

บทที่ 1

บทนำ

บทนำตั้งเรื่อง

ปัจจุบันสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ตัวเราได้เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่เสื่อมคุณภาพลง ไม่ว่าจะเป็นทางด้านอากาศ ดิน น้ำ หรือแม้แต่ในระบบสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย เนื่องจากจำนวนประชากรที่เพิ่ม ความต้องการปัจจัยในการดำรงชีวิตประจำวันที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้มีการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพิ่มขึ้น เพื่อนำมาใช้ในการเพิ่มผลผลิตทั้งด้านการเกษตรและด้านอุตสาหกรรมโดยบางครั้งลืมนำถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม จึงเป็นสาเหตุก่อให้เกิดปัญหาภาวะมลพิษตามมา น้ำเป็นทรัพยากรหนึ่งซึ่งประสบปัญหาภาวะมลพิษ เนื่องจากมีสิ่งปฏิกูลและสารเคมีที่เป็นพิษปะปนอยู่ สารที่ก่อให้เกิดมลพิษเรียกว่า สารมลพิษ

สารมลพิษ หมายถึง สารที่ก่อให้เกิดความสกปรกที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อมหรือเป็นสารที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษของสิ่งแวดล้อม สารมลพิษทางน้ำอาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ สารมลพิษทางเคมี สารมลพิษทางชีววิทยา และสารมลพิษทางกายภาพ (ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, 2525) ตัวอย่างสารมลพิษทางเคมี เช่น โลหะหนัก ยาฆ่าแมลง กรด เบส สารอินทรีย์ และสารประกอบกลุ่มฟีนอลิก เป็นต้น

สารประกอบกลุ่มฟีนอลิก (phenolic compound) เป็นสารที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมหลายประเภทและพบว่ามิปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ สี ย้อม ผลิตภัณฑ์ การแปรรูปไม้ อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม ยาฆ่าแมลง ยาปราบศัตรูพืช น้ำยาล้างรูป และโรงงานกลั่นน้ำมัน (กฤษณล กิรติวิทย์, 2528 ; Caza *et al.*, 1998; Wu *et al.*, 1997) สารประกอบกลุ่มฟีนอลิกจัดเป็นสารเคมีอันตรายเป็นพิษต่อสุขภาพ สามารถแพร่เข้าสู่ร่างกายทางผิวหนัง ไอของฟีนอลทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจและตา ฟีนอลในสถานะของแข็งสามารถทำให้ผิวหนังถูกเผาไหม้ได้หากมีการสัมผัส และสามารถซึมผ่านทางผิวหนังได้ง่าย ทำให้เกิดอาการปวดหัว หน้ามืด นอกจากนี้ยังจัดเป็นสารก่อมะเร็ง (Armour, 1991 ; Buchanan , Nicell and Wagner, 1998)

ปัจจุบันประเทศไทยมีผู้ศึกษาเกี่ยวกับสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกในน้ำทิ้งค่อนข้างน้อย และแม้ว่าประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติ โรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งระบายออกจากโรงงาน กำหนดน้ำทิ้งโรงงาน อุตสาหกรรม มีฟีนอลไว้ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2538) แต่ในทางปฏิบัติการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในประเด็น ของสารประกอบกลุ่มนี้ในน้ำทิ้งยังน้อยอยู่ จึงเป็นการเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายต่อสุขภาพและ สิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกเป็นสารประกอบพื้นฐานของยาฆ่าแมลง ยาปราบ ศัตรูพืช ยาฆ่าเชื้อรา สารป้องกันจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคใต้อุตสาหกรรมไม้ยางและน้ำ มันปาล์มถือเป็นอุตสาหกรรมเศรษฐกิจ ดังนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการบำบัดสารกลุ่ม นี้ออกจากน้ำทิ้งก่อนทิ้งน้ำลงสู่แหล่งน้ำ จากอันตรายที่เกิดขึ้นจากสารกลุ่มฟีนอลิกจึงได้มีผู้คิดค้น วิธีการกำจัด สารประกอบกลุ่มนี้ออกจากน้ำทิ้งหลายวิธีด้วยกัน เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ (Jung *et al.*, 2001) และ Organo- clay (Erim and Alemder, 1998) ในการดูดซับ การใช้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในการบำบัด (Caza *et al.*, 1998 ; Wu *et al.*, 1997) และ การใช้วิธีทางชีววิทยาในการบำบัด เช่น การบำบัดแบบใช้อากาศ (aerobic treatment) ร่วมกับการบำบัดแบบไร้อากาศ (anaerobic treatment) ในการกำจัดสารกลุ่มนี้ (Bhattacharya *et al.*, 1996) เป็นต้น จากวิธีการต่าง ๆ ที่ได้มีการ ศึกษาและนำมาใช้เป็นที่ต้องใช้งบประมาณในการลงทุนค่อนข้างสูงทำให้ผู้ประกอบการเลือกที่ จะไม่ดำเนินการบำบัดสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกออกจากน้ำทิ้ง ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เน้นศึกษา ทางเลือกในการกำจัดสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกโดยเน้นตัวฟีนอลิกที่นิยมใช้และมีอันตรายสูงคือ สารเพนตะคลอโรฟีนอล (pentachlorophenol, PCP) ซึ่งสารตัวนี้เป็นสารที่นิยมใช้กันมากใน อุตสาหกรรมหลายประเภทและเป็นอนุพันธ์หนึ่งของฟีนอลที่ถูกบรรจุอยู่ในบัญชีสารที่เป็นอันตราย ต่อสุขภาพมนุษย์ของ US.EPA. และองค์การอนามัยโลกได้กำหนดให้ไม่มีสารเพนตะคลอโรฟีนอล อยู่ในน้ำดื่มได้ไม่เกิน 9 ไมโครกรัมต่อลิตร (Angelino and Gennaro, 1997) เพนตะคลอโรฟีนอลจัด เป็นสารก่อมะเร็ง ถ้าได้รับในปริมาณที่สูงจะทำให้อุณหภูมิร่างกายสูง มีผลกระทบต่อตับและ ทำลายระบบภูมิคุ้มกัน

สารเพนตะคลอโรฟีนอลใช้เป็นส่วนประกอบในน้ำยารักษาเนื้อไม้ (Wu *et al.*, 1997) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพาราซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่พบมากทางภาคใต้ของประเทศไทย งานวิจัยนี้ศึกษาทางเลือกในการกำจัดสารตัวนี้ออกจากน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพารา โดยการใช้ ชังข้าวโพดในการดูดซับ เนื่องจากชังข้าวโพดมีองค์ประกอบของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ประมาณ 80% ซึ่งถือเป็นแหล่งคาร์บอนที่ดีเหมาะที่จะใช้เป็นตัวดูดซับ (Vaughan, Seo and

Marshall, 2001) และยังเป็น การนำเอาวัสดุที่เหลือจากภาคเกษตรกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์เป็นการลดปริมาณและเพิ่มมูลค่าของของเสียจากภาคเกษตรกรรมอีกด้วย

ตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฟีนอลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) เชื่อมกับวงแหวนเบนซีนหรืออนุพันธ์ของเบนซีน ฟีนอลมีสูตรทางเคมีคือ C_6H_5OH นอกจากนี้ยังมีชื่อเรียกอื่นๆอีก เช่น ไฮดรอกซีเบนซีน (hydroxy benzene) กรดคาร์บอริก (carbolic acid) กรดฟีนิก (phenic acid) กรดฟีนิลิก (phenylic acid) ฟีนิลไฮดรอกไซด์ (phenyl hydroxide) และออกซีเบนซีน (oxybenzene) (Parker *et al.*, 1987) มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 94.11 เกิดจากปฏิกิริยาของไฮเดียมเบนซีน ซัลโฟเนตกับไฮเดียมไฮดรอกไซด์ หรือเกิดจากปฏิกิริยาของโมโนคลอโรเบนซีนที่ร้อนกับสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ภายใต้สภาวะความกดดันสูง ฟีนอลเป็นของแข็งไม่มีสีมีความหนาแน่นเท่ากับ 1.071 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร มีจุดหลอมเหลวที่ 42 องศาเซลเซียส มีจุดเดือดที่ 182 องศาเซลเซียส จุดวาบ (flash point) ที่ 79 องศาเซลเซียส เมื่อสัมผัสอากาศและแสงจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่ออยู่ในรูปของสารละลายมี pH ประมาณ 6 นอกจากนี้ยังละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ คลอโรฟอร์ม อีเทอร์ กลีเซอรอล คาร์บอนไดซัลไฟด์ น้ำมัน แต่ไม่ละลายในปิโตรเลียมอีเทอร์ สารประกอบฟีนอลเป็นสารมลพิษชนิดหนึ่งที่ใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น ใช้ในการผลิตโพลีคาร์บอนเตชนิดโปร่งใสและประเภทอีพอกซีเรซิน ไนลอน ลีซอม ผงซักฟอก สารฆ่าเชื้อ สารประกอบอินทรีย์ที่ใช้ในทางการแพทย์และอุตสาหกรรมเป็นต้น (Windholz *et al.*, 1976) ฟีนอลจัดเป็นสารอันตรายเนื่องจากเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ (Wu *et al.*, 1997) ไอของฟีนอลทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจและตา หากสัมผัสฟีนอลในสถานะของแข็งสามารถทำให้ผิวหนังไหม้ได้ ฟีนอลสามารถถูกดูดซึมผ่านทางผิวหนังได้ง่าย ทำให้เกิดอาการปวดหัว หน้ามืดตาลาย หมดแรง ระบบหมุนเวียนในร่างกายล้มเหลว ตับถูกทำลาย อัมพาต ชัก อาจเสียชีวิตเนื่องจากระบบทางเดินหายใจล้มเหลวหรือหัวใจหยุดเต้นและฟีนอลยังเป็นสารก่อมะเร็ง (Buchanan, Nicell and Wagner, 1998; Armour, 1991)

นอกจากนี้ US.EPA. ได้ทำบัญชีรายชื่ออนุพันธ์ของฟีนอลที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ 11 ชนิด ได้แก่

ฟีนอล(phenol) ออร์โทคลอโรฟีนอล (2-chlorophenol) 2,4 ไดคลอโรฟีนอล (2,4-dichlorophenol) 2,4,6 ไตรคลอโรฟีนอล (2,4,6-trichlorophenol) เพนตะคลอโรฟีนอล (pentachlorophenol) ออร์โทไนโตรฟีนอล (2-nitrophenol) พาราไนโตรฟีนอล (4-nitrophenol)

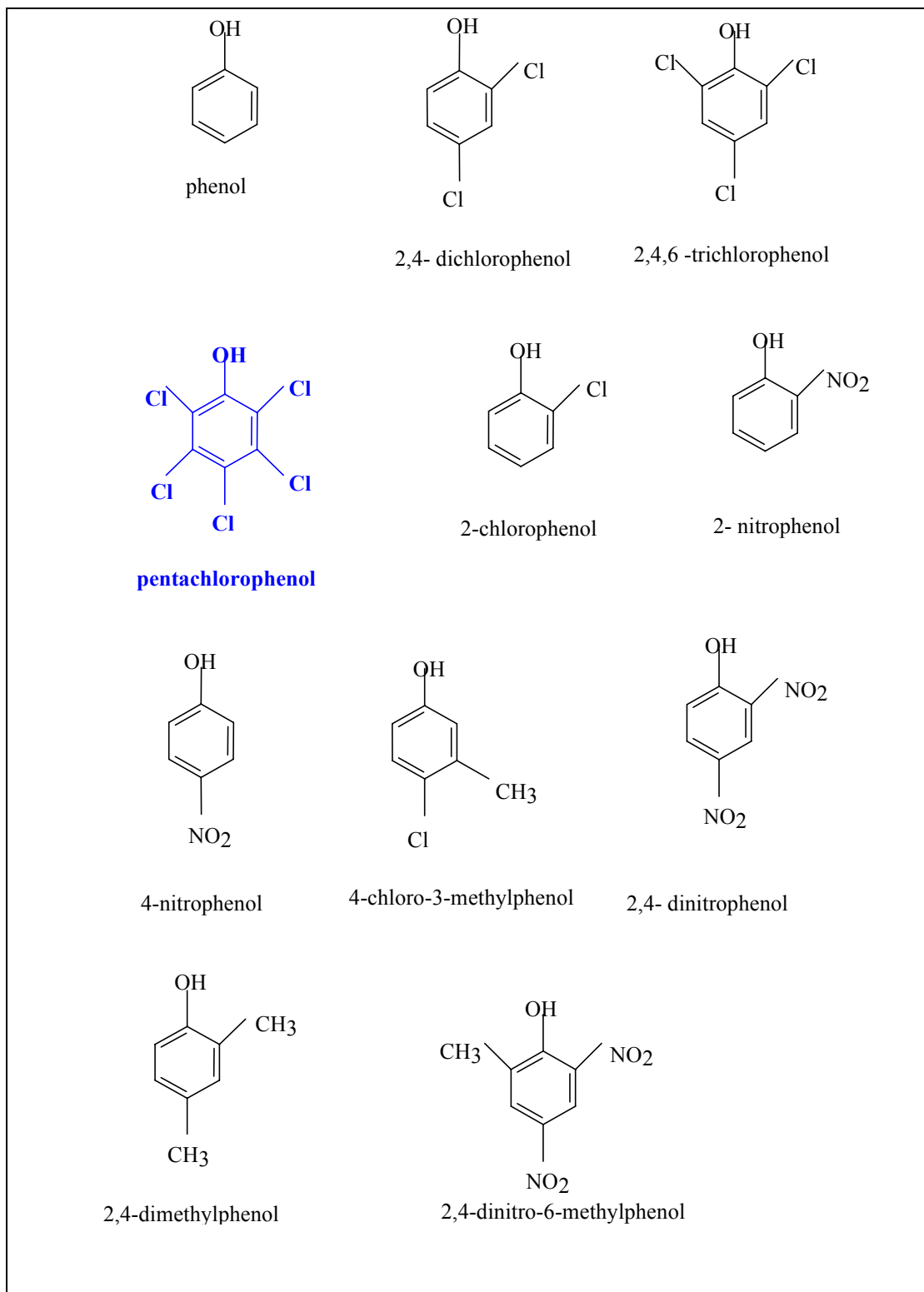
2,4 ไดไนโตรฟีนอล (2,4-dinitrophenol) 4-คลอโร-3-เมทิลฟีนอล (4-chloro-3-methylphenol)
 2,4-ไดไนโตร-6-เมทิลฟีนอล (2,4-dinitro-6-methylphenol) 2,4 ไดเมทิลฟีนอล
 (2,4-dimethylphenol) (Angelino and Gennaro, 1997) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังแสดงในภาพ
 ประกอบ 1.1

เพนตะคลอโรฟีนอล (pentachlorophenol) เป็นสารที่มีพิษปานกลาง (moderately toxic compound) และเป็นหนึ่งในอนุพันธ์ของฟีนอลที่ US.EPA. ได้กำหนดเป็นสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ และ IARC (International Agency for Research on Cancer) ได้จัดให้เพนตะคลอโรฟีนอลไว้ในสารกลุ่ม 2B คือ เป็นสารที่มีศักยภาพก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์

เพนตะคลอโรฟีนอลมีสูตรทางเคมี คือ C_6Cl_5OH มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 266.35 กรัม เป็นของแข็งไม่มีสี มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.978 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลว 190 องศาเซลเซียส จุดเดือด 300 องศาเซลเซียส สามารถละลายได้ดีใน แอลกอฮอล์ อีเทอร์ อะซิโตน เบนซีน และสามารถละลายได้ใน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ ปิโตรเลียมอีเทอร์ และพาราฟฟิน ความสามารถในการละลายน้ำเท่ากับ 20 มิลลิกรัม/ลิตร (http://www.chem.umn.edu/class/3306/old/spring9596/presentation/pcp/pcp_map.html) มีสภาพเป็นกรดอ่อนค่า pKa เท่ากับ 4.71 (Worthing, 1987) นอกจากนี้ยังมีชื่อทางการค้าอื่น ๆ เช่น โดวิไซด์ (Dowicide) เพนคลอโรล (Penchlorol) เพนตะ (Penta) เพนตะพลัส (Penta Plus) เพนตะคลอโรล (Pentachlorol) เพนตะคอน (Pentacon) เพนวาร์ (Penwar) พริลทอกซ์ (Prilttox) ซานโทไบรท์ (Santobrite) ซานโทเฟน (Santophen) เพอราทอกซ์ (Peratox) เพอร์มาแซน (Permasan) และ วีคดัน (Weedone) (Ware, 1986)

สารเพนตะคลอโรฟีนอล เป็นสารประกอบคลอรีเนตเตดไฮโดรคาร์บอน (chlorinated hydrocarbon) ที่มีประโยชน์ใช้ฆ่าแมลง (insecticide) และฆ่าเชื้อรา (fungicide) จึงเป็นสารตัวหนึ่งที่นิยมนำมาใช้งานรักษาเนื้อไม้ (Ware, 1986) ซึ่งในการรักษาเนื้อไม้จะเป็นการทำให้ไม้อยู่ในสภาพไม่เหมาะสมที่จะถูกรุกรานจากเชื้อรา และแมลงต่างๆ ที่ชอบเจาะไม้หรือกินไม้เป็นอาหาร โดยทั่วไปจะให้ไม้้อมตัวด้วยสารเคมีที่เป็นพิษหรือทำให้มันอยู่ในสภาพที่ไม่น่ากินสำหรับแมลง การใช้เพนตะคลอโรฟีนอลในการรักษาเนื้อไม้จะใช้ได้ดีเมื่อละลายในน้ำมันที่มีความหนาแน่นสูง (heavy oil) สารเคมีที่ใช้ในการรักษาเนื้อไม้หลักๆ นอกจากเพนตะคลอโรฟีนอล ได้แก่

ครีโอโซท (Creosote) ซึ่งผลิตโดยใช้อุณหภูมิสูงในการกลั่นถ่านหินชนิดอ่อน (bituminous coal) ในการกลั่นประกอบด้วย ของแข็งอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน ทาร์ที่เป็นกรด และเบส ครีโอโซท เป็นพิษต่อเชื้อราและแมลง จะไม่ละลายน้ำ โดยทั่วไปมีราคาถูก กลิ่นฉุน



ภาพประกอบ 1.1 สูตรโครงสร้างอนุพันธ์ของฟีนอลที่ U.S. EPA. จัดเป็นสารอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์

ส่วนใหญ่ ตรีโอโซทจะใช้กับไม้ที่เป็นไม้แกนหลัก ฐานหลักหรือไม้ที่ใช้ในการก่อสร้างที่อันตรายจากการผุพังสูง เช่น หมอนรองรางรถไฟ รั้วไม้ และไม้กระดาน

ไตรนอร์มอลบิวทิลทินออกไซด์ (Tri-n-butyl-tin-oxide หรือ TBTO $[(\text{BU}_3\text{Sn})_2\text{O}]$) จะละลายในน้ำมันเช่นเดียวกับ PCP โดยทั่วไปใช้เติมในสารกำจัดแมลงพวกออร์แกนโนคลอรีน เช่น ดิลดริน (dieldrin) หรือ ลินเดน (lindane) เพื่อรักษาผิวด้านนอกของไม้ใช้ในขั้นตอนสุดท้ายของการทำความสะอาดเนื้อไม้ TBTO จะสลายไปเมื่อถูกแสงอัลตราไวโอเล็ต

คอปเปอร์-โครม-อาเซนเนท (Copper-Chrome-Arsenate :CCA) คอปเปอร์ และอาเซนิก ใช้เป็นสารฆ่าเชื้อราและฆ่าแมลง ตามลำดับ ในขณะที่ โครเมียม จะเป็นตัวทำให้สารเคมีจับกับเนื้อไม้ สารเคมีจะแทรกซึมเข้าไปในเนื้อไม้ได้ดี กลิ่นไม่แรง สารเคมีตัวนี้ใช้ได้ผลทั้งบนบกและในทะเล

โบรอน(Boron) ใช้ประโยชน์ในการต่อต้านเชื้อราและแมลงต่าง ๆ และมีผลกระทบต่อมนุษย์น้อย แต่มีปัญหาหลักของการรักษาเนื้อไม้โดยใช้โบรอนคือ โบรอนจะละลายน้ำ และสารเคมีจะไม่จับกับเนื้อไม้ ด้วยเหตุนี้โบรอนจึงสามารถถูกชะออกไปได้ง่าย และสามารถใช้ได้เฉพาะกับสิ่งแวดล้อมที่เป็นอันตรายน้อย เช่น ไม้ที่ใช้เป็นองค์ประกอบภายในบ้าน (Hoffman, Hendricks and Powell, 2002)

สำหรับการใช้สารเพนตะคลอโรฟีนอลพบว่ามีหลายประเทศเข้มงวดมากขึ้น เช่น นิวซีแลนด์ สหรัฐอเมริกา เป็นต้น EPA. ได้รายงานว่าการตกค้างของสารเพนตะคลอโรฟีนอลในดินและน้ำเกิดจากการรักษาเนื้อไม้ และโรงงานผลิตยูโทไซปกรณทางทหาร ([http://www.epa.gov/OGWDW/dwhlc-soc/penchlorophl.htm.](http://www.epa.gov/OGWDW/dwhlc-soc/penchlorophl.htm)) สาเหตุที่มีการเข้มงวดและห้ามใช้ในบางประเทศเนื่องจากเพนตะคลอโรฟีนอลมีพิษกว้างขวางและตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมนาน การย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ทำได้ยาก เนื่องจากธรรมชาติของสารที่เป็นสารอินทรีย์คลอรีเนตเตด (chlorinated organic) (Jones and Voogt, 1999)

ผลกระทบของสารเพนตะคลอโรฟีนอลต่อสุขภาพ

สาเหตุการเกิดพิษเนื่องจากหากสารกลุ่มนี้เข้าสู่ร่างกายจะเกิดการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีขึ้น ทำให้ร่างกายมีการสะสมความร้อนจนเป็นสาเหตุให้เกิดอาการพิษที่เรียกว่าเป็นลมแพ้ความร้อน (heat stroke) หรือเกิดอาการอ่อนเพลียจากความร้อน (heat exhaustion) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในร่างกายมนุษย์จะส่งผลกระทบต่อระบบอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย เช่น ตับ ไต และระบบประสาท สารกลุ่มนี้ หากมีสารอื่นผสมอยู่ด้วยทำให้พิษเพิ่มขึ้น เช่น น้ำมันก๊าด น้ำมันเบนซิน หรือเมทานอล เป็นต้น นอกจากนี้ถ้าสารพิษสัมผัสผิวหนังจะถูกดูดซึมผ่านชั้นนอกของผิวหนังและจะมีพิษมากขึ้นถ้าผู้ป่วยมีไข้อยู่แล้ว (ประพันธ์ เชิดชูงาม, 2540)

ลักษณะอาการ ถ้ากลืนสารพิษ ภายในเวลา 2-3 ชั่วโมงจะปรากฏอาการดังต่อไปนี้ ตัวเหลือง โดยเฉพาะบริเวณฝ่ามือทั้งสองข้าง เล็บ ผมหงอกเหลือง เหงื่อออกมาก และกระหายน้ำ คลื่นไส้ อาเจียน มีไข้สูง หนาวง่าย มีความวิตกกังวล กระวนกระวาย หงุดหงิดง่าย เวียนศีรษะ ชีพจรเต้นเร็ว ปัสสาวะออกน้อยมาก เนื่องจากไตถูกทำลาย ชัก หมดสติ มีอาการน้ำท่วมปอด ถ้าสารสัมผัสผิวหนัง จะมีอาการของผื่นบนผิวหนัง เช่น ลมพิษ อาการอื่นๆ จะมีอาการเช่นเดียวกับอาการที่เกิดขึ้นจากการกลืนสารพิษ ถ้าสารพิษเข้าตา จะมีอาการระคายเคืองตาอย่าง รุนแรง ตาแดง และมีน้ำตาไหลออกมามาก ถ้าหายใจเอาสารพิษเข้าสู่ร่างกาย จะระคายเคืองจมูกและลำคอ หายใจลำบาก ปวดบริเวณยอดอก (Henry and Wiseman 1997)

กลไกการออกฤทธิ์ เพนตะคลอโรฟีนอลจะไปรบกวนกระบวนการปฏิกิริยาออกซิเดทีฟ ฟอสฟอริเลชัน (oxidative phosphorylation) ทำให้การสร้าง ATP ลดลง แต่ละเซลล์จะใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น พลังงานจะเปลี่ยนเป็นความร้อนในร่างกาย ทำให้สัตว์มีไข้สูง (Gasiewicz, 1991)

ความเป็นพิษ ชนิดพิษเฉียบพลัน (acute toxicity) ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทุกชนิดค่า LD₅₀ เท่ากับ 100-200 mg/kg ชนิดพิษเรื้อรัง (chronic toxicity) เท่ากับ 40-70 mg/kg (Gasiewicz, 1991 ; Wagner, 1981)

วิธีการกำจัดสารประกอบกลุ่มฟีนอลิก

เนื่องจากการนำสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ สี ย้อม ผลิตภัณฑ์ การแปรรูปไม้ อุตสาหกรรมยางและอุตสาหกรรมน้ำมัน ป่าล้ม (Caza *et al.*, 1998 ; Wu *et al.*, 1997) ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการกำจัดสารกลุ่มดังกล่าวในรายงานวิจัยเกี่ยวกับวิธีการที่ใช้ในการกำจัดสารประกอบกลุ่มนี้ ออกจากน้ำทิ้งที่เกิดจากอุตสาหกรรมเหล่านั้น

การกำจัดสารประกอบฟีนอลจากน้ำทิ้งโดยการใช่วิธีการ 2 ขั้นตอน (two-step method) ซึ่งประกอบด้วยทำให้เกิดการตกตะกอนทางเคมี (chemical coagulation) โดยเติมโลหะคลอไรด์ ในน้ำทิ้ง จากนั้นใช้เรซินในการดูดซับสารประกอบกลุ่มนี้ออกจากน้ำทิ้ง พบว่าสามารถกำจัดฟีนอล จาก 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ลดลงเหลือต่ำกว่าระดับมาตรฐานที่กำหนด คือ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (Lin and Wang, 2001)

การดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ในการดูดซับสารประกอบกลุ่มฟีนอล ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon :GAC) ซึ่งพบว่า พฤติกรรมดูดซับของฟีนอล และคลอโรฟีนอลบนถ่านกัมมันต์ถูกควบคุมโดยแรงการกระเจิง (dispersion) ระหว่างไพอิเล็กตรอน (π electron) ของ ถ่านกัมมันต์ (Jung *et al.*, 2001) และ การใช้ ถ่านกัมมันต์ (Biological Activated Carbon : BAC) ร่วมกับวิธีการโอโซนชัน (ozonation) ในการ กำจัดสารฟีนอล กรดเบนโซอิก (benzoic acid) กรดอะมิโนเบนโซอิก (aminobenzoic acid) และน้ำ ทิ้งจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี (Lin *et al.*, 2001) การใช้แร่ดินเหนียวที่ผ่านการกระตุ้น (Activated Clay) ในการดูดซับซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับสารกลุ่มฟีนอลได้สูง ถึง 81 เปอร์เซ็นต์ (Al-Malah *et al.*, 2000) การใช้ดินเหนียวชนิดอะลูมินาพิลลาร์ (alumina pillared clays) และอะลูมินา อะลูมินัม ฟอสเฟตที่มีรูพรุนขนาดกลาง (mesoporous alumina aluminum phosphates) ในการดูดซับ สารคลอรีเนตเตดฟีนอล (chlorinated phenols) โดยพบว่า alumina pillared montmorillonite สามารถดูดซับเพนตะคลอโรฟีนอลได้ถึง 95.2% และ mesoporous alumina aluminum phosphates สามารถดูดซับเพนตะคลอโรฟีนอลได้ถึง 58.3% (Danis, 1997) และการใช้ออแกนโนเคลย์ (Organo - Clay) ในการดูดซับ โดยใช้ออแกนโนเคลย์ที่เตรียมจากมอนท์โมริลโลไนท์ (montmorillonite) จาก Kursunlu ประเทศตุรกี และใช้แคตไอออน เซอร์เฟด เซตทิลไตรเมทามโมเนียม โบรมได์ (cation surface cetyltrimethammonium bromide : CTAB) เป็นตัวปรับปรุงแร่ดินเหนียว ในกระบวนการ ปรับปรุงแร่ดินเหนียวโดยการเปลี่ยนแร่ดินเหนียวที่ชอบน้ำให้ไม่ชอบน้ำ ทำให้พื้นผิวของแร่ดิน เหนียวถูกครอบคลุมโดยส่วนที่ไม่ชอบน้ำหรือไม่มีขั้วของสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ส่วนประจุ

ที่ชอบน้ำคือส่วนที่มีขี้ จะดูดซับโมเลกุลโดยจะหันขี้ที่ชอบน้ำไปทาง aqueous phase ทำให้ส่วนท้ายของส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) อยู่บนพื้นผิวและแคตไอออนหมู่หลักจะหลุดออกไป ซึ่งจากศึกษาพบว่าเมื่อทำการปรับปรุงแร่ดินเหนียว เป็นออร์แกนโนเคลย์ (Organo – Clay) พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอลจากน้ำสูงขึ้น (Erim and Alemdar, 1998) นอกจากนี้ cation surface cetyltrimethammonium bromide (CTAB) ยังมีการใช้ สารลดแรงตึงผิว (surfactant) ตัวอื่นในการปรับปรุงแร่ดินเหนียว เช่น Quaternary Ammonium Cations (QACs)

การประยุกต์ใช้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) ในการกำจัดสารประกอบกลุ่มฟีนอลิก เอนไซม์ เปอร์ออกซิเดสเป็นอีโมโปรตีนพบทั่วไปในจุลินทรีย์ พืช และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยการเร่งปฏิกิริยาการสลายสารพิษโดยมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมด้วยให้กลายเป็นน้ำ พร้อมทั้งออกซิไดซ์สารที่เป็นซับซ้อน (พัชรกร รัตนภูมิ, 2543) เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส เริ่มนำมาบำบัดน้ำเสียเมื่อประมาณปี ค.ศ. 1982 (Wu, *et al.*, 1997) เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสสามารถกำจัดสารพิษได้เพราะสามารถโพลิเมอร์ไรท์ (polymerize) สารประกอบฟีนอลเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบฟีนอลและสารประกอบอะโรมาติกเอมีนต่าง ๆ ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดเป็นอนุมูลฟีนอกซี (phenoxy radical) และอนุมูลอิสระ (free radical) ของสารประกอบอะโรมาติกเอมีน อนุมูลอิสระเหล่านี้ แพร่กระจายจากบริเวณเร่งของเอนไซม์สู่สารละลาย สารโพลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำสามารถแยกสารมลพิษออกได้ โดยวิธีการกรองหรือการทำให้ตกตะกอน (Caza *et al.*, 1999) เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส สามารถสกัดได้จาก ถั่วลิสง ลิกนิน ฮอสเรดิส และไบบาง (Caza *et al.*, 1998 ; พัชรกร รัตนภูมิ, 2543)

นอกจากนี้ยังมีการใช้วิธีการทางชีวภาพ เช่น การใช้ระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) การใช้วิธีการบำบัดโดยใช้อากาศและไร้อากาศร่วมกัน จากการทดลองบำบัดเพนตะคลอโรฟีนอล 15 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าสามารถกำจัดได้ถึง 97 % แต่ต้องใช้ระยะเวลาในการทดลองถึง 264 วัน (Bhattacharya *et al.*, 1996) ซึ่งวิธีการทางชีวภาพนี้เป็นการใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลาย แต่พบว่าวิธีการนี้ต้องใช้เครื่องจักรกลมาก ค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูง กำจัดสารพิษที่เป็นพิษให้เหลือในปริมาณน้อยได้ยาก และใช้ระยะเวลาในการกำจัดนาน

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ซังข้าวโพด

ซังข้าวโพดเป็นวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรกรรมและในปีหนึ่ง ๆ จะมีของเหลือใช้อยู่มาก ในซังข้าวโพดนั้นมีองค์ประกอบดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 องค์ประกอบของซังข้าวโพด

องค์ประกอบ	ปริมาณ (g/100g น้ำหนักแห้ง)
Ash	1.3
Cellulose	38.4
Hemicellulose	40.7
Lignin	9.1
Protein	1.8
Starch	<1.0
Lipid	<1.0

ที่มา Vaughan *et al.* (2001)

จากองค์ประกอบของซังข้าวโพดที่มีพวกเซลลูโลสประมาณ 80% จึงมีการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

การใช้ซังข้าวโพดทำเป็นถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและโครงสร้างของรูพรุนเหมาะสม (Wu *et al.*, 2001) โดยให้นำซังข้าวโพดมาบดแล้วคาร์บอนไนซ์ (carbonized) ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปกระตุ้น (activated) ด้วยไอน้ำ หรือกรดฟอสฟอริก (El - Hendawy *et al.*, 2001) และการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ มีผู้รายงานว่าประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ เวลาที่แช่ในซิงค์คลอไรด์ อัตราส่วนระหว่างซิงค์คลอไรด์ต่อปริมาณซังข้าวโพด (impregnation ratio) และพบว่าเปอร์เซ็นต์ของรูพรุนจะลดลงเมื่ออัตราส่วนของซิงค์คลอไรด์ต่อปริมาณซังข้าวโพดสูงขึ้น พบว่าที่อุณหภูมิ 773 เคลวิน อัตราส่วนของซิงค์คลอไรด์ต่อปริมาณซังข้าวโพด 175 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และระยะเวลาการแช่ซังข้าวโพดให้อิ่มตัวเป็นเวลา 30 นาที เป็นสถานะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการ

กระตุ้นให้คาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวมาก (เช่น 1,410 ตารางเมตรต่อกรัม) การใช้ซังข้าวโพดเป็นถ่านกัมมันต์ โดยการกระตุ้นทางกายภาพซึ่งกระตุ้นโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ (Chang *et al.*, 2000)

การปรับปรุงซังข้าวโพดในการกำจัดโลหะจากน้ำทิ้ง โดยการล้างซังข้าวโพดด้วยน้ำเบส และกรด ซึ่งวัตถุประสงค์ของการล้างซังข้าวโพดเพื่อกำจัดสารประเภทที่สามารถละลายน้ำได้ออก ส่วนการล้างด้วยเบสเนื่องจากสารที่สามารถละลายในเบสบนผิวของซังข้าวโพดอาจมีผลรบกวนคุณสมบัติการดูดซับของซังข้าวโพด การเติมกรดเพื่อเพิ่มประจุลบบนผิวของซังข้าวโพด และเพื่อให้เกิดการสร้างเอสเทอร์ของน้ำตาลในซังข้าวโพด ซึ่งเป็นการเพิ่มหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) เพื่อจับกับประจุบวกของโลหะไอออน ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพของซังข้าวโพดในการดูดซับโลหะ แคลเซียม ทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว และ สังกะสี ใกล้เคียงกับการใช้เรซิน และการปรับปรุงซังข้าวโพดโดยใช้กรด (กรดซิตริกและกรดฟอสฟอริก) จะให้ประสิทธิภาพในการดูดซับมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้ น้ำและเบส (Vaughan, *et al.*, 2001) มีการนำซังข้าวโพดมาใช้เป็นซับสเตรดในการกำจัดสีย้อมสิ่งทอโดยใช้วิธีโซลิดสเตตเฟอเม้นเตชัน (solid state fermentation) พบว่าสามารถดูดซับสีได้ถึง 70% (Nigam *et al.*, 2000)

จากโครงสร้างของซังข้าวโพดที่มีเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสประมาณ 80% (Vaughan, Seo and Marshall, 2001) ทำให้ซังข้าวโพดมีปริมาณคาร์บอนซึ่งเหมาะที่จะใช้เป็นตัวดูดซับอีกทั้งคุณสมบัติของรูพรุน (Wu *et al.*, 2001) ของซังข้าวโพดทำให้มีการประยุกต์ใช้ ซังข้าวโพดในการกำจัดสารมลพิษออกจากน้ำทิ้ง

กระบวนการดูดซับ (Adsorption)

กระบวนการดูดซับหรือการเกาะติดผิว (adsorption) เป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ ซึ่งอยู่ในของเหลวหรือก๊าซ ให้มาจับและติดบนผิวของมัน ปฏิกิริยาการเช่นนี้จัดเป็นการเคลื่อนย้ายสารจากของเหลวหรือก๊าซมายังผิวของของแข็งโมเลกุลหรือคอลลอยด์นี้ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะ เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) รูปแบบของการดูดซับเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะ คือ การดูดซับทางกายภาพ (physisorption) และการดูดซับทางเคมี (chemisorption)

การดูดซับทางกายภาพ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ(adsorbate) ยึดติดกับผิวตัวดูดซับ (adsorbent) โดยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพื้นผิวของสารดูดซับกับอนุภาคของสารดูดซับมีมากกว่าพลังงานจลน์ของอนุภาคนั้น อนุภาคจะเกาะติดกับพื้นผิวของสารดูดซับด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waal's Force) เรียกกระบวนการดูดติดผิวตัวดูดซับนี้ว่า การดูดซับ (adsorption) ซึ่งเป็น

กระบวนการผันกลับได้ ส่วนกระบวนการที่ตัวดูดซับหลุดออกจากผิวตัวดูดซับเรียกว่า desorption โมเลกุลของตัวดูดซับอาจจะเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับในลักษณะซ้อนกันหลายชั้น (multilayer) ก็ได้

การดูดซับทางเคมี โมเลกุลของตัวถูกดูดซับยึดติดอยู่กับผิวของตัวดูดซับด้วยพันธะเคมีที่แข็งแรง ซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์ และยากต่อการที่ตัวดูดซับหลุดออกจากผิวตัวดูดซับ การดูดซับทางเคมีนี้โมเลกุลตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่เป็นชั้นเดียว (monolayer) (Treybal, 1981)

สารที่มีความสามารถดูดโมเลกุลต่าง ๆ มาติดผิวได้ (adsorbent) มีหลายชนิด ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ สารอนินทรีย์ ถ่านกัมมันต์ และสารอินทรีย์สังเคราะห์

สารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ถ่านกระดูก (bone char) แอ็คติเวตเต็ดซิลิกา (activated silica) เป็นต้น สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะ ประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามมีข้อเสียคือจับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดติดผิวประเภทสารอนินทรีย์มีจำกัดมาก

สารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange resin) เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม สารประเภทนี้สามารถรีเจนเนอเรต (regenerated) ได้ง่าย

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ ได้แก่

สมบัติของตัวดูดซับ ซึ่งประกอบด้วย

พื้นที่ผิวและโครงสร้างรูพรุน พื้นที่ผิวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับรูพรุน หากรูพรุนมีมากทำให้พื้นที่ผิวดูดซับมีมากดังนั้นความสามารถในการดูดซับก็จะมากขึ้น การดูดซับจะเกิดได้ดีเมื่อโมเลกุลตัวถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อย หากรูพรุนมีมากแต่ขนาดเล็กหรือรูพรุนขนาดใหญ่แต่ปากรูพรุนมีขนาดเล็กก็ไม่ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น

สมบัติของตัวถูกดูดซับ ซึ่งประกอบด้วย

ความสามารถในการละลาย สารที่มีความสามารถในการละลายสูงจะถูกดูดซับได้น้อย เนื่องจากก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับขึ้นต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายและตัวทำละลายก่อนที่จะเกิดการดูดซับ ซึ่งถ้าไม่มีการทำลายพันธะก็จะไม่สามารถเกิดการดูดซับได้

น้ำหนักและขนาดของโมเลกุล ถ้าน้ำหนักโมเลกุลและขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น และโมเลกุลที่มีโครงสร้างเป็นกิ่ง (branched chain) จะถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่เป็นโซ่ตรง (straight chain)

ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) การดูดซับขึ้นกับสภาพความเป็นขั้วของพื้นที่ผิวตัวดูดซับ หากพีเอชลดลงส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) ที่พื้นที่ผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้การดูดซับไอออนลบเกิดได้มากขึ้น (Ford, 1981)

อุณหภูมิ การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับเร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับอ่อนลง (Broughton, 1981) และแม้ว่าการลดอุณหภูมิในขณะการดูดซับลงจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับได้บ้าง แต่ก็นับว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยอื่น ๆ (Ford, 1981)

การศึกษาความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity)

การศึกษาความสามารถในการดูดซับเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ กับความเข้มข้นที่เหลืออยู่ ณ จุดสมดุลของสาร เพื่อคัดเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสมที่สุด โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการดูดซับหรือไอโซเทอร์ม (isotherm) ซึ่งได้แก่ สมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich

การดูดซับแบบ Langmuir เป็นการดูดซับ ซึ่งมีสมมติฐานว่าการดูดซับสูงสุดสัมพันธ์กับโมเลกุลตัวถูกละลายที่จัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ มีพลังงานของการดูดซับคงที่ ไม่มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลตัวถูกดูดซับในแนวระนาบบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ (Patterson and Patzelt, 1981)

$$Q = Q_m bC / (1 + bC)$$

- เมื่อ
- Q = จำนวนโมลของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักที่ความเข้มข้น C
 - Q_m = จำนวนโมลของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักตัวดูดซับที่จัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียว (monolayer) บนพื้นผิวตัวดูดซับ
 - C = ความเข้มข้นที่จุดสมดุล (mg/l, M)
 - b = ค่าคงที่ที่สัมพันธ์กับพลังงาน

จัดเป็นสมการเส้นตรงจะได้

$$1/Q_m = (1/Q) + (1/bQ_m)(1/C)$$

การดูดซับแบบ Freundlich เป็นการดูดซับที่ตัวถูกดูดซับเรียงซ้อนกันหลายชั้นด้วยพันธะอ่อนๆ ซึ่งเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้อธิบายไอโซเทอร์มการดูดซับ

$$X/M = kc^{1/n} \text{ หรือ } \log X/M = \log k + (1/n) \log c$$

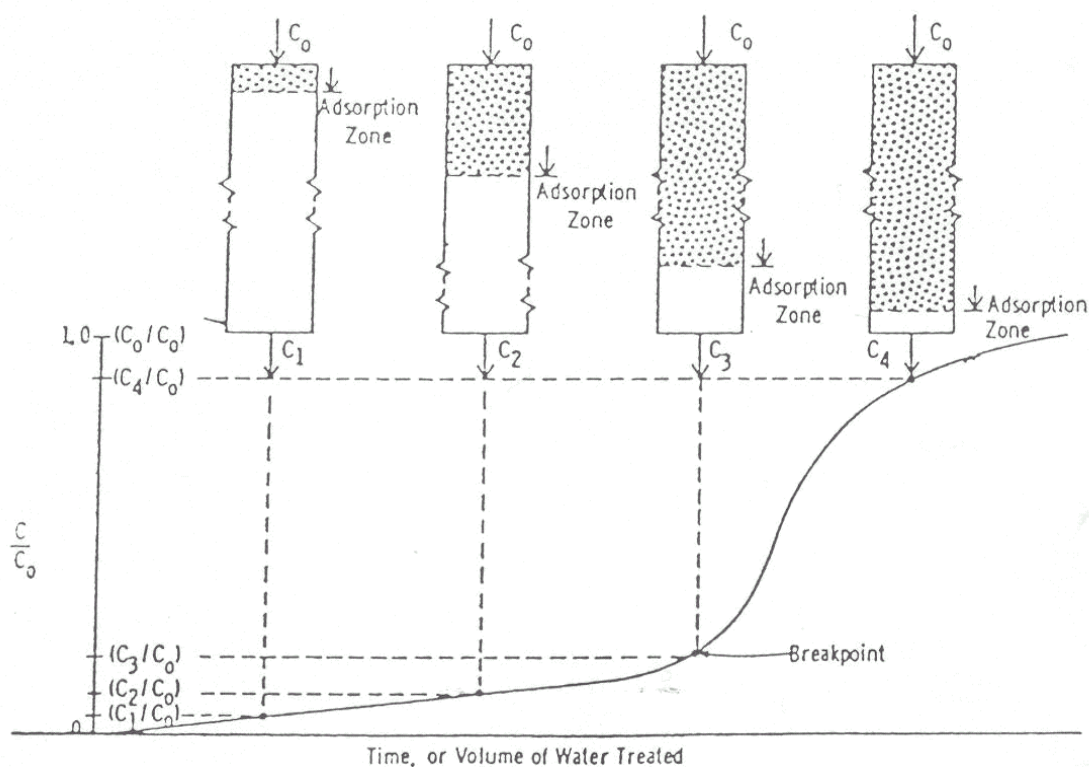
เมื่อ

- X = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับ (mg)
- M = ปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ (g)
- C = ความเข้มข้นของสารที่เหลืออยู่ (mg/l, M)
- k, n = ค่าคงที่

กรณีที่เส้นไอโซเทอร์มการดูดซับมีความชันสูง ($1/n$ สูง) แสดงว่าการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีสารที่ต้องการให้ดูดซับมีความเข้มข้นสูง และเส้นไอโซเทอร์มการดูดซับที่อยู่เหนือเส้นไอโซเทอร์มการดูดซับเส้นอื่นแสดงถึงประสิทธิภาพการดูดซับที่สูงกว่า (เสริมพล รัตนสุข, 2524)

การศึกษาอายุการใช้งานของตัวดูดซับและค่าคงที่

การศึกษาอายุการใช้งานของตัวดูดซับและค่าคงที่ทำได้โดยผ่านน้ำเสีย (ที่ปนเปื้อน) อย่างต่อเนื่องเข้าสู่คอลัมน์ซึ่งบรรจุตัวดูดซับ เมื่อน้ำไหลผ่านชั้นตัวดูดซับเป็นระยะเวลาหนึ่งจะมีสารปนเปื้อนเกาะติดที่ผิวตัวดูดซับ ทำให้ตัวดูดซับค่อย ๆ หมดประสิทธิภาพตามปริมาณน้ำที่ไหลผ่านชั้นตัวดูดซับ ดังนั้นความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำที่ผ่านการดูดซับจึงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าสูงสุดที่กำหนดไว้เรียกจุดนี้ว่า เบรคพอยท์ (breakpoint) ดังภาพประกอบ 1.2 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของปริมาณน้ำทิ้งที่ผ่านชั้นตัวดูดซับแล้วต่อความเข้มข้นเริ่มต้นเทียบกับปริมาณที่ใช้ เรียกว่า กราฟเบรคทรู (breakthrough curve)



ภาพประกอบ 1.2 กราฟเบรคทรู (breakthrough curve)

ที่มา : Weber (1981)

ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ คาร์บอนชนิดนี้อาจจัดเป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์ที่ใช้เป็นตัวดูดซับที่ดี ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุดซึ่งทำได้โดยการทำให้มีรูพรุนหรือโพรงภายในเนื้อคาร์บอนมากที่สุด การสังเคราะห์คาร์บอนชนิดนี้ทำได้โดยไล่ความชื้นจากวัตถุดิบก่อนจากนั้นจึงเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่าน (carbonization) ที่อุณหภูมิประมาณ 400-600 องศาเซลเซียส คาร์บอนที่ได้ยังมีความสามารถดูดซับต่ำ เนื่องจากโพรงภายในคาร์บอนมีทาร์อุดตันอยู่ จึงต้องเผาต่อที่อุณหภูมิประมาณ 750-950 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ทาร์ออกให้หมด ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่ผลิตขึ้นให้มีพื้นที่ผิวสูง ประมาณ 600-1,000 ตารางเมตร (มันสิน ตันฑกุลเวศน์, 2542) นอกจากนี้พื้นที่ผิวแล้วยังมีรูพรุนซึ่งภายในจะมีอิเล็กตรอนอิสระ ที่พร้อมจะแลกเปลี่ยนประจุและยึดเหนี่ยวโมเลกุลของสารได้เป็นอย่างดี (คำรง ขุมมงคล และ อภิสิริ เจริญกุล, 2533) วัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์ให้เป็นถ่านกัมมันต์มีหลายชนิดด้วยกัน เช่น กะลามะพร้าว ชานอ้อย เปลือกถั่วลิสง กระจูดสัตว์ ถ่านหิน เปลือกผลไม้บางชนิด ไม้ ขี้เลื่อย และยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว เป็นต้น (ปิยะพล หงษ์พญา, 2539; รัตนวดี จันทร์น้ำใส, 2540; Ahmedna, 1997) ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับได้ทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ได้แก่ โลหะหนักชนิดต่าง ๆ สี กลิ่น คลอรีนในน้ำ สารที่ใช้ในยาฆ่าแมลง รวมทั้งสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะที่ปรากฏ คือชนิดผง (Powder Activated Carbon : PAC) ปริมาณถ่านที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 โดยน้ำหนัก และชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon : GAC) ปริมาณถ่านที่ผ่านตะแกรงขนาด 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532)

กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

ในปัจจุบันกรรมวิธีผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ ลักษณะ และคุณสมบัติของถ่านที่ต้องการ แต่โดยทั่วไปกระบวนการดังกล่าวประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ๆ 2 ขั้นตอน คือ การคาร์บอนไนซ์ (carbonization) และการกระตุ้น (activation)

คาร์บอนไนเซชัน (carbonization) เป็นกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) รูปแบบหนึ่งที่จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ในรูปของชาร์ (char) ที่เป็นของแข็งมากกว่าน้ำมันทาร์ (tar) และก๊าซ อาจกล่าวได้ว่าคาร์บอนไนเซชันเป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนให้สูงขึ้น การไพโรไลซิสแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การไพโรไลซิสแบบช้าและแบบรวดเร็ว การไพโรไลซิสแบบช้าจะเกิดสมดุล

ในช่วงแคบ (local equilibrium) โดยอัตราการให้ความร้อนจะช้าพอที่จะทำให้เกิดความสมดุลตามอุณหภูมิ ในกรณีนี้ปริมาณและการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับแนวของอุณหภูมิเดิม ส่วนไพโรไลซิสแบบรวดเร็วจะไม่คำนึงถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในช่วงให้ความร้อน แต่การไพโรไลซิสจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิคงที่ช่วงสุดท้าย

วัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยเฉพาะวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำนั้นต้องการคุณสมบัติที่สำคัญ คือ สารระเหยต่ำ ค่าคาร์บอนคงตัวสูง มีความพรุนสูง มีความต้านทานต่อการขัดสี ซึ่งในธรรมชาติไม่พบคุณสมบัติที่ต้องการทั้งหมด ดังนั้นต้องทำการคาร์บอนไนซ์ให้เกิดการสลายตัวด้วยความร้อนเป็นการไล่ทาร์ แล้วเปลี่ยนเป็นโค้ก

การกระตุ้น (activation) คือการทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิว และการทำให้ผิวว่องไวมากขึ้น

Mukherjee (1947) ได้ให้ความหมายของการกระตุ้นไว้เป็น 3 ความหมายคือ

- เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว ปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไป และเกิดส่วนที่มีอำนาจดูดซับขึ้นมาแทน
- เป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้พื้นที่ผิวที่มีอยู่แล้ว ซึ่งหมายถึงทำให้อะตอมของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้น โดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ ให้ความว่องไวในการดูดซับสูงขึ้น
- เป็นการกำจัดอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ (active centers)

วัตถุดิบส่วนมากเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนทั้งที่เป็นโซ่ยาวและเป็นวง เมื่อนำมาคาร์บอนไนซ์จะเกิดการสร้างอะโรมาติก (aromatization) วงเบนซินแต่ละวงจะเชื่อมติดกันจนมีลักษณะเป็นแผ่น ในโครงสร้างถ่านจะมีแผ่นของวงเบนซินนี้อยู่หลายแผ่นเรียงกันเป็นชั้นๆ อย่างไม่เป็นระเบียบ การเรียงตัวเป็นชั้น ๆ นี้จะเกิดแรงผลักระหว่างชั้นจากไพอิเล็กตรอน (pi-electron) ที่เคลื่อนที่อยู่บนและล่างของแต่ละชั้น ถ่านสร้างเสถียรภาพด้วยการใช้ไพอิเล็กตรอนสร้างพันธะ โดยการดึงอะตอมแปลกปลอมอื่นเข้าสู่โครงสร้าง เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจน หรือ ฟอสฟอรัส เป็นต้น แต่การดึงอะตอมออกซิเจนในบรรยากาศจะง่ายที่สุด ดังนั้นจึงมักพบออกซิเจนในโครงสร้างถ่านเสมอ

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์ แบ่งตามกลไกได้ 2 ประเภทคือ การกระตุ้นด้วยกรรมวิธีทางเคมี (chemical activation) และการกระตุ้นด้วยกรรมวิธีทางกายภาพ (physical activation)

การกระตุ้นด้วยกรรมวิธีทางเคมี เป็นการผลิตถ่านโดยให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน และมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารเคมีที่นิยมใช้เป็นสารดูดน้ำ (dehydrating agent) ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เป็นต้นวิธีนี้นิยมใช้กับวัตถุดิบพวกไม้ ฟืน และพวกที่มีโครงสร้างละเอียด เช่นเปลือกถั่ว จี่เลื่อย และแกลบ เป็นต้น (Hassler, 1974)

สารเคมีดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสและลิกนินที่อุณหภูมิสูง ทำให้โมเลกุลของน้ำหลุดออก การกระตุ้นทางเคมีแบ่งเป็น 2 แบบคือ แบบที่มีการผสมวัตถุดิบกับสารเคมีโดยตรงแล้วจึงเผาให้เป็นผลึกถ่าน (carbonization) เมื่อดังสารเคมีออกแล้วก็จะได้ถ่านกัมมันต์ที่ใช้งานได้ อย่างปลอดภัย ส่วนอีกแบบจะมีการเผาวัตถุดิบเป็นผลึกถ่านก่อนแล้วจึงนำมาผสมกับสารเคมีเพื่อทำการกระตุ้น (บุญชัย ตระกูลมหชัย, 2537)

ข้อดีของการกระตุ้นด้วยสารเคมีคือ มีการแทรกซึมของสารเคมีได้ทั่วถึง ได้ถ่านที่มีรูพรุนค่อนข้างใหญ่ และใช้อุณหภูมิไม่สูงมาก (400-600 องศาเซลเซียส) แต่มีข้อเสียคือ ปัญหาสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีดังกล่าวออก รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ก็ต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถทนการกัดกร่อนได้ เพราะสารเคมีเหล่านี้เป็นสารกัดกร่อน

การผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้วัสดุจากพืช (vegetable matter) ด้วยสารดูดน้ำ สารดูดน้ำจะทำหน้าที่ละลายลิกนินหรือเซลลูโลส ดังนั้นวัสดุที่มีลิกนินและเซลลูโลสสูงจะสามารถผลิตเป็นถ่านที่มีความสามารถในการดูดซับสูงได้

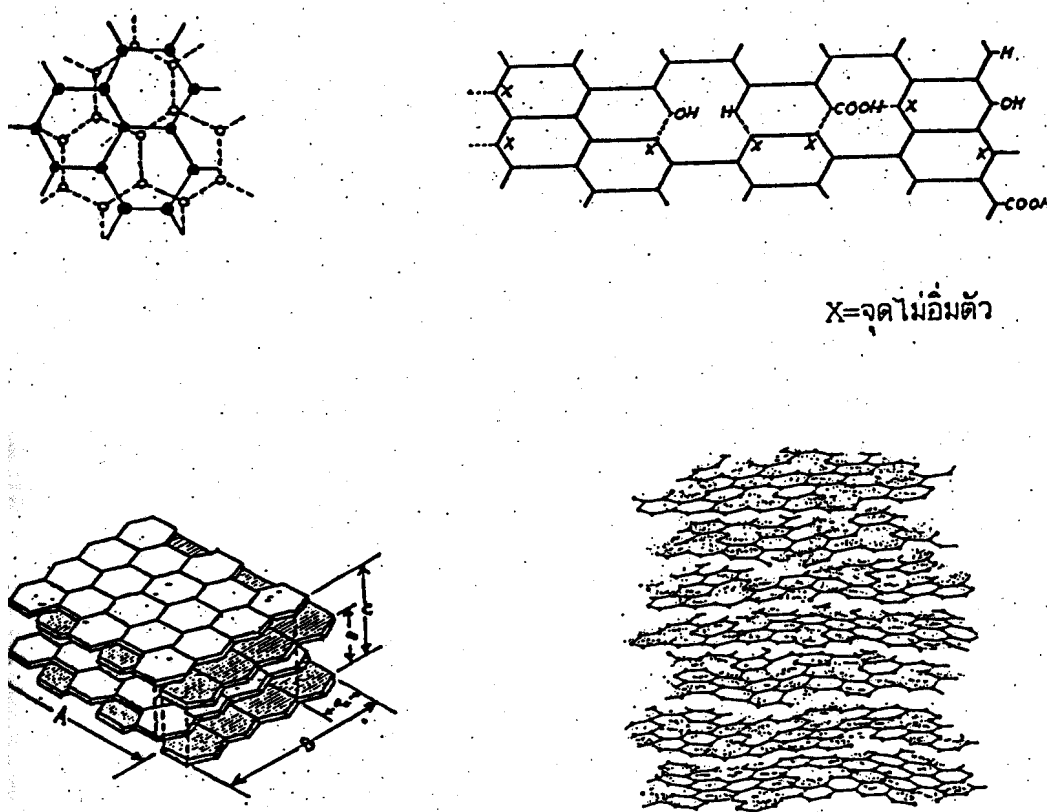
การผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวกระตุ้น (Hassler, 1974) ตัวอย่างหนึ่งของการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกคือการผลิตถ่านกัมมันต์จากฟืนหรือจี่เลื่อย หากต้องการถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติกำจัดสีได้ดีก็ให้ใช้อัตราส่วนของกรดสูง จากนั้นอบของผสมให้แห้งแล้วเผาต่อที่อุณหภูมิ 400- 600 องศาเซลเซียส

กระบวนการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกคล้ายกับการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ คือกรดฟอสฟอริกและซิงค์คลอไรด์จะดูดน้ำจากวัตถุดิบ ถ่านกัมมันต์ที่ได้ควรนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800-1,000 องศาเซลเซียส อีกประมาณ 2-8 ชั่วโมง ทำให้คาร์บอนบางส่วนถูกออกซิไดซ์ ซึ่งจะช่วยลดฟอสฟอรัสและไฮโดรด์ ในบางกระบวนการใช้กรดซัลฟูริกแทนได้ แต่ถ่านที่ได้จะมีคุณสมบัติด้อยกว่า กรดฟอสฟอริกสามารถใช้เป็นสารช่วยกระตุ้นได้ด้วย ซึ่งต่างจากซิงค์คลอไรด์ที่มีผลเมื่อเติมก่อนคาร์บอนไนซ์เท่านั้น การนำถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยไอน้ำไปแช่ในกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 2-25% จะช่วยให้ถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติดีขึ้น (จิรพา บุญญคง, 2543)

การกระตุ้นด้วยกรรมวิธีทางกายภาพ เป็นการผลิตถ่านโดยที่ผิวคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่นการจัดเรียงตัวใหม่ ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านให้สูงขึ้น นิยมใช้ก๊าซออกซิไดซ์ต่าง ๆ เช่นไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน เป็นต้น ร่วมกับการใช้ความร้อนปฏิกิริยากระตุ้นอาจเกิดความร้อนเพียงอย่างเดียวแต่ต้องใช้ อุณหภูมิสูงมากถึง 1,200 องศาเซลเซียส และพบว่าถ่านที่ผลิตได้มีคุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยการกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดซ์ ปัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นวิธีนี้คือ ชนิดและปริมาณของ องค์ประกอบที่มีในวัตถุดิบ คุณสมบัติทางเคมีและอัตราส่วนของก๊าซที่ใช้ อุณหภูมิขณะเกิด ปฏิกิริยา และระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา (Hassler,1974) ข้อดีของการกระตุ้นด้วยวิธีนี้คือ ไม่มี สารเคมีตกค้าง ข้อเสีย คือ ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าการกระตุ้นแบบเคมี ในกระบวนการกระตุ้น คาร์บอนทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์แพร่ออกจากผิวของคาร์บอน เกิดก๊าซซิไฟเคชัน บางส่วนของเม็ดถ่านเป็นรูพรุนขึ้นในโครงสร้างของถ่าน ถ่านจากการคาร์บอนไนซ์ ประกอบด้วยรูพรุนเล็กๆ จำนวนมาก เกิดจากช่องว่างระหว่างผลึกในการจัดเรียงตัวของคาร์บอน อะตอม รูพรุนมักบรรจุด้วยทาร์ที่เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อน และถูกขวางด้วยคาร์บอนที่ เรียงตัวไม่เป็นระเบียบหรือที่เรียกว่า อะมอร์ฟัสคาร์บอน (amorphous carbon) การกระตุ้นจึงเป็นการ เปิดรูที่ถูกปิดและสร้างรูใหม่ขึ้นมาด้วย รูพรุนทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากช่วยเพิ่มประสิทธิภาพใน การดูดซับ การกระตุ้นที่เหมาะสมคือการทำให้ความพรุนไม่ใช่ทำให้ขนาดรูใหญ่ เมื่อพิจารณา ลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์ จะพบว่ามิลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง แตกต่างกัน รูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบและความลึกไม่ สม่าเสมอ ลักษณะรูพรุนเปรียบได้กับหลอดแก้วขนาดเล็ก (capillary tube) ที่เสียบเข้าไปในเนื้อ ถ่านกัมมันต์

โครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์เตรียมได้จากการเผาผลาญสารอินทรีย์ด้วยความร้อน (pyrolysis) ที่อุณหภูมิต่ำกว่า $1,000^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเรียกกระบวนการดังกล่าวว่า คาร์บอนไนเซชัน (carbonization) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาผลาญแบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ถ่านชาร์ ทาร์ และ ก๊าซต่างๆ (Ravindra, 1988) ก๊าซดังกล่าวได้แก่ ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน จะถูกกำจัดออกไป อะตอมคาร์บอนที่เหลือจะจัดเรียงตัวเป็นชั้นๆ แต่แต่ละชั้นประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติกเชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบ (ภาพประกอบ 1.3) จึงเกิดช่องว่างหรือโพรงซึ่งเป็นบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับและเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันขึ้นมาแทน

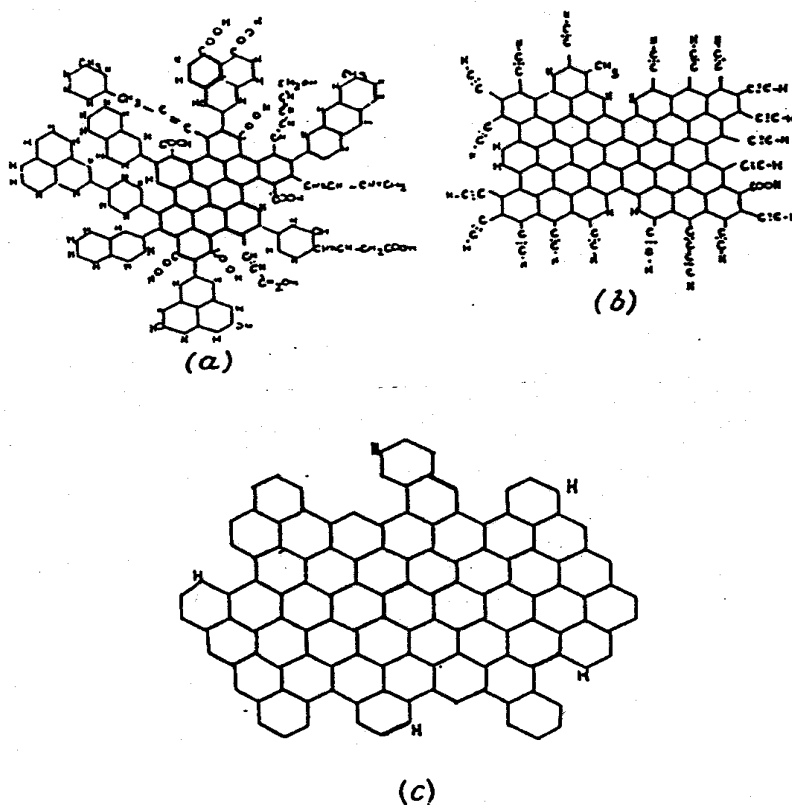


ภาพประกอบ 1.3 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ทีมา จีรพา, 2543

สารพวกถ่านหรือถ่านกัมมันต์จัดเป็นคาร์บอนที่มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน (amorphous carbon) และมีโครงสร้างเป็นผลึกคล้ายผลึกกราฟิตอยู่บ้าง จึงมีชื่อเรียกว่า crystallite จากผลศึกษาทางเอกซเรย์พบว่าอะมอฟิตคาร์บอนประกอบด้วยระนาบแบนราบของอะตอมของคาร์บอนเรียงตัวอยู่ในเฮกซะโกนัลแลททิซ แต่ละอะตอมของคาร์บอนยกเว้นอะตอมที่อยู่บริเวณขอบจะสร้างพันธะ

โควาเลนต์ (covalent bond) กับคาร์บอนข้างเคียงอีก 3 อะตอม โดยใช้ซิกมาอิเล็กตรอน (σ - electron) สร้างพันธะเดี่ยว (single bond) อิเล็กตรอนที่เหลืออีก 1 ตัวเป็นไพอิเล็กตรอน (π - electron) ใช้ในการสร้างพันธะคู่ (double bond) แต่โดยทั่วไปผ่านหรือผ่านกัมมันต์มีอิเล็กตรอนไม่ครบคู่ คาร์บอนบางอะตอมจึงรับอิเล็กตรอนดังกล่าวไว้ ทำให้มีความหนาแน่นของประจุสูง อะตอมดังกล่าวจึงปล่อยให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปยังอะตอมข้างเคียงเพื่อลดความหนาแน่นประจุ ทำให้โครงสร้างเสถียรขึ้น แต่ละระนาบของคาร์บอนมีแรงแวนเดอร์วาลส์เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้น ซึ่งมีความแข็งแรงไม่มากนัก

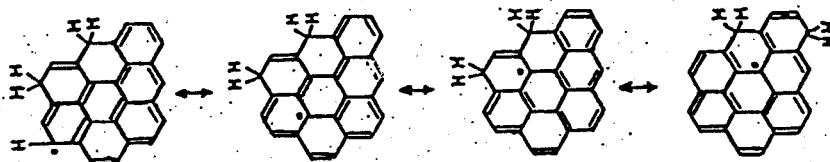


ภาพประกอบ 1.4 โครงสร้างทางทฤษฎีของ crystallite

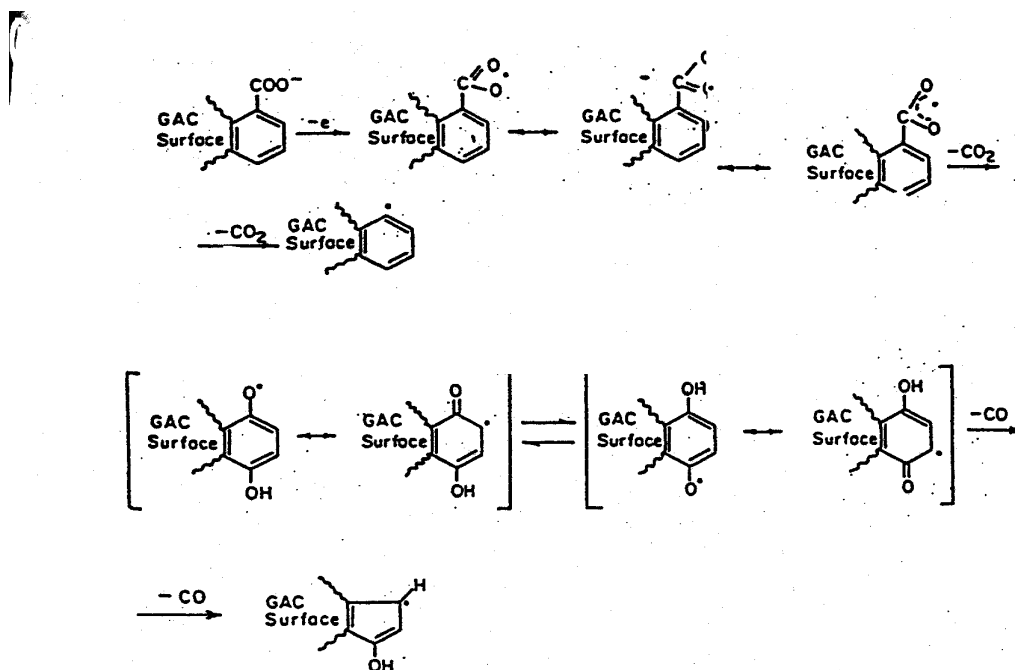
ที่มา : Hassler (1974)

การเกิด crystallite อาจเกิดผ่านกลไกหลายแบบ ระหว่างการไพโรไลซิส สารอินทรีย์ เริ่มต้นอาจแยกเป็นส่วนๆ แล้วรวมตัวกันใหม่เป็นโครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกที่เสถียรต่อความร้อน การเปลี่ยนแปลงแบบนี้มักเกิดไม่สมบูรณ์จึงมีพวกไฮโดรคาร์บอนและวงแหวน

ไฮโดรคาร์บอนเหลืออยู่ ซึ่งไม่สามารถกำจัดออกได้โดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย หรือกำจัดออกในสภาพก๊าซ โครงสร้างที่เหลืออยู่จึงเกิดพันธะเคมีกับอะตอมรอบนอกของ crystallite ดังภาพประกอบ 1.4



ภาพประกอบ 1.5 การเคลื่อนที่ของโฟอิเล็กตรอนในโครงสร้างของถ่านและถ่านกัมมันต์
ที่มา : บุญชัย (2537)



ภาพประกอบ 1.6 การเคลื่อนที่ของโฟอิเล็กตรอนในโครงสร้างของถ่านและถ่านกัมมันต์
ที่มีอะตอมของออกซิเจน

ที่มา : จีรพา (2543)

ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์เกิดจากอเล็กตรอนอิสระในวงนอกสุดมีไม่ครบ 2 หรือ 8 (unsaturated valencies) ตามกฎออกเตต (octate law) จึงพยายามจับกับอะตอมหรือโมเลกุลอื่นๆ เช่น ออกซิเจนในอากาศ หรืออะตอมต่างๆ ที่อยู่ในสารตั้งต้น การกระตุ้นจะช่วยให้การจับกันระหว่างอะตอมคาร์บอนกับอะตอมอื่นๆ กลายเป็นพันธะเคมีที่แข็งแรง

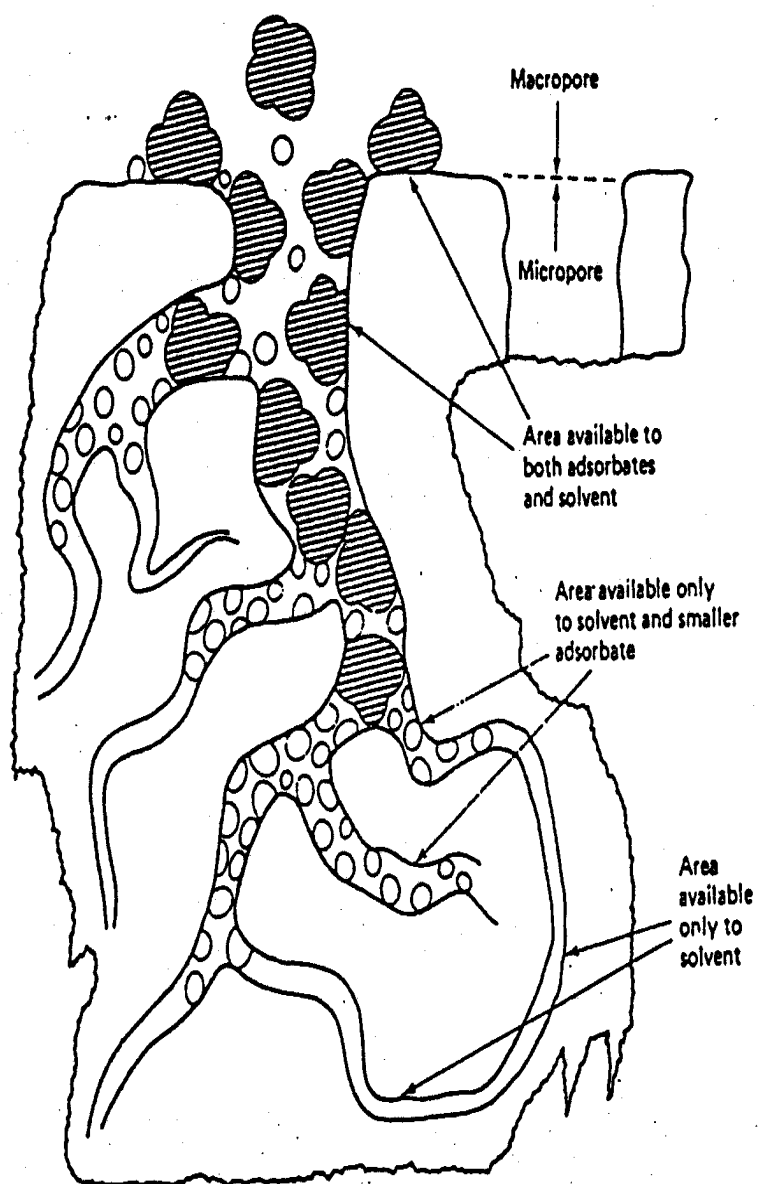
โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์

รูพรุนของถ่านกัมมันต์มีขนาดต่างๆ กัน เรียงตัวอยู่ในเนื้อของถ่านอย่างไม่เป็นระเบียบ และมีความลึกไม่เท่ากัน โดยทั่วไปจะเรียกรูพรุนเหล่านี้ตามขนาด ได้มีการจำแนกชนิดของรูพรุนตามขนาดรัศมีรูพรุนออกเป็น

รูพรุนขนาดใหญ่ (macropores) รัศมีของรูพรุนมากกว่าหรือเท่ากับ 1,000-2,000 อังสตรอม ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.2-0.8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวไม่เกิน 0.5 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับรูพรุนขนาดอื่น ดังนั้นแมโครพอร์จึงไม่ค่อยมีความสำคัญในการดูดซับ เป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคเข้าไปในรูที่เล็กกว่า

รูพรุนขนาดกลาง (mesopores) หรือ ทรานซิชันนัลพอร์ (transitional pores) ขนาดของรัศมีอยู่ระหว่าง 15-16 อังสตรอม ถึง 1,000-2,000 อังสตรอม ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.1-0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิว 20-100 ตารางเมตรต่อกรัม ตัวอย่างสารดูดซับที่มีขนาดของรูเป็นมิโซพอร์ ได้แก่ ซิลิกาเจล (silica gel) อะลูมินาเจล (alumina gel) อะมิโนซิลิเกตคะตาไลสต์ (aminosilicate catalyst)

รูพรุนขนาดเล็ก (micropore) ขนาดรัศมีรูน้อยกว่า 15-16 อังสตรอม ปริมาตร 0.2-0.6 ลูกบาศก์เมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวจำเพาะมากหลายร้อยตารางเมตรต่อกรัม ไมโครพอร์มีความสำคัญในการดูดซับ เนื่องจากพื้นที่การดูดซับและพลังงานดูดซับมากที่สุดทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้นมากที่ความดันต่ำๆ รูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ เชื่อว่าปริมาณของรูพรุนแต่ละขนาด หรือ ที่เรียกกันว่า การกระจายของรูพรุน (pore size distribution) จะขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ และวิธีการกระตุ้น (ปิยะพล หงษ์พญา, 2539)



ภาพประกอบ 1.7 การวางตัวของรูพรุนขนาดต่างๆ

ที่มา : มั่นสิน (2542)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาความสามารถในการดูดซับสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกของซังข้าวโพด
2. ปรับปรุงซังข้าวโพดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารประกอบกลุ่มฟีนอลิก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. ประยุกต์ใช้ซังข้าวโพดในการกำจัดสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกจากน้ำทิ้งในภาคอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพารา
2. เพิ่มมูลค่าให้กับของเสียทางเกษตรกรรมคือซังข้าวโพด
3. ลดปริมาณของเสียจากภาคเกษตรกรรม