางลบกล่าวคือ อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของคาร์บอน ดังนั้นคาร์บอนผงจึงมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าคาร์บอนแกร์ด ส่วนพื้นที่ผิวของคาร์บอนนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขีดความสามารถในการดูดซับ (Adsorptive Capacity) นั่นคือ คาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดซับโมเลกุลได้มากกว่าคาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวน้อย อนึ่งเนื่องจากพื้นที่ผิวส่วนใหญ่ของคาร์บอนได้มาจากช่องว่างหรือโพรงภายใน ขนาดของคาร์บอนจึงมีบทบาทน้อยในการกำหนดพื้นที่ผิว คาร์บอน ทั้งแบบผงและแบบแกร์ดจึงมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักใกล้เคียงกัน ซึ่งมีหมายถึงการมีความสามารถในการดูดซับใกล้เคียงกันด้วย (แต่อัตราไม่เท่ากัน)

3) ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของคาร์บอน เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลจะถูกดึงออกจากน้ำ แล้วไปเกาะติดบนผิวของของแข็ง สารที่ละลายน้ำได้ (หรือแตกตัวเป็นไอออน) ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่น จึงเป็นสารที่ยากต่อการดูดซับ สารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อย มักสามารถเกาะติดผิวคาร์บอนได้ยาก แต่ในทางตรงกันข้ามการดูดซับอาจเกิดขึ้นได้ง่ายกับสารที่ละลายน้ำได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงไม่อาจกล่าวได้อย่างเต็มที่ว่า มีความสัมพันธ์อย่างแน่นนอนในเชิงปริมาณระหว่างความสามารถในการดูดซับและความสามารถในการละลายน้ำ

4) ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของคาร์บอน ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของคาร์บอน จากการวิจัยพบว่า การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อมีสารขนาดเล็กกว่าโพรงเล็กน้อย (พอดีเข้าไปในโพรงได้) ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างสารและคาร์บอนจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในโพรงก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไปบ้าง

5) พิเศษ มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่ออัตราการดูดซับด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวคาร์บอนได้ดี

6) อุณหภูมิ อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิและลดลงตามการลดของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดซับจะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูงและจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เพราะการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบที่เกิดความร้อนขึ้น

2.5 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

Low, Lee และ Lee (1993) ศึกษาการกำจัดทองแดงโดยใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันที่ปรับสภาพด้วยสีย้อม Reactive Yellow 2 ด้วยการทดลองแบบทีละเท พบว่าเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพและไม่ปรับสภาพมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ 6.67 ± 0.20 และ 1.62 ± 0.20 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และที่ พีเอช เท่ากับ 3 จะกำจัดได้ 90 เปอร์เซ็นต์ ของทองแดงในน้ำ แต่เมื่อ พีเอช มากกว่า 4 จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนได้สูงสุดและพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายทองแดงมากขึ้นความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะลดลง และจากการศึกษาเวลาในการแลกเปลี่ยนไอออนพบว่า การเกิดแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรก นอกจากนี้พบว่า ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนมีลำดับดังนี้ ตะกั่ว (Pb) > โครเมียม (Cr) > ทองแดง (Cu) > นิกเกิล (Ni)

Han, Park และ Min (2000) ศึกษาการกำจัดโลหะหนักโดยใช้ Alfalfa (ต้นหญ้าที่มีดอกสีม่วง) และ Juniper (ต้นสนชนิดหนึ่ง) โดยใช้ตัวอย่างของ Alfalfa และ juniper ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 80 จากนั้นนำไปคั้นจนมีขนาดเล็กกว่า 0.18 มิลลิเมตร (80 เมช) และทำให้แห้งที่ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและปรับสภาพเส้นใยด้วยโซเดียมซัลไฟท์ (Sodium sulfite) 168 กรัม และโซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate) 19 กรัม ในน้ำที่มีปริมาตร 1 ลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาปรับสภาพโดยใช้ สารละลาย 10 มิลลิลิตร เส้นใย 10 กรัม และน้ำ 1 ลิตร นำไปให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำการปรับพีเอช โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และไฮโดรคลอริก (HCl) จากผลการทดลองทำให้พบว่าความสามารถในการดูดซับระหว่าง Alfalfa และ Juniper ที่ปรับสภาพแล้วนั้น Alfalfa จะมีความสามารถในการดูดซับมากกว่า Juniper อยู่ประมาณ 250เปอร์เซ็นต์ โคนมีลำดับความสามารถในการดูดซับสารได้ดังนี้ ทองแดง (Cu) > แคดเมียม (Cd) > นิกเกิล (Ni), สังกะสี (Zn)

Lee และ Rowell (2003) เป็นการศึกษาการกำจัดโลหะหนักโดยใช้สารพวกลิกโนเซลลูโลสไฟเบอร์ (Lignocellulosic Fibers) โดยในการทดลองใช้พันธุ์ไม้ประเภทสน ใยแข็งหยาบมะพร้าว ขานอ้อย เปลือกในและแกนของปอ และ ฝ้าย ทำการทดลองหาความสามารถในการกำจัดทองแดง นิกเกิลและ สังกะสี ในส่วนของลิกนินที่มีอยู่ในเส้นใย โดยเส้นใยจะวิเคราะห์ในส่วนของเซลลูโลส และขนาดลิกนิน แล้วสกัดออกโดยใช้ di-ethyl ether, ethyl alcohol, น้ำร้อน หรือ 1เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) โดยพบว่าอันดับของปริมาณลิกนินเป็นดังนี้ ใยแข็งหยาบมะพร้าว > พันธุ์ไม้ประเภทสน > แกนของปอ > ขานอ้อย > เปลือกในของปอ > ฝ้าย ผล

การศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะสูงสุด คือ เปลือกในของปอ ซึ่งมีปริมาณลิกนินต่ำ ดังนั้นการกำจัดโลหะหนักไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณลิกนิน

Min และ คณะ (2004) เป็นการศึกษาโดยต้นสนขนาดเล็ก (Juniper) ที่มีสารจำพวกลิกโนเซลลูลิก เมื่อนำมาปรับสภาพโดยใช้เบสจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคลเซียมออกจากน้ำ และจากการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง FTIR พบว่า หมู่ของประจุคาร์บอกซิเลตเป็นตัวสำคัญในการกำจัดแคลเซียม โดยในการทดลองนั้นได้ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) 0.5 โมลาร์ ในการปรับสภาพ และใช้การทดลองแบบทีละเท ในการหาค่าไอโซเทอมโดยใช้สมการแลงเมียร์ และ ฟรุนดริช ซึ่งพบว่าปริมาณที่ดูดซับได้มากที่สุดคือ 9.18–29.54 มิลลิกรัมต่อกรัม นอกจากนี้ยังพบว่า การกำจัดแคลเซียมนั้นจะเกิดได้ดีที่ความเข้มข้นโลหะหนักต่ำๆ และมีค่าใช้จ่ายถูกสำหรับการกำจัดโลหะหนัก

Wei และคณะ (2005) เป็นการศึกษาชนิดของตัวแลกเปลี่ยนประจุประเภทกรดอ่อน ซึ่งใช้สารโคบอลต์ 60 (Co-60) ฉายใส่พีซีที่เกิดจากการทับกับกรดอะคริลิกลงบนสารพีทีเอฟอี (polytetrafluoroethylene; PTFE) โดยพบว่า ความสามารถในการแลกเปลี่ยน 3.06 มิลลิกรัมสมมูลต่อกรัม และมีค่าพีเอชสูงขึ้นในช่วง 6-10 และมีค่าความเป็นกรดสูงกว่าตัวแลกเปลี่ยนประจุชนิดประเภทกรดอ่อน พวกเรซิน D-152 ซึ่งเส้นใยชนิดใหม่นี้แสดงออกถึงความสามารถที่ดีเยี่ยมในการดูดซึม ทองแดง (Cu^{2+}) แลนทานัม (La^{3+}) และตะกั่ว (Pb^{2+}) เมื่อ แมกนีเซียม (Mg^{2+}) , แคลเซียม (Ca^{2+}) โครเมียม (Cr^{3+}) โคบอลต์ (Co^{2+}) นิกเกิล (Ni^{2+}) ทองแดง (Cu^{2+}) เงิน (Ag^{+}) แลนทานัม (La^{3+}) และตะกั่ว (Pb^{2+}) อยู่ร่วมกันอย่างอิสระ เส้นใยชนิดนี้สามารถนำมาใช้ใหม่โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก

Shukla และ Pai (2005) นำส่วนประกอบเส้นใยที่มีลิกนินและเซลลูโลสมาใช้ โดยนำกามมะพร้าวมาใช้ในการกำจัดโลหะหนักได้แก่ นิกเกิล (Ni) สังกะสี (Zn) และเหล็ก (Fe) โดยนำกามมะพร้าวนั้นมาปรับสภาพด้วยการออกซิไดส์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) ผลการทดลองพบว่า กามมะพร้าวที่นำมาปรับสภาพแล้วนั้นมีความสามารถสูงสุดในการกำจัดนิกเกิล สังกะสี และเหล็ก ได้ 4.33, 7.88 และ 7.49 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนกามมะพร้าวที่ไม่ปรับสภาพนั้นมีความสามารถสูงสุดในการกำจัดนิกเกิล สังกะสี และเหล็ก ได้ 2.51, 1.83 และ 2.84 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และเมื่อตัวดูดซับไม่สามารถทำงานได้จะนำมาฟื้นฟู (Regeneration) ด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

Coskun, Soykan และ Sacak (2006) เป็นการศึกษาโดยใช้กิ้งที่คอนออกมมาปรับสภาพด้วย กรดอิทาโคนิก (itaconic acid)/อะคริลลาไมด์ (acrylamide) (IA/AAm) เพื่อให้เกิดเป็นเส้นใย ประเภทที่ประกอบด้วยโพลีเอทรีนเทรฟทาเลต (polyethylene terephthalate; PET) สำหรับใช้ในการกำจัดประจุของนิกเกิล ทองแดงและโคบอลต์ จากสารละลายโดยอาศัยการทดลองแบบทีละเท ซึ่งจะมีตัวแปรหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้องเช่น พีเอช เวลา ความเข้มข้นของสารละลาย ปริมาณของ ตัวดูดซับ และอุณหภูมิ ซึ่งจากการทดลองพบว่า อัตราการดูดซับนิกเกิลจะมีประสิทธิภาพมากกว่า โคบอลต์และทองแดงตามลำดับ โดยมีค่าความสามารถในการดูดซับมากที่สุดของทองแดง นิกเกิล และโคบอลต์ ตามลำดับดังนี้ 7.73, 13.79 และ 14.81 มิลลิกรัมต่อกรัม และใช้พลังงานในการดูดซับ ดังนี้ 17.32, 12.83 และ 6.98 กิโลจูลต่อโมล

เกศสุชา พูลคำ (2537) ใช้ผักตบชวาและชานอ้อย เป็นสารแลกเปลี่ยน ไอออน องค์ประกอบ ในผักตบชวามีเซลลูโลส 43-44 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 12-15 เปอร์เซ็นต์ แพนโดแซน 14-15 เปอร์เซ็นต์ และสารอื่น ส่วนองค์ประกอบในชานอ้อยมีไฮโดรเซลลูโลส 82.52 เปอร์เซ็นต์ แอลฟาเซลลูโลส 44 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 19.78 เปอร์เซ็นต์ แพนโดแซน 27.21 เปอร์เซ็นต์ และสารอื่นๆ ซึ่งโลหะหนักที่ ทำการศึกษา ได้แก่ ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี โดยมีตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ กระบวนการทางเคมีที่ ใช้ปรับสภาพผักตบชวาและชานอ้อย ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย และจากผลการทดลอง พบว่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน ของผักตบชวาที่ไม่ปรับสภาพอยู่ในช่วง 0.686-0.809 มิลลิกรัมสมมูลต่อกรัม และผักตบชวาที่ปรับสภาพ (carboxymethyl water hyacinth) อยู่ในช่วง 0.330-0.496 มิลลิกรัมสมมูลต่อกรัม ส่วนชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพความสามารถในการ แลกเปลี่ยนไอออนมีค่าอยู่ในช่วง 0.065-0.086 มิลลิกรัมสมมูลต่อกรัม และชานอ้อยที่ปรับสภาพ (carboxymethyl bagasse) มีค่าอยู่ในช่วง 0.052-0.069 มิลลิกรัมสมมูลต่อกรัม นอกจากนี้พบว่า การ แลกเปลี่ยนไอออนกับทองแดงมีค่าสูงกว่านิกเกิล และสังกะสี สำหรับอิทธิพลของความเข้มข้นของ โลหะหนักในน้ำเสีย พบว่า น้ำเสียที่มีโลหะหนักน้อยมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูง ซึ่งใช้ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 สำหรับการรีเจนเนรชันใช้ประมาณ 3 ปริมาตรเบด (bed volumes)

พิธี กระสินธุ์ศรี (2539) นำผักตบชวาปรับสภาพด้วยสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 2, 5, 10, 20, 30 และ 37 เปอร์เซ็นต์ (v/v) พบว่า การปรับสภาพโครงสร้างผักตบชวาด้วย ฟอร์มาลดีไฮด์ 5 เปอร์เซ็นต์ ให้ประสิทธิภาพดีในการกำจัดไอออนของโลหะหนักโดยวิธีการทดลอง แบบคอลัมน์ ผลการทดลองพบว่า ความสามารถทั้งหมดในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ ปรับสภาพด้วยฟอร์มาลดีไฮด์ 5 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 1.0962, 0.6983 และ 1.0375 มิลลิกรัมสมมูลต่อ กรัม สำหรับไอออนของทองแดง นิกเกิล และสังกะสี หลังจากคอลัมน์หมดประสิทธิภาพในการ

แลกเปลี่ยนไอออนของทองแดงมีค่าสูงกว่าไอออนของนิกเกิลและสังกะสี และหลังจากคอลัมน์ หมดประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน ไอออนของโลหะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่โดยการ ใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 นอร์มัล ประมาณ 1 ปริมาตรเบด หลังจากล้างคอลัมน์ด้วยน้ำ ปราศจากไอออน ก็สามารถนำคอลัมน์กลับมาใช้ได้ใหม่โดยไม่มีผลกระทบต่อความสามารถในการ แลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ Pearson สำหรับไอออนของโลหะทองแดง นิกเกิล และสังกะสี คือ -0.85, -1.00 และ -0.78 ตามลำดับ จากค่าสัมประสิทธิ์ข้างต้นพบว่า เมื่อ ลดความเข้มข้นของสารละลายที่มีไอออนของโลหะหนักลง จะมีผลทำให้ความสามารถในการ แลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มขึ้น สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบสังกะสี พบว่าคอลัมน์ชนิดนี้ สามารถกำจัดโลหะได้เป็นที่น่าพอใจ และจากผลการวิจัยดังกล่าว สามารถนำผักตบชวาที่ผ่านการ ปรับสภาพด้วยฟอร์มาลดีไฮด์ 5 เปอร์เซ็นต์ มาใช้แทนเรซินแลกเปลี่ยนไอออนของโลหะหนักจาก น้ำเสียชุบโลหะได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จิรภรณ์ อารยเมธาเลิศ (2542) ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสี ของเรซินแลกเปลี่ยน ไอออนชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลส ที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร วัสดุที่ใช้ใน การทดลองนี้ได้แก่ ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปลาล์ม การทดลองจะเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพของวัสดุทั้งสามชนิด ที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ (Untreated cellulose) และ วัสดุที่ ปรับสภาพด้วยสารควอร์เทอร์ไนซ์ และสารสร้างครอสส์ลิงก์ (Quarternized crosslinked cellulose) โดยทดลองกับสี 2 ชนิด คือ สีรีแอกทีฟ (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue และ Remazol Reed 3BS) และสีไดเรกต์ (Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN และ Sirys Rubine KZBL) ที่มี ความเข้มข้น 10, 20 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยเครื่องจาร์เทสต์ ภายหลังการทดลองพบว่า ชาน อ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปลาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่ำกว่า ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เรซิน ที่ทำจากวัสดุชนิดเดียวกัน โดยที่ประสิทธิภาพของวัสดุทั้ง 3 ชนิด ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพจะมีค่าต่ำกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ (เปอร์เซ็นต์การกำจัดต่อกรัมของวัสดุ) ในขณะที่ ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ชานอ้อย ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ผักตบชวา และควอร์เทอร์ไนซ์ ครอสส์ลิงก์เส้นใยลูกปลาล์ม มีประสิทธิภาพสูงถึง 95-99 เปอร์เซ็นต์

รัชนิย์ รุกขชาติ (2544) ศึกษาความสามารถและประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม 2 ชนิด ได้แก่ สีรีแอกทีฟและสีไดเรกต์ ของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ ถังน้ำมันล้างหลัง ใบบัวประรด และกาบมะพร้าว ทั้งชนิดที่ไม่ได้ผ่าน และผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ ไนซ์ครอสส์ลิงก์ ทดลองโดยใช้เครื่องเขย่า ผลการทดลองพบว่า วัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์ ครอสส์ลิงก์ จะมีลักษณะพื้นผิวขรุขระและมีร่องลึกต่างๆ มากกว่าวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ เล็กน้อย รวมทั้งมีค่าความหนาแน่น การบวม น้ำ พื้นที่ผิวและโครงสร้างหลักของวัสดุ ได้แก่

หมู่ไฮดรอกซิล (-OH), หมู่อัลคิล (-CH) และ หมู่คาร์บอนิล ($\text{CH}_2\text{-O}$) และหมู่อัลคีน ($\text{C}=\text{C}$) สูงกว่า วัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพ สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมนั้นพบว่า คันมันสำปะหลัง ใบ สับปะรดและกามมะพร้าว ที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ มีประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอคทีฟและสี ไคเรกท์ เฉลี่ยเท่ากับ 15.35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าวัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงก์ที่มี ประสิทธิภาพ เฉลี่ยเท่ากับ 95.54 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาหาขีดความสามารถสูงสุดในการ แลกเปลี่ยนไอออน พบว่าคันมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกามมะพร้าว ที่ผ่านการปรับสภาพมี ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเท่ากับ 0.68, 0.86 และ 0.86 มิลลิอควิวาเลนต์ต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ และจากผลการศึกษาไอโซเทอมโดยใช้กามมะพร้าวพบว่า ความสามารถ ในการดูดติดสี มีความสัมพันธ์กับไอโซเทอมของการดูดซับแบบแลงมัวร์ และที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส กามมะพร้าวที่ผ่านการปรับ สภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์-โครอสต์ลิงก์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีไคเรกท์ ไชเรียส บรู เค ซีเอฟเอ็น (Sirius Blue KCFN) ไชเรียส- รูไบน์ เคแซทบีแอล (Sirius Rubine KZBL) และ เบส ไคเรกท์ แบล็ค บี (Best Direct Black B) และสีรีแอค-ทีฟ รีมาโซล บริลเลียน บรู อาร์ (Remazol Brilliant Blue R) รีมาโซล บริลเลียน เรด 3 บีเอส (Remazol Brilliant Red 3BS) และ รีมาโซล แบล็ค บี (Remazol Black B) ได้ 455, 556, 455, 625, 625 และ 625 มิลลิกรัมต่อกรัมของกาม มะพร้าว ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียจริงนั้น พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด สีในน้ำเสียจริงของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.92 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าวัสดุ ที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงก์ ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียจริงเฉลี่ยเท่ากับ 98.65 เปอร์เซ็นต์ ส่วนถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียจริงเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

ถัดดา ยาวีร์ชน (2544) ศึกษาถึงความสามารถและประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม 2 ชนิด ได้แก่ สีรีแอคทีฟและสีไคเรกท์ และสีน้ำกากสาของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ชาน อ้อย ผักตบชวาและเส้นใยลูกปลาล์ม ทั้งชนิดที่ไม่ได้ผ่าน และผ่านการปรับสภาพด้วยการทำ ควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงก์ โดยทำการทดลองแบบแบดซ์ และแบบคอลัมน์ ผลการทดลองพบว่า วัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงก์ จะมีลักษณะพื้นผิวขรุขระและมีร่องลึกต่างๆ มากกว่า วัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพเล็กน้อย รวมทั้งมีค่าความหนาแน่น การบวม น้ำ พื้นที่ผิว และ โครงสร้างหลักของวัสดุ ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล (-OH), หมู่อัลคิล (-CH และ $-\text{CH}_{[2]}-\text{O}$) และหมู่อัลคีน ($\text{C}=\text{C}$) สูงกว่าวัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพ สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมนั้น พบว่า ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปลาล์มที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ มีประสิทธิภาพการกำจัด สีรีแอคทีฟ และสีไคเรกท์ เฉลี่ยเท่ากับ 6.02 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจัดว่าต่ำกว่าวัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์- ไนซ์โครอสต์ลิงก์มาก โดยวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพ จะมีประสิทธิภาพ เฉลี่ยเท่ากับ 91.54เปอร์เซ็นต์

ซึ่งผลการศึกษาไอโซโทมโดยใช้ชานอ้อย พบว่า ความสามารถในการดูดคิดลี มีความสัมพันธ์กับไอโซโทมของการดูดซับแบบแลงมัวร์ นอกจากนี้ผลจากการทดลองแบบคอลัมน์ สรุปได้ว่าชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงก์ เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้มากที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอดทีฟ ริมาโซล แบล็ค บี (Remazol Black B) ริมาโซล บริลเลียน บลู อาร์ (Remazol Brilliant Blue R) และ ริมาโซล บริลเลียน เรด 3บีเอส (Remazol Brilliant Red 3BS) และสีไคเรกท์ เบส ไคเรกท์ แบล็ค บี (Best Direct Black B) ไชเรียส บลู เคซีเอฟเอ็น (Sirius Blue KCFN) และ ไชเรียส รูไบน์ เคแซทบูแอล (Sirius Rubine KZBL) ได้ 141, 247, 247, 99, 211 และ 229 มิลลิกรัมต่อกรัมของชานอ้อย ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำ กากส่วนนั้น จากการทดลองแบบแบคซ์ พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกากส่าของวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.55 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าวัสดุที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงก์ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำกากส่า เฉลี่ยเท่ากับ 75.26 เปอร์เซ็นต์และเมื่อทดลองผ่านคอลัมน์ พบว่าชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปลาล์ม ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงก์ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำกากส่า เท่ากับ 457, 847 และ 43 มิลลิกรัมต่อกรัมของวัสดุ ตามลำดับ

ถลิตา นิทัศน์จารุกุล (2544) ศึกษาความสามารถในการดูดคิดลีวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือเปลือกทุเรียนและเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้เกลือแกง (NaCl) การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ขั้นแรกเป็นการเตรียมถ่านกัมมันต์ ศึกษาลักษณะทางกายภาพและประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้น โดยการวัดค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ขั้นที่สองทำการทดลองแบบไม่ต่อเนื่องหรือแบบแบคซ์เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดคิดลีวตะกั่ว ได้แก่ ค่าพีเอช เวลาสัมผัส และปริมาณถ่าน เพื่อทดสอบไอโซโทมการดูดคิดลีวแบบฟรุนดิช และขั้นตอนสุดท้ายคือการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยใช้ถ่านดูดคิดลีวแบบคอลัมน์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านในขั้นตอนการทดลองเตรียมถ่านกัมมันต์พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่านกัมมันต์ พร้อมกับการกระตุ้นคือ 800 องศาเซลเซียสอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกงที่เหมาะสม ซึ่งทำให้ถ่านกัมมันต์มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงที่สุดคืออัตราส่วน 1:0 สำหรับถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด โดยถ่านเปลือกทุเรียน และถ่านเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ จะมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงที่สุดเท่ากับ 567 และ 532 มิลลิกรัมของไอโอดีนต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ตามลำดับ และสามารถสรุปได้ว่า การแช่วัตถุดิบด้วยสารละลายเกลือแกงอิมพัลเป็นเวลา 24 ชั่วโมงนำไปอบแห้ง แล้วนำมาเผาและกระตุ้น ก็เพียงพอที่จะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูง การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดคิดลีวตะกั่วพบว่า การดูดคิดลีวตะกั่วจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชของน้ำเสียเพิ่มขึ้นตั้งแต่พีเอช 2 ถึงพีเอช 9 และที่พีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นตั้งแต่ 4 ขึ้นไปพบว่า ถ่านกัมมันต์ทั้ง 2

ชนิดมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการดูดซับตะกั่วบนถ่านกัมมันต์ ร่วมกับการตกตะกอนของตะกั่ว ผลของเวลาสัมผัสพบว่า สมดุลของการดูดซับตะกั่วสำหรับถ่านทั้งสองชนิดคือ 10 นาที ผลของการหาไอโซ-เทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช แสดงให้เห็นว่าถ่านเปลือกทุเรียนมีความสามารถในการดูดซับตะกั่ว สูงกว่าถ่านเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

ศุภณีย์ คุษเสงี่ยม (2544) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยการเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว โดยใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นกับถ่านกัมมันต์ที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป ซึ่งได้ทำการทดสอบค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ศึกษาลักษณะทางกายภาพ การทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชและการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับ โดยใช้ถังดูดซับแบบคอลัมน์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ทำการป้อนน้ำเสียแบบไหลลง ด้วยอัตราการไหล 3 ลิตรต่อชั่วโมง และเก็บตัวอย่างที่ระดับความสูงของสารดูดซับ 0.30, 0.60, 0.90 และ 1.20 เมตร ผลการทดลองพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 532.29 มิลลิกรัมต่อกรัม พื้นที่ผิว 492.42 ตารางเมตรต่อกรัม การทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า สามารถดูดซับตะกั่วและปรอท ได้ 8.37 และ 5.52 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนการทดสอบการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่งดูดซับน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอ สามารถดูดซับตะกั่วได้ 2.45, 2.57, 2.69 และ 2.81 มิลลิกรัมต่อกรัม และดูดซับปรอทได้ 2.21, 2.45, 2.45 และ 2.70 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่ความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทเริ่มต้น 9.824 และ 9.830 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ เท่ากับ 486.45 มิลลิกรัมต่อกรัม มีพื้นที่ผิว 385.91 ตารางเมตรต่อกรัม การทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า สามารถดูดซับตะกั่วและปรอท ได้ 2.53 และ 1.63 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งแสดงว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป ผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชพบว่า สามารถดูดซับตะกั่วและปรอท ได้ 50.18 และ 19.95 มิลลิกรัมต่อกรัม การทดสอบการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่งดูดซับน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอ สามารถดูดซับตะกั่วได้ 3.83, 3.83, 3.75 และ 3.88 มิลลิกรัมต่อกรัม และดูดซับปรอทได้ 3.61, 3.83, 3.61 และ 3.72 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่ความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทเริ่มต้น 9.853 และ 9.865 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

อาสยา ปราชญาพร (2545) วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสามารถนำมาพัฒนาให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มมากขึ้นเพื่อใช้ในกระบวนการกำจัดสีจากน้ำเสียได้โดย

การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคมี งานวิจัยนี้เลือกใช้ขังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวันในการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารเซลลูโลส แลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลส ทำการทดลองแบบคอลัมน์โดยใช้ สิริแอกทีฟ ริมาโซล แบล็ค บี (Remazol Black B) ริมาโซล บริลเลียนท์ เรด 3บีเอส (Remazol Brilliant Red 3BS) ริมาโซล บริลเลียนท์ บลู อาร์ (Remazol Brilliant Blue R) และดีไคเรกท์ เบสท์ ไคเรกท์ แบล็ค บี (Best Direct Black B) ไชเรียส รูไบน์ เคแซทบีแอล (Sirius Rubine KZBL) ไชเรียส บลู เคซีเอฟเอ็น (Sirius Blue KCFN) ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราการไหลของสารละลายสี 10 มิลลิตรต่อนาที ผลการทดลองพบว่าควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีริแอกทีฟได้ดีกว่าดีไคเรกท์ โดยเมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 90 แล้ว ควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากขังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวันมีความสามารถรองรับสีเฉลี่ย 241.39, 217.42 และ 266.02 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุ (เฉลี่ยทุกวัสดุเท่ากับ 243.36 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุ) สำหรับสิริแอกทีฟ และ 63.37, 153.73 และ 37.81 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุสำหรับดีไคเรกท์ (เฉลี่ยทุกวัสดุเท่ากับ 84.95 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุ) มีการถูกชะล้างได้หลังการกำจัดสีคิดเป็นความเข้มข้นสีเฉลี่ย 6.93, 5.90 และ 1.33 มิลลิกรัมต่อลิตร (17.59, 16.04 และ 3.83 SU) ตามลำดับ โดยค่าความสามารถรองรับสีสูงสุดคือ 314.57 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุในการกำจัดสีริมาโซล บริลเลียนท์ บลู อาร์ ด้วยควอเตอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากก้านทานตะวัน

นิริชต์ สวงวนเดือน (2545) ศึกษาความสามารถและประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก โดยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากขังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวัน ชนิดไม่ปรับสภาพ ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก ปรับสภาพด้วยฟอร์มาลดีไฮด์ 5 เปอร์เซ็นต์ และปรับสภาพด้วยฟอร์มาลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของโลหะหนัก (นิกเกิล ทองแดง และสังกะสี) ที่ศึกษาได้แก่ 5, 10, 20 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทดลองแบบทีละเท จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากเปลือกถั่วเหลือง มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักมากที่สุด รองลงมาคือก้านดอกทานตะวัน และขังข้าวโพดตามลำดับ ผลของการปรับสภาพทางเคมีไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักเพิ่มมากขึ้น เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ศึกษาสามารถกำจัดทองแดง ได้มากกว่า สังกะสี และนิกเกิล ตามลำดับ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักดีที่สุด ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักในน้ำเสีย 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักจะลดลง กลไกหลักในการกำจัดโลหะหนัก คือ การแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างเรซินแลกเปลี่ยนไอออน กับไอออนของโลหะหนักในน้ำเสีย และอาจเกิดการดูดติดผิวประกอบด้วย โดยกลไกการดูดติดผิวเป็นไปตามสมการของแลงมัวร์ เรซินแลกเปลี่ยน

เปลี่ยนไอออนที่ทำจากเปลือกถั่วเหลือง และก้านคอกทานตะวันชนิดไม่ปรับสภาพซึ่งมีที่จะ
แนวโน้มสามารถนำมาใช้ทดแทนเรซินสังเคราะห์ได้ โดยมีความสามารถทั้งหมดในการแลกเปลี่ยน
ไอออน เท่ากับ 5.4 และ 4.5 มิลลิกรัมสมมูลต่อกรัม ตามลำดับ

ธนากร จันทสุบรรณ (2545) เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีในน้ำเสียที่ผ่าน
การบำบัดแล้วจากโรงงานฟอกย้อม สำหรับการใส่ควอเตอร์ไนซ์โครอสลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจาก
เส้นใยลูกปาล์มเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ ทำการทดลองแบบเบดซ์โดยใช้วัสดุ 100 กรัมต่อ
น้ำเสีย 0.5 ลิตร ทำการแปรเปลี่ยนระยะเวลาสัมผัส อัตราการกวนและศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อ
ประสิทธิภาพในการกำจัดสี ผลการศึกษาพบว่ากำจัดสีเข้าสู่สมดุลภายในเวลาสัมผัส 60 นาที
และถ่านกัมมันต์เข้าสู่สมดุลเร็วกว่าเส้นใยลูกปาล์ม พบว่าอัตราเร็วการกวนไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ
ในการกำจัดสีเมื่อกวนด้วยความเร็วมากกว่า 60 รอบต่อนาที โดยในอัตราเร็วการกวนที่เท่ากัน
ถ่านกัมมันต์เข้าสู่สมดุลการดูดซับเร็วกว่าควอเตอร์ไนซ์โครอสลิงค์เซลลูโลสเส้นใยลูกปาล์ม ผลของ
ค่าพีเอชพบว่า ถ่านกัมมันต์และควอเตอร์ไนซ์โครอสลิงค์เซลลูโลสเส้นใยลูกปาล์มสามารถกำจัดสี
ได้ดีที่พีเอชต่ำและประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลงเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น การศึกษาประสิทธิภาพใน
การกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริงที่มีความเข้มข้นของสีในปริมาณใกล้เคียงกันพบว่า ถ่าน
กัมมันต์และควอเตอร์ไนซ์โครอสลิงค์เซลลูโลสเส้นใยลูกปาล์มสามารถกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์
ได้ดีกว่าในน้ำเสียจริง โดยประสิทธิภาพของควอเตอร์ไนซ์โครอสลิงค์เซลลูโลสเส้นใยลูกปาล์ม
กำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ แต่ถ่านกัมมันต์นั้นมีความสามารถกำจัดสีในน้ำ
เสียจริงได้ดีกว่าเส้นใยลูกปาล์ม โดยค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดสีของถ่านกัมมันต์ในน้ำเสีย
สังเคราะห์และน้ำเสียจริงเป็น 81.3 เปอร์เซ็นต์ และ 84.6เปอร์เซ็นต์ และของ ควอเตอร์ไนซ์โครอส
ลิงค์เซลลูโลสเส้นใยลูกปาล์มเป็น 99.9 เปอร์เซ็นต์ และ 74.3เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการศึกษา
ไอโซเทอม พบว่าความสามารถในการดูดซับสีในน้ำเสียสังเคราะห์แบบสตีเดียและน้ำทิ้งจาก
โรงงานฟอกย้อมของถ่านกัมมันต์เป็น 1,456 และ 438 กรัมSUต่อกรัมวัสดุ และ ความสามารถ
สูงสุดในการกำจัดสีของควอเตอร์ไนซ์โครอสลิงค์เซลลูโลสเส้นใยลูกปาล์ม ในการดูดซับน้ำเสีย
สังเคราะห์แบบสตีเดีย น้ำเสียสังเคราะห์แบบสตีผสม และน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมเป็น 1,705, 780
และ 286 กรัมSUต่อกรัมวัสดุ อัตราค่าบำบัดสีเฉลี่ยในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมของถ่านกัมมันต์
และเส้นใยลูกปาล์มเป็น 0.13 บาทต่อลิตร และ 1.35 บาทต่อลิตร ตามลำดับ

ธีระชัย วัฒนสกุลเอก (2546) ศึกษาถึงความสามารถและประสิทธิภาพของถ้ำลอยชานอ้อย
จากโรงงานน้ำตาล เพื่อใช้กำจัดโครเมียมจากนั้นนำถ้ำลอยชานอ้อยที่ดูดซับโครเมียม แล้วมาทำ
เป็นก้อนแข็งโดยการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนในการผสมมอร์ต้า โดยในส่วนของ การ
กำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์เป็นการทดลองแบบทีละเท โดยหาสภาวะที่เหมาะสมของการ

กำจัดโครเมียมที่ความเข้มข้นและพีเอชต่างๆ แต่ความเข้มข้นจะปรับค่าพีเอชให้เปลี่ยนแปลง ตั้งแต่ 1 ถึง 6 ผลการทดลองพบว่า เมื่อพีเอชของน้ำเสียโครเมียมสังเคราะห์ลดลง ความสามารถและประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียมจะเพิ่มขึ้น และที่พีเอช 1 เป็นพีเอชที่กำจัดโครเมียมได้ดีที่สุด สภาพที่เหมาะสมต่อการกำจัดโครเมียมคือที่ความเข้มข้นโครเมียมสูงกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป ที่พีเอชเท่ากับ 1 ใช้เวลาสัมผัสเท่ากับ 30 นาที ซึ่งความสามารถในการดูดซับโครเมียม จะมีค่าใกล้เคียงกันทุกความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมที่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป จะได้ความสามารถในการดูดซับโครเมียมประมาณ 0.60 มิลลิกรัมโครเมียมต่อกรัมถ้ำลอยชานอ้อย แต่ในด้านประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลงเมื่อใช้ความเข้มข้นโครเมียม ส่วนผลการศึกษาไอโซเทอม โดยใช้ถ้ำลอยชานอ้อยพบว่า ความสามารถในการกำจัดโครเมียมมีความสัมพันธ์กับไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ สำหรับการศึกษความเป็นไปได้ในการนำถ้ำลอยชานอ้อยที่ใช้กำจัดโครเมียมแล้ว มาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนในการผสมมอร์ต้า ซึ่งสรุปผลการศึกษาดังสมบัติทางกายภาพ และส่วนประกอบทางเคมีของถ้ำลอยชานอ้อยได้ว่า ถ้ำลอยชานอ้อยไม่สามารถจัดเป็นวัสดุปอซโซลานตามข้อกำหนดใน ASTM C618 และเมื่อนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์พบว่า กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าลดลง ซึ่งในงานวิจัยนี้ ถ้ำลอยชานอ้อยที่ผ่านการดูดซับโครเมียม สามารถนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในการผสมมอร์ต้าได้ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก โดยใช้สัดส่วนระหว่างวัสดุประสานต่อทราย เท่ากับ 1 ต่อ 2.75 และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.5 ซึ่งให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดที่อายุการบ่ม 28 วัน คิดเป็น 79.67 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับมอร์ต้าธรรมดา และสำหรับผลการวิเคราะห์การชะละลายโครเมียม ในน้ำชะของมอร์ต้าผสมถ้ำลอยชานอ้อยที่ผ่านการดูดซับโครเมียม พบว่าค่าการชะละลายมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

วันวิภา เสาสวัสดิ์ (2546) เป็นการศึกษาถึงความสามารถและประสิทธิภาพของชานอ้อย ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากจากโรงงานน้ำตาลมากำจัดตะกั่ว โดยใช้ชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ จากนั้นนำชานอ้อยปรับสภาพที่ดูดซับตะกั่วแล้วมาทำเป็นก้อนแข็ง โดยการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนในการผสมมอร์ต้า โดยในส่วนของกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เป็นการทดลองแบบแบดจ์ ที่อุณหภูมิจึง โดยหาสภาพที่เหมาะสมของการกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน แต่ความเข้มข้นจะทำการปรับค่าพีเอชให้เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 2 ถึง 6 ผลการทดลองพบว่า ผลความเข้มข้นของตะกั่วและพีเอชเริ่มต้นที่มีต่อความสามารถในการกำจัดตะกั่ว จะเป็นไปในทิศทางเดียวกันกล่าวคือ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่ว ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มพีเอช จะทำให้ความสามารถในการกำจัดตะกั่วจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน และที่พีเอช 6 สามารถกำจัดตะกั่วได้ดีที่สุด สภาพที่เหมาะสมต่อการกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้น 80 มิลลิกรัมต่อลิตรคือ พีเอชเท่ากับ 6 มีเวลาสัมผัสเท่ากับ 3 นาที โดย

จะได้ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 56.72 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการดูดซับสูงสุดคิดเป็น 4.700 มิลลิกรัมต่อกรัมขานอ้อย ส่วนผลการศึกษาไอโซเทอมโดยใช้ขานอ้อยพบว่า ความสามารถในการกำจัดตะกั่วมีความสัมพันธ์กับไอโซเทอมการดูดซับ ทั้งแบบแลงมัวร์และฟรุนดลิช จากนั้นศึกษาความเป็นไปได้ในการนำขานอ้อยที่ใช้กำจัดตะกั่วแล้ว มาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนในการผสมมอร์ต้า ซึ่งได้ศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของมอร์ต้าผสมขานอ้อย เมื่อนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์พบว่า กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าลดลง ซึ่งในงานวิจัยนี้ ขานอ้อยที่ผ่านการดูดซับตะกั่วสามารถนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในการผสมมอร์ต้าได้ 5% โดยน้ำหนัก โดยใช้สัดส่วนระหว่างวัสดุประสานต่อทราย เท่ากับ 1:2.75 และปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.45:1 ซึ่งให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดที่อายุการบ่ม 28 วัน ประมาณ 46.45 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับมอร์ต้าธรรมดา ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะของมอร์ต้าผสมขานอ้อย ที่ผ่านการดูดซับตะกั่วพบว่า มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

สุเมธ เตชะกุลวิโรจน์ (2546) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำถ้ำลอยขานอ้อยที่ได้จากโรงงานน้ำตาล มาใช้ในกระบวนการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟ และจากนั้นนำมาแทนที่ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนในการผสมคอนกรีต การวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการดูดซับซึ่งได้ศึกษาเวลาที่ใช้เพื่อเข้าสู่สมดุล ความเข้มข้นและพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสม เวลาที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายสีย้อม ไอโซเทอมการดูดซับ และประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม ขั้นตอนการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ซึ่งได้ศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของซีเมนต์ต่อทรายต่อหินเกล็ด อัตราส่วนผสมของถ้ำลอยขานอ้อยที่ถูกใช้ในการดูดซับสีย้อม อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ระยะเวลาบ่ม และค่ากำลังรับแรงอัด ผลการทดสอบในงานวิจัยนี้พบว่า ขั้นตอนการดูดซับโดยใช้ถ้ำลอยขานอ้อยดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟทั้ง 3 โทนสีได้แก่ สีดำ สีน้ำเงิน และสีแดง ความเข้มข้นเหมาะสมที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชไม่มีผลต่อการดูดซับสีย้อม เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับอยู่ช่วงระหว่าง 240-300 นาที ปริมาณถ้ำลอยขานอ้อยที่เหมาะสมอยู่ช่วงระหว่าง 2-4 กรัม ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงสุดอยู่ในช่วงระหว่าง 97.72 เปอร์เซ็นต์ ถึง 99.05 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการดูดซับสีย้อมมีความสัมพันธ์กับ ไอโซเทอมของการดูดซับแบบแลงมัวร์ ขั้นตอนการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ส่วนประกอบต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ได้แก่ อัตราส่วนผสมซีเมนต์ต่อทรายต่อหินเกล็ด ต่อการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นคือ 1:1.1:1.9 อัตราส่วนการแทนที่ของถ้ำลอยขานอ้อยที่เหมาะสมคือ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม คือ 0.5 และระยะเวลาบ่ม 28 วัน ซึ่งกำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม และมีราคาต้นทุนของการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรูปแบบคคกริซเท่ากับ 3.34 บาทต่อก้อนคอนกรีตน้ำหนัก 3.20 กิโลกรัม