

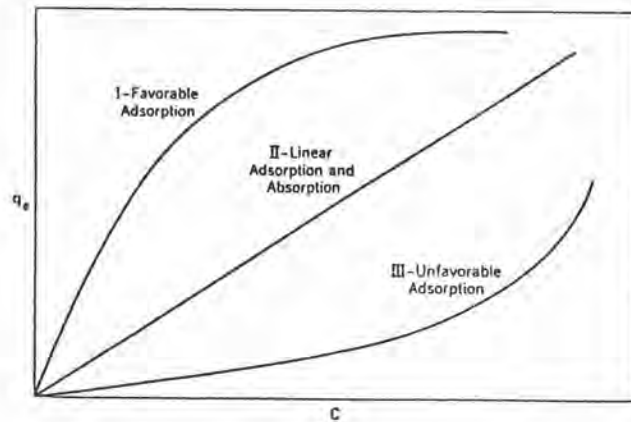
บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 การดูดติดผิว

การดูดติดผิว (Adsorption) ของก๊าซได้เริ่มต้นค้นคว้าโดย Scheele ในปีค.ศ. 1773 และต่อมาในปี ค.ศ. 1785 ได้มีการค้นคว้าการดูดติดผิวของสารละลายโดย Lowitz ซึ่งปัจจุบันเป็นที่ทราบว่าการดูดติดผิวเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดติดผิวบนของแข็งโดยเฉพาะบนถ่านกัมมันต์ เป็นกระบวนการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำดี และน้ำเสีย Rizzo (1971) แนะนำว่าระบบการดูดติดผิวโดยคาร์บอนมีข้อดี เมื่อเปรียบเทียบกับระบบทางชีวภาพ คือ ต้องการพื้นที่น้อยกว่า ไม่มีกลิ่นที่น่ารังเกียจ ไม่มีผลกระทบเมื่อเปลี่ยนแปลงพีเอช อุณหภูมิ หรือภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่ไม่คงที่ ลงทุนต่ำ ไม่มีสลักด์ มีความสามารถในการนำคาร์บอนกลับมาใช้ได้ อีก สามารถใช้ในการเพิ่มความสามารถของระบบบำบัดที่มีอยู่เดิม และมีความยืดหยุ่นสูง

การดูดติดผิวเกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิว กับพื้นผิวสัมผัส กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใด เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุล หรือคอลลอยด์ที่มาจับติดบนผิวสัมผัสเรียกว่า สารถูกดูดติดผิว (Adsorbate) และส่วนที่โมเลกุล หรือคอลลอยด์ดูดติดเรียกว่า สารดูดติดผิว (Adsorbent) โดยรูป 2.1 แสดงการกระจายโมเลกุล หรืออะตอมของสารระหว่างของเหลว และพื้นผิวของแข็ง โดย Γ_C แสดงถึงความเข้มข้นของสารในของเหลวที่สัมผัสของแข็ง บริเวณผิวสัมผัสของของเหลว กับของแข็ง และ q_c หมายถึงจำนวนของสารที่ผ่านข้ามผิวสัมผัส



รูป 2.1 รูปแบบของการดูดติดผิว (Eckenfelder, 1981)

เส้นโค้ง I และ III แสดงถึงการดูดติดผิวโดยความเข้มข้นของสารบนพื้นผิวของแข็งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารในของเหลวบริเวณพื้นผิวสัมผัส โดยมีความสัมพันธ์แบบเส้นโค้ง ซึ่งเส้นโค้งนี้แสดงถึงการดูดติดผิวที่ดี และไม่ดี ส่วนเส้นโค้ง II แสดงถึงรูปแบบการดูดติดผิวแบบเส้นตรง ซึ่งความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้น

2.2 กลไกการดูดติดผิว และอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล

2.2.1 กลไกการดูดติดผิว

การดูดติดผิวของสารประกอบอินทรีย์เกิดจากแรงดูด (Attractive Force) หลากหลายแบบระหว่างโมเลกุลของสารอินทรีย์ และพื้นผิวหน้าของถ่าน ซึ่งแรงทั้งหมดกำเนิดมาจากปฏิกิริยาแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic interaction) กลไกการดูดติดเกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลในชั้นของเหลวเข้าใกล้สารดูดติดผิว ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดูดเอาชนะพลังงานจลน์ของโมเลกุลของของเหลว การดูดติดผิวจึงเกิดขึ้น การดูดติดผิวแบ่งเป็น 2 แบบที่สำคัญคือ การดูดติดผิวทางกายภาพ (Physisorption) และการดูดติดผิวทางเคมี (Chemisorption)

การดูดติดผิวทางกายภาพเกิดจากแรงแวนเดอวาล์ว (Van der Waals Force) ซึ่งเกิดจากการรวมกันของแรงที่เกิดจากการแพร่ (Dispersion Force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Force) โมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับโมเลกุลของสารดูดติดผิว การดูดติดผิวแบบนี้เป็นแบบดูดติดหลายชั้น (Multilayers) ซึ่งแต่ละชั้นของโมเลกุลจะติดอยู่กับชั้นโมเลกุลก่อนหน้านั้น โดยจำนวนชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิว

หรือตัวถูกละลาย ซึ่งจำนวนชั้นของโมเลกุลจะมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลาย ในสารละลาย การดูดติดผิวทางกายภาพทั่วไปจะเกิดที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งการดูดติดผิวแบบนี้ให้พลังงานต่ำ โดยทั่วไปประมาณ 2-10 Kcal/mole การย้อนกลับของกระบวนการดูดติดผิวทางกายภาพขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดูดติดผิวระหว่างสารดูดติดผิว และสารถูกดูดติดผิว ถ้ามีแรงดูดติดผิวน้อยการหลุดออกของสารถูกดูดติดผิวจะสามารถเกิดขึ้นได้ง่าย

การดูดติดผิวทางเคมีเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารถูกดูดติดผิว และสารดูดติดผิว ซึ่งโดยทั่วไปเป็นผลมาจากการเปลี่ยนรูปของสารถูกดูดติดผิวทำให้เกิดเป็นสารประกอบทางเคมี โดยรูปแบบการเกิดสารประกอบทางเคมีแตกต่างกับปฏิกิริยาเคมีทั่วไป โดยที่อะตอมบนผิวของสารดูดติดผิวยังคงรักษาลักษณะดั้งเดิมบนพื้นผิวนั้นไว้ การดูดติดผิวแบบนี้จะมีความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียว และไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับเองได้ แต่จะมีความแข็งแรงมากกว่าการดูดติดผิวทางกายภาพ เนื่องจากการจับตัวทางเคมีสร้างสารประกอบใหม่ที่ผิวของสารดูดติดผิว การดูดติดผิวทางเคมีจะเกิดที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีจะกระทำอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงมากกว่าอุณหภูมิต่ำ โดยจะเกิดพลังงานประมาณ 30-100 Kcal/mole

2.2.2 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of Molecular Transfer)

อัตราของการดูดติดผิวจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่ใช้ความต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุล ซึ่งขั้นตอนที่ช้าที่สุดจะจำกัดอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล โดยแบ่งกลไกที่สำคัญในการดูดติดผิวเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

2.2.2.1 การแพร่ภายนอก (External Diffusion)

การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายในสารละลายเข้าถึงพื้นผิวของสารดูดติดผิว โดยโมเลกุลแทรกตัวผ่านชั้นของเหลวบางๆ ที่ห่อหุ้มสารดูดติดผิวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดติดผิว

2.2.2.2 การแพร่ภายใน (Internal Diffusion)

กระบวนการแพร่ภายในเป็นกลไกซึ่งตัวถูกละลายจากภายนอกโพรงของสารดูดติดผิวแทรกตัวเข้าสู่บริเวณพื้นที่ผิวภายในโพรงเพื่อให้เกิดการดูดติดผิว โดยขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่ช้าที่สุด ซึ่งเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล Anderson (1971) กล่าวว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วในการดูดติดผิว คือ ขนาดเม็ดถ่าน อัตราการไหลของสารละลาย ความเข้มข้นของสารละลาย และอุณหภูมิ

2.2.2.3 ปฏิกิริยาพื้นผิว (Surface Reaction)

ปฏิกิริยาพื้นผิวเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายดูดติดที่ผิวของสารดูดติดผิว ซึ่งในกระบวนการนี้เกิดขึ้นรวดเร็วมากเมื่อเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นความต้านทานจากชั้นตอนนี้จึงสามารถละเลยได้

2.3 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

2.3.1 การเตรียม และการแอคทิเวจด์คาร์บอน

2.3.1.1 แหล่งที่มาของคาร์บอน

แหล่งที่มาของคาร์บอนมาจากหลายแหล่งแสดงดังตาราง 2.1 วัสดุเหล่านี้บางชนิดเท่านั้นที่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งวัสดุแต่ละที่มาจะมีลักษณะเฉพาะทางธรรมชาติของตัวเอง เช่น กะลามะพร้าวที่มีความหนาแน่นสูงจะผลิตคาร์บอนที่มีการกระจายของรูพรุนเล็กๆ (Porous) ได้อย่างมาก และจะมีความหนาแน่นสูงกว่าคาร์บอนที่มาจากกระดาษบด นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อคาร์บอน เช่น การเผาไหม้ ซึ่งการเผาไหม้ที่แตกต่างกันจะเป็นตัวกำหนดลักษณะของพื้นที่ผิว และความสามารถในการดูดติดนอกเหนือจากส่วนประกอบของธาตุ และโมเลกุลของวัสดุ

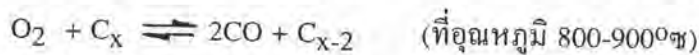
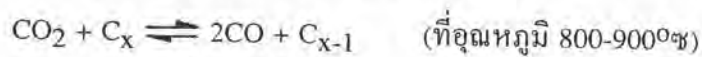
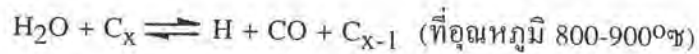
ตาราง 2.1 วัสดุในการผลิตถ่านกัมมันต์ (Faust และ Aly, 1987)

ชานอ้อย	ของเสียจากโรงเหล้า	เปลือกถั่ว
สลัดจ์ของพืชผักกาด	ปลา	หินน้ำมัน
เลือด	ฝุ่น	ลูกพีท
กระดูก	แก่นผลไม้	สลัดจ์กรดปิโตรเลียม
แป้ง	กราไฟท์	ถ่านปิโตรเลียม
ขี้เถ้า	สาหร่าย และวัชพืช	โปแคสซีมเฟอโรไซยานต
ถ่าน	เขม่า	ของเสียจากโรงงานกระดาษ
กะลามะพร้าว	ของเสียจากโรงฟอกหนัง	รำข้าว
เมล็ดกาแฟ	ลิกนิน	ยาง
ขี้เถ้าโพด	ลิกไนต์	ผงลื้อย
เมล็ดฝ้าย	กากน้ำตาล	ไม้

2.3.1.2 กระบวนการแอคทิเวจด์

กระบวนการแอ็คติเวจด์ประกอบด้วยกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization Process) เริ่มแรกในการผลิตถ่านกัมมันต์ คือ กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้เกิดถ่านจากแหล่งวัสดุ กระบวนการคาร์บอนไนเซชันเป็นการให้ความร้อนแก่วัสดุจนถึงอุณหภูมิที่สูงเพียงพอที่จะทำให้สารปนเปื้อนระเหยหายไป และเกิดคาร์บอนที่แห้ง โดยกระบวนการนี้โดยทั่วไปจะกระทำโดยปราศจากอากาศ ถ่านที่ได้นี้จะมีพื้นที่ผิวภายในน้อยมากในการดูดซับ ดังนั้นจึงต้องผ่านกระบวนการออกซิเดชันเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวต่อไป

กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation Process) ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นการทำปฏิกิริยาคู่สารออกซิไดซิง (Oxidizing Agent) เช่น ไอ้ น้ำ อากาศ และคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูง โดยเกิดปฏิกิริยาดังสมการ



สารออกซิไดซิงจะออกซิไดซ์บางส่วนของคาร์บอนอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีความพรุน และพื้นที่ผิวภายในอย่างมากมาย โดยความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับปัจจัยในกระบวนการดังนี้

1. คุณสมบัติ และความเข้มข้นของสารออกซิไดซิง
2. อุณหภูมิของกระบวนการออกซิเดชัน
3. ระยะเวลาของกระบวนการแอ็คติเวจด์
4. จำนวน และชนิดของส่วนประกอบของธาตุในถ่าน
5. จำนวน และลักษณะของสารเพิ่มคุณสมบัติอนินทรีย์ (Inorganic Additives)

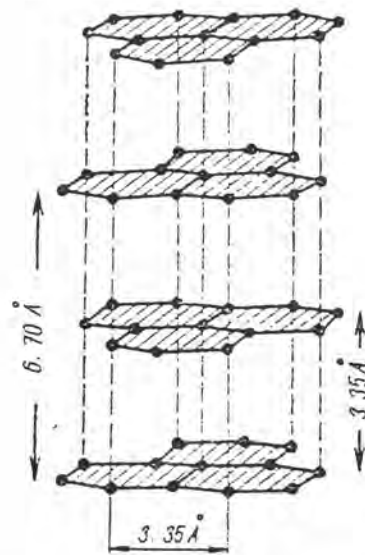
ในกระบวนการออกซิเดชัน โดยตัวอย่างความแตกต่างของความสามารถในการดูดซับของถ่านจากต้นสน (Pine Wood Char) โดยกระบวนการแอ็คติเวจด์ต่างกัน แสดงดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 ความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านจากต้นสน โดยกระบวนการแอ็คติเวจด์ ต่างกัน (Faust และ Aly, 1987)

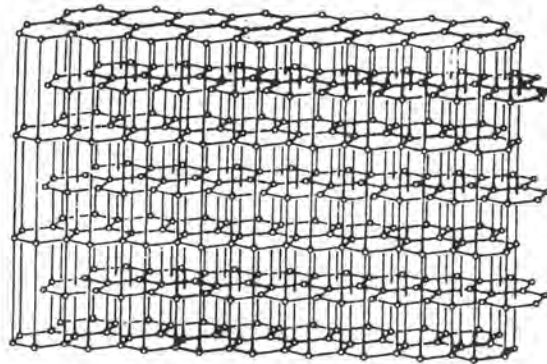
สภาพการแอ็คติเวจด์		สารถูกดูดติด (ก./ก.คาร์บอน)			
ก๊าซ	อุณหภูมิ (°ซ)	Chrysoidine R	Poncear R	Aniline Blue	Iodine
อากาศ	600	0.34	0.10	0.05	0.36
อากาศ	740	0.16	0.08	0.05	0.40
อากาศ	790	0.15	0.08	0.06	0.42
อากาศ	860	0.14	0.08	0.06	0.42
อากาศ	910	0.13	0.10	0.06	0.40
ไอน้ำ	770	0.37	0.19	0.16	0.60
ไอน้ำ	825	0.37	0.17	0.17	0.60
ไอน้ำ	880	0.36	0.16	0.21	0.62
CO ₂	880	0.32	0.12		

2.3.2 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของคาร์บอน ซึ่งมีลักษณะคล้ายกราไฟท์ (Graphite) แต่แตกต่างกันที่พื้นที่ผิวภายในที่มากมายของถ่านกัมมันต์ กราไฟท์ประกอบด้วยแผ่นชั้นที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอนเรียงตัวแบบหกเหลี่ยมด้านเท่า (Regular Hexagons) ซึ่งเหมือนกับสารประกอบอินทรีย์อะโรมาติก ระยะห่างระหว่างอะตอมของคาร์บอนในแต่ละแผ่นชั้นมีขนาด 1.42 Å โดยในแต่ละแผ่นชั้นมีลักษณะขนานกันระยะห่างระหว่างแผ่นชั้นมีขนาด 3.35 Å อิเล็กตรอน 3 ใน 4 ตัวของคาร์บอนสร้างพันธะโควาเลนต์ (Covalent Bond) กับอะตอมที่ติดกัน ขณะที่อิเล็กตรอนตัวที่ 4 เคลื่อนที่ระหว่างโครงสร้างวาเลนซ์ แสดงดังรูป 2.2 และรูป 2.3

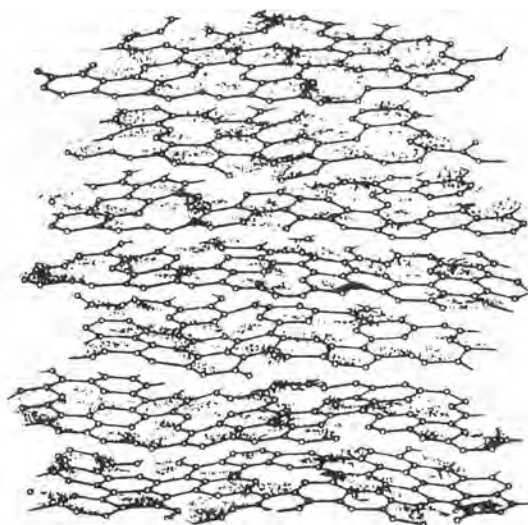


รูป 2.2 โครงสร้างของกราไฟท์ (Smisek และ Cerny, 1970)



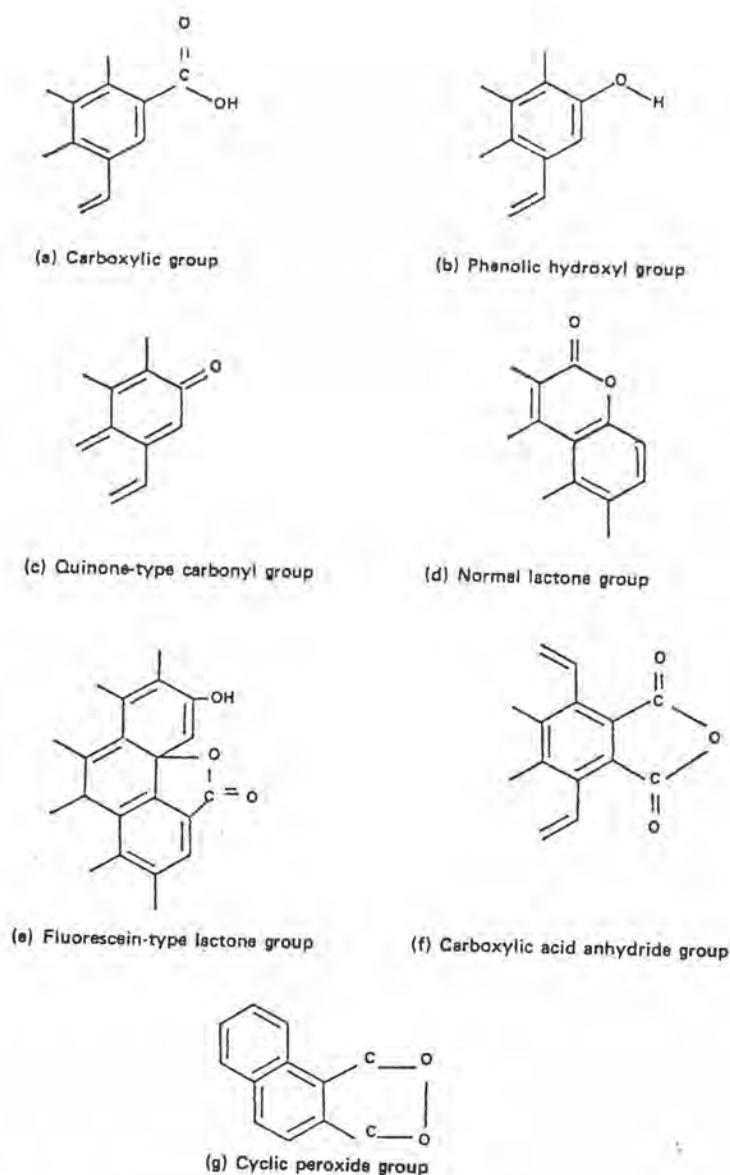
รูป 2.3 โครงสร้างของกราไฟท์ (Faust และ Aly, 1987)

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์แตกต่างจากกราไฟท์เล็กน้อยในระหว่างกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ซึ่งโครงสร้างนี้เป็นไมโครคริสตัลไลต์ (Microcrystallites) ประกอบด้วยวงหกเหลี่ยมด้านเท่าของอะตอมคาร์บอนผสมกัน เส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นชั้นคาร์บอนที่สร้างไมโครคริสตัลไลต์ที่มีขนาดประมาณ 150 \AA และระยะทางระหว่างไมโครคริสตัลไลต์ที่มีค่าอยู่ระหว่าง $20-50 \text{ \AA}$ แสดงดังรูป 2.4



รูป 2.4 ลักษณะการแบ่งชั้นของโครงสร้างถ่านกัมมันต์ (Faust และ Aly, 1987, 1987)

กระบวนการเตรียมถ่านกัมมันต์และสารปนเปื้อนทำให้เกิดช่องว่างภายในของ ไมโครคลิสตอลไลท์ โดยโครงสร้างของวงที่ขอบของแผ่นชั้นจะเปลี่ยนไปเป็นผลอันเนื่องมาจากลักษณะของวัสดุ และกระบวนการเตรียมถ่านกัมมันต์ กลุ่มของวงที่เปลี่ยนไปนั้นมีผลกระทบต่อระยะทางของแผ่นชั้นที่ติดกัน และลักษณะการดูดติดผิวของคาร์บอน ซึ่งลักษณะของแผ่นชั้นในไมโครคลิสตอลไลท์นี้ส่วนหนึ่งจะถูกกระทำโดยกลุ่มฟังก์ชันนอล (Functional Group) ซึ่งประกอบด้วยกลุ่ม Carboxyl, Phenolic Hydroxyl, Quinone Type Carbonyl, Normal Lactones, Fluorescein Type Lactones, Carboxylic Acid Anhydrides และ Cyclic Peroxide แสดงดังรูป 2.5 และเนื่องจากกระบวนการออกซิเดชันบนชั้นคาร์บอนเป็นแบบสุ่ม ดังนั้นโครงสร้างของถ่านกัมมันต์เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟไฟท์แล้วจะค่อนข้างไม่เป็นระเบียบ การจัดเรียงโดยปกติของพันธะคาร์บอนจะถูกทำให้แตกแยกระหว่างกระบวนการแอ็คติเวชัน โครงสร้างที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน และอุณหภูมิในกระบวนการแอ็คติเวชัน Anderson (1971) กล่าวว่าคาร์บอนที่รูปร่างไม่แน่นอน (Amorphous Carbon) ประกอบด้วยส่วนต่างๆ เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน และแอสารอนินทรีย์



รูป 2.5 กลุ่มฟังก์ชันนอลบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ (Cheremisinoff และ Ellerbusch, 1978)

ถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติโดยทั่วไปแสดงดังตาราง 2.3 ซึ่งเป็นคุณสมบัติบางประการที่จำเป็นสำหรับการบำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คือ พื้นที่ผิว ความพรุน และโครงสร้างทางเคมี ซึ่งถ่านที่มีวัสดุพื้นฐานเป็นคาร์บอนนี้มีพื้นที่ผิว และความพรุนสูง ซึ่งพื้นที่ผิวมีความสัมพันธ์กับขนาด และรูของ ความพรุน ซึ่งมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และการออกซิไดซ์ของวัสดุระหว่างกระบวนการแอ็คติเวชัน

ตาราง 2.3 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ใช้พิจารณาในกระบวนการบำบัด (Faust และ Aly, 1987)

ความหนาแน่น	ส่วนประกอบทางเคมี
การกระจายขนาดอนุภาค	Sulfur
ความพรุน	Sulfides
พื้นที่ผิว	Sulfates
อัตราการกรอง	Phosphates
ความเปียกน้ำ	Chlorides
ความเป็นผง	Iron
อุณหภูมิเกิดประกายไฟ	Copper
การนำไฟฟ้า	Zinc
การกักเก็บน้ำมัน	Calcium
ความชื้น	Magnesium
พีเอช	Silica
เถ้า	
ความต้านทานการสึกกร่อน	
ความแข็ง	
กรดอินทรีย์ละลายน้ำ	

2.3.2.1 พื้นที่ผิว (Surface Area)

โดยปกติถ่านกัมมันต์ทั่วไปมีพื้นที่ผิวมีค่าอยู่ระหว่าง 450-1500 m^2/g ซึ่งถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดมีพื้นที่ผิวที่แตกต่างกัน ตัวอย่างแสดงดังตาราง 2.4 อย่างไรก็ตามพื้นที่ผิวจริงที่ใช้ในการดูดซับสารประกอบอินทรีย์จากน้ำเสียขึ้นอยู่กับสารถูกดูดซับ

ตาราง 2.4 พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ (Faust และ Aly, 1987)

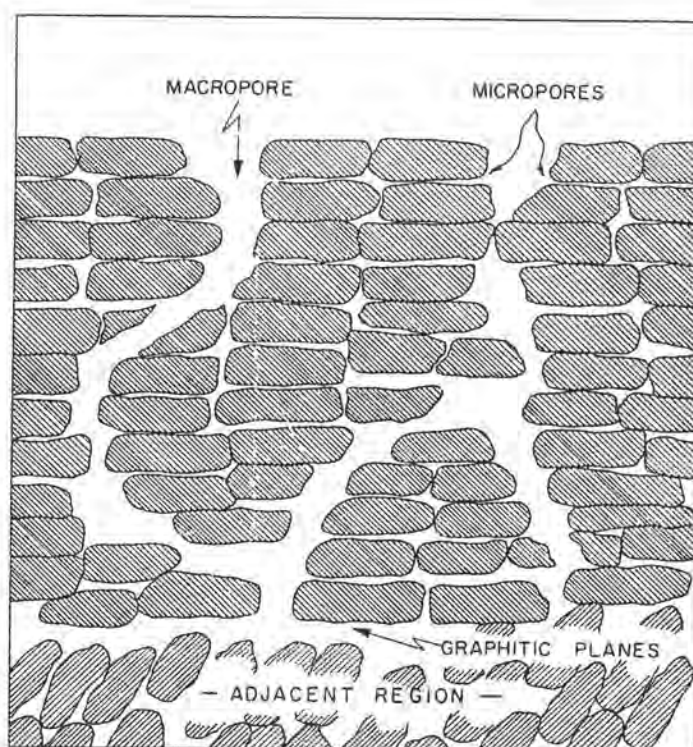
Carbon	Source	Surface Area (m ² /g)
PCC SGL	Bituminous coal	1,000-1,200
PCC BPL	Bituminous coal	1,000-1,200
PCC RB	Bituminous coal	1,200-1,400
PCC GW	Bituminous coal	800-1,000
Columbia CXA/SXA	Coconut shell	1,100-1,300
Columbia AC	Coconut shell	1,200-1,400
Columbia G	Coconut shell	1,100-1,150
Darco S 51	Lignite	500-550
Darco G 60	Lignite	750-800
Darco KB	Wood	950-1,000
Hydro Darco	Lignite	500-600
Nuchar Aqua	Pulp mill residue	550-650
Nuchar C	Pulp mill residue	1,050-1,100
Nuchar (various)	Pulp mill residue	300-1,400
Norit (various)	Wood	700-1,400

2.3.2.2 ความพรุน (Porosity)

ปริมาณความพรุนของถ่านกัมมันต์ โดยปกติทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.5-1.5 ml/g จากลักษณะขนาดโครงสร้าง ความพรุนสามารถแบ่งได้ 3 แบบ คือ

1. มาโครพอร์ (Macropores) ทั่วไปมาโครพอร์ในถ่านกัมมันต์ที่พบมีรัศมีอยู่ในช่วง 5,000-20,000 Å ปริมาณความพรุนมีค่าระหว่าง 0.2-0.8 ml/g และพื้นที่ผิวมีค่า 0.5-2 m²/g
2. ทรานซิชั่นนอลพอร์ (Transitional pores) รัศมีของทรานซิชั่นนอลพอร์มีค่าอยู่ในช่วง 40-200 Å โมเลกุลเดี่ยว และโพลีโมเลกุล (Polymolecule) สามารถถูกดูดซับได้ที่พื้นผิวบริเวณนี้ ปริมาณความพรุนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.02-0.1 ml/g พื้นที่ผิวบริเวณนี้มีค่าอยู่ในช่วง 20-70 m²/g
3. ไมโครพอร์ (Micropores) รัศมีของไมโครพอร์มีค่าน้อยกว่า 20 Å ปริมาณความพรุนมีค่าระหว่าง 0.15-0.5 ml/g และพื้นที่ผิวมีค่าอย่างน้อยที่สุด 95 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ลักษณะการจัดตัวแสดงดังรูป 2.6 มาโครพอร์เปิดโดยตรงสู่ผิวภายนอกของอนุภาคถ่านกัมมันต์ โดยที่ทรานซิชั่นนอลพอร์จะแตกสาขาออกมาจากมาโครพอร์ และในรูปแบบเดียวกัน ไมโครพอร์แตกสาขาออกจากทรานซิชั่นนอลพอร์ ไมโครพอร์มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับผิวอันเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะ และปริมาณความพรุนสูงที่สุด Anderson (1971) อธิบายว่า โครงสร้างถ่านกัมมันต์ประกอบด้วย 3 แบบ คือ มาโครพอร์ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10⁻⁴ เซนติเมตร)

ทรานซิสชั้นนอสพอร์ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10^{-6} เซนติเมตร) และไมโครพอร์ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10^{-8} เซนติเมตร) Lee, Snoeyink และ Crittenden (1981) สรุปว่า ปริมาตรโพรงในโพรงของถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีน้อยกว่า 70 \AA เหมาะสำหรับการดูดซับของกรดอิวมิก และกรดฟัลวิค ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 1,000 และในโพรงที่มีรัศมีน้อยกว่า 400 \AA เหมาะสำหรับน้ำหนักโมเลกุลเกิน 50,000



รูป 2.6 บริเวณส่วนประกอบของอนุภาคถ่านกัมมันต์ (Faust และ Aly, 1987)

2.3.2.3 โครงสร้างทางเคมี

เคมีบนผิวของถ่านกัมมันต์เป็นส่วนสำคัญในการกำหนดความสามารถในการดูดซับของสารอินทรีย์ชนิดหนึ่งโดยเฉพาะ คุณสมบัติทางเคมีของพื้นผิวขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ รูปแบบของกระบวนการแอ็คติเวชัน และสภาพที่ใช้ในการแอ็คติเวชัน พื้นที่ผิวถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่เป็นระนาบ และไม่มีขั้ว (Non-polar) และประกอบด้วยขอบที่แตกต่างกันของแผ่นคาร์บอน ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดไมโครคลิสตอลไลท์ และกลุ่มฟังก์ชันนอล โดยกระบวนการออกซิเดชันในกระบวนการผลิต

ตาราง 2.5 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ในท้องตลาด (Faust และ Aly, 1987)

Physical Properties and Specifications	Atlas Darco	Calgon Fil- trasorb 300	Calgon Fil- trasorb 400	Westvaco		Witco 517
				8 × 10	12 × 40	
Surface area, m ² /g (BET)	600-650	950-1050	1,000-1,200	850	850	1,050
Apparent density, g/cc	0.38	0.48	0.44	—	—	0.48
Density, backwashed and drained, lb/ft ³	24	26	25	30	30	30
Real density, g/cc	—	2.1	2.1	—	—	—
Particle density, g/cc	0.67	1.3-1.4	1.3-1.4	1.4	1.4	0.92
Effective size	—	0.8-0.9	0.55-0.65	0.90	0.65	—
Uniformity coefficient	—	1.9 or less	1.9 or less	1.8	1.6	—
Pore volume, cc/g	0.98	0.85	0.94	—	—	0.60
Mean particle diameter, mm	1.05	1.5-1.7	0.9-1.1	—	—	—
Sieve size (U.S. Std. Series)						
Larger than no. 8-max. %	—	8	—	2	—	—
Larger than no. 12-max. %	5	—	5	—	2	*
Smaller than no. 30-max. %	—	5	—	1	—	*
Smaller than no. 40-max. %	5	—	5	—	1	—
Iodine number	650	900	1,000	850	850	—
Abrasion no., minimum	—	70	75	70	70	85
Ash, %	—	8	8.5	7	7	0.5
Moisture as packed, max. %	—	2	2	2	2	—

ตาราง 2.6 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับฟีนอล (Faust และ Aly, 1987)

Type of Carbon	Purchased Mesh Size	Source Material	Apparent Density ^a	BET Surface Area (m ² /g)		pH ^d	Relative Hardness ^e
				Reported ^b	Measured ^c		
Darco	12 × 40	Lignite	24.5	700	612	5.7	3
Darco G-60	20 × 40	N.S.	N.S.	N.S.	568	—	2
Norit	8 × 20	N.S.	16-19	600-800	742	7.0	3
Nuchar WL-V	8 × 30	Bituminous coal	30	1,000	1,115	6.4	2
Nuchar WV-W	8 × 30	Bituminous coal	36	850	802	6.2	2
Filtrisorb 300	6 × 40	Bituminous coal	26	950-1,050	990	6.5	1
Columbia LCK	12 × 28	Coconut shell	29	N.S.	1,030	6.7	1
Barney-Cheney	12 × 30	N.S.	30	N.S.	1,100	—	2
Cal-Char	N.S. ^f	N.S.	N.S.	N.S.	1,160	—	3

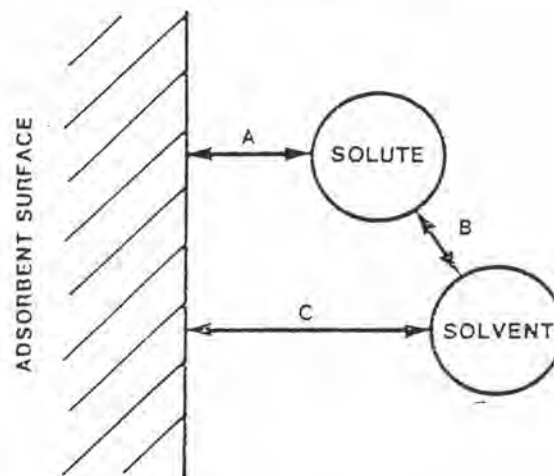
^alb/ft³.^bReported by manufacturer.^cMeasured as part of present investigation (16 × 20 mesh).^dpH of 1 g/l solution of carbon after 1 hour of agitation.^eLower values represent relative greater hardness or resistance to abrasion.^fNot specified.

ตาราง 2.7 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ 10 ชนิดที่หาได้ในท้องตลาด (Faust และ Aly, 1987)

Properties	Barney Cheney NL 1266	Barney Cheney SC 1548	Barney Cheney SK 1301	Calgon CAL	Calgon RB	ICI Darco S-51	Westvaco Nuchar WV-L	Westvaco Nuchar S-A	Westvaco WV-DC	Witco Witcarb 950
Surface area ($m^2 g^{-1}$)	750-800	900	925	1,100-1,300	1,100-1,300	650	1,000	1,400-1,800	1,500-1,700	1,000-1,100
Apparent density ($g cm^{-3}$)	0.18-0.25	0.48-0.53	0.48-0.53	0.44	0.41	0.24-0.29	0.43-0.47	0.38-0.41	0.24-0.29	0.46-0.53
Effective size (mm)	0.3-0.6	0.3-0.6	0.3-0.6	0.55-0.7			0.85-1.05	0.85-1.05	0.9-1.0	0.5-0.7
% passing No. 325					70	70				
Iodine	800	900	900	1,000	1,070	950	950	800	850	1,050
Maximum moisture %	2	2	2	2	2	8	2	10	10	1
Source	Hardwood Nut shell acid washed		Nut shell	Coal	Coal	Lignite	Bituminous coal	Bituminous coal	Wood	Petroleum
Size	30 x 50	30 x 50	30 x 50	12 x 40	Powder	Powder	8 x 30	8 x 30	10 x 25	18 x 40
Mean pore radius (Å)	100-150	20	20	50	18	30	19	23	23	20

2.4 การดูดซับผิวจากสารละลาย

ตัวถูกละลาย และตัวทำละลายมีอิทธิพลต่อการดูดซับผิวตัวถูกละลายจากสารละลาย แนวโน้มสำหรับการดูดซับตัวถูกละลายถูกกำหนด โดยความแตกต่างของศักย์ภาพของการดูดซับผิวระหว่างตัวถูกละลาย และตัวทำละลาย แรงที่กล่าวถึงแสดงดังรูป 2.7



รูป 2.7 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของตัวถูกละลาย ตัวทำละลาย และสารดูดซับผิว (Neely และ Isacoff, 1982)

จากรูป 2.7 A หมายถึง ศักยภาพการดูดติดผิวของตัวถูกละลาย B หมายถึง ศักยภาพของปฏิกิริยาระหว่างตัวถูกละลาย และตัวทำละลาย หรือความสามารถในการละลาย (Solubility) C หมายถึง ศักยภาพการดูดติดผิวของตัวทำละลาย ความสามารถของสารดูดติดผิวที่จะดูดติดผิวตัวถูกละลายจะถูกจำกัดโดยศักยภาพการดูดติดผิวของตัวถูกละลาย แต่โดยทั่วไปแล้วความสามารถในการดูดติดผิวระหว่างตัวทำละลาย กับสารดูดติดผิวจะมีค่าน้อยกว่าความสามารถในการดูดติดผิวระหว่างตัวถูกละลาย กับสารดูดติดผิว ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดติดผิวในน้ำสูง เนื่องจากพลังงานศักยภาพการดูดติดผิวที่ต้องการในการแยกตัวถูกละลายออกจากน้ำมีค่าต่ำ Tebbutt และ Bahiah (1977) กล่าวว่า ในสารละลายผสม ตัวถูกละลายที่สามารถถูกดูดติดผิวได้ดีจะถูกกำจัดก่อนโดยจะให้ความจุการดูดติดสูง แต่สารละลายที่เหลือที่มีความสามารถในการดูดติดต่ำกว่า จะมีความจุต่ำกว่า

การที่ศักยภาพการดูดติดผิวระหว่างตัวทำละลาย กับสารดูดติดผิวมีค่าต่ำกว่าศักยภาพการดูดติดผิวระหว่างตัวถูกละลาย กับสารดูดติดผิวนั้นไม่สามารถรับรองได้ว่าจะมีความสามารถในการดูดติดผิวสูง ศักยภาพการดูดติดผิวระหว่างตัวถูกละลาย และสารดูดติดผิวจะต้องสูงกว่าศักยภาพระหว่างตัวถูกละลาย กับตัวทำละลายด้วยถึงจะเกิดการดูดติดผิวที่ดี นอกจากนี้ความสามารถในการละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลายมีอิทธิพลต่อความสามารถในการดูดติดผิว โดยที่ตัวถูกละลายที่ละลายได้น้อยกว่ามีแนวโน้มว่าถูกดูดติดผิวได้เร็วกว่าตัวถูกละลายที่ละลายได้มากกว่า เนื่องจากศักยภาพการดูดติดที่สูงขึ้นระหว่างตัวถูกละลาย และตัวทำละลาย ดังนั้นธรรมชาติของการดูดติดผิว คือ สารดูดติดผิวที่มีขั้วจะดูดติดตัวถูกละลายที่มีขั้วได้ดี ในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ในทางตรงข้ามสารดูดติดผิวที่ไม่มีขั้วจะดูดติดตัวถูกละลายที่ไม่มีขั้วได้ดี ในตัวทำละลายที่มีขั้ว

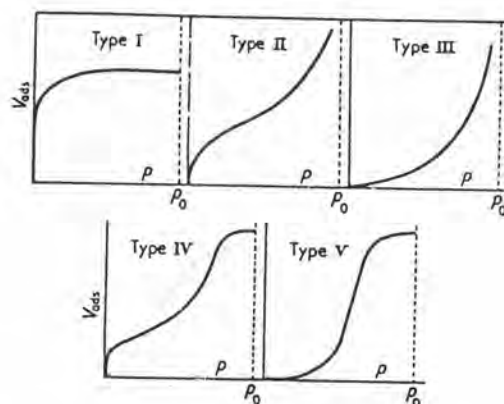
2.5 สมดุลการดูดติดผิว (Adsorption Equilibrium)

การดูดติดผิวจากสารละลายมีผลต่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนผิวของสารดูดติดผิว ในกระบวนการดูดติดผิว ตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดบนผิวของสารดูดติดผิวมีแนวโน้มที่จะหลุดออกสู่สารละลาย เมื่อปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดผิว และที่หลุดออกจากผิวมีจำนวนเท่ากัน ดังนั้นอัตราของการดูดติดผิว และการหลุดออกจากผิวเข้าสู่สภาวะคงที่ (Equilibrium State) ซึ่งเรียกว่า สมดุลการดูดติดผิว (Adsorption Equilibria) ที่จุดสมดุลจะไม่มีเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนพื้นผิวของสารดูดติดผิว สมดุลนี้เป็นลักษณะเฉพาะของระบบทั้งหมด ตัวถูกละลาย สารดูดติดผิว ตัวทำละลาย พีเอช อุณหภูมิ และอื่นๆ ปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดที่จุดสมดุล โดยทั่วไปจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลาย การแสดงปริมาณของตัวถูกละลาย

ละลายที่ถูกดูดติดผิวต่อหน่วยของสารดูดติดผิวซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่จุดสมดุลในสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ เรียกว่า ไอโซเทอมการดูดติดผิว (Adsorption Isotherm)

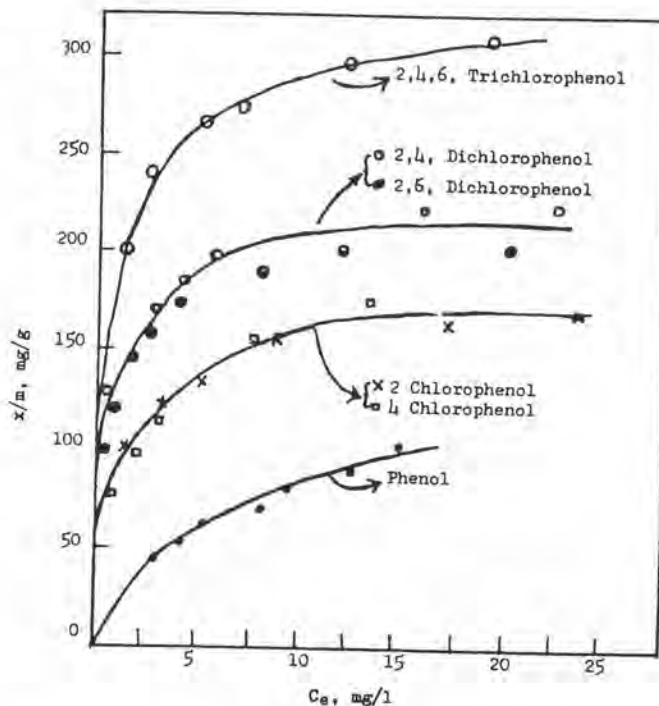
2.6 ไอโซเทอมการดูดติดผิว (Adsorption Isotherm)

รูปร่างของไอโซเทอมการดูดติดผิวแสดงถึงลักษณะเกี่ยวกับกระบวนการดูดติดผิว และลักษณะการดูดติดบนผิวของสารดูดติดผิว โดยแบบพื้นฐานของไอโซเทอมการดูดติดผิวแบ่งเป็น 5 แบบ แสดงดังรูป 2.8



รูป 2.8 ไอโซเทอมการดูดติดผิวพื้นฐาน 5 แบบ (Faust และ Aly, 1987)

ไอโซเทอมแบบที่ 1 เป็นการดูดติดผิวซึ่งมีโมเลกุลเพียงชั้นเดียวบนผิวสารดูดติดผิว แบบที่เหลือเป็นการดูดติดผิวโดยมีโมเลกุลหลายชั้นบนสารดูดติดผิว และรูป 2.9 แสดงตัวอย่างไอโซเทอมการดูดติดผิวของสารประกอบฟีนอลิกบนถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นการดูดติดผิวแบบมีโมเลกุลเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวสารดูดติดผิว



รูป 2.9 ไอโซเทอมการดูดติดผิวของสารประกอบฟีนอลิกบนถ่านกัมมันต์ (Faust และ Aly, 1987)

ไอโซเทอมการดูดติดผิวมีหลายรูปแบบเป็นผลมาจากการพัฒนาทางทฤษฎี และการสังเกตจากการทดลอง โดยมีรูปแบบดังนี้

2.6.1 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ (Langmuir Adsorption Isotherm)

สมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลองแลงมัวร์ที่เรียกว่า Ideal Localized Monolayer model คือ

1. โมเลกุลถูกดูดติดอยู่บริเวณที่แน่นอนบนพื้นผิวของสารดูดติดผิว
2. มีโมเลกุลเดียวในบริเวณดูดติดผิว
3. พื้นที่ของบริเวณดูดติดผิวมีจำนวนที่แน่นอน ซึ่งกำหนดโดยลักษณะของพื้นผิว
4. พลังงานการดูดติดผิวมีค่าเท่ากันทุกบริเวณ

การดูดติดผิวจากสารละลายโดยสารดูดติดผิว แสดงดังสมการ

$$X = (X_m b C_e) / (1 + b C_e) \dots\dots\dots(1)$$

โดยที่

X = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดต่อหน่วยน้ำหนักของคาร์บอน; mg/g หรือ moles/g

X_m = ปริมาณของตัวถูกละลายที่มากที่สุดที่ถูกดูดติดเพื่อสร้างแผ่นชั้นเดี่ยว (Monolayer) ; mg/g หรือ moles/g

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุล; mg/g หรือ moles/l

b = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดติดผิว

เมื่อ X เข้าสู่ X_m และ C_e เข้าสู่ ∞ จากสมการ (1) สามารถเขียนได้เป็น

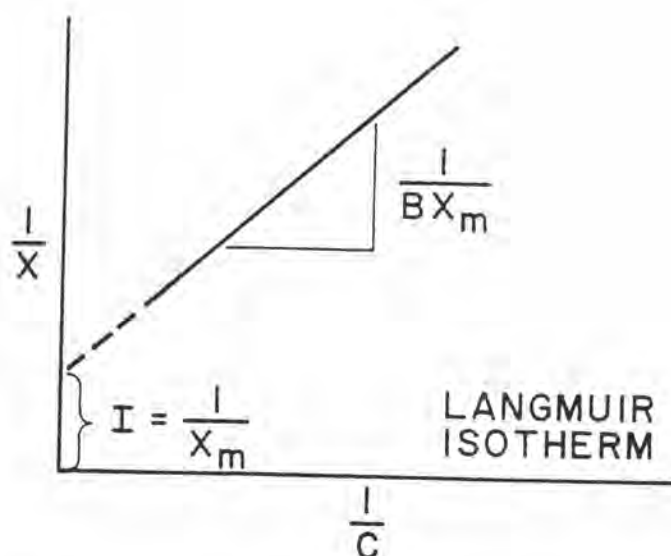
$$C_e/X = (1/bX_m) + (C_e/X_m) \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง C_e/X กับ C_e ซึ่งเป็นเส้นตรงจะมีความชัน $1/X_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/bX_m$ และเมื่อหารด้วย C_e จะได้สมการเส้นตรง

$$1/X = (1/X_m) + (1/C_e)(1/bX_m) \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/X$ กับ $1/C_e$ ซึ่งเป็นเส้นตรงจะมีความชัน $1/bX_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/X_m$

สมการ (2) และ (3) แสดงดังรูป 2.10



รูป 2.10 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ (Valencia และ Gloyna, 1972)

2.6.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบเบท (BET, Brunauer Emmerett-Teller Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมแบบเบทพัฒนามาจากไอโซเทอมแบบแลงมัวร์ โดยจากการดูดซับแบบชั้นเดียวเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayers) ซึ่งแบบจำลองแบบเบทมีพื้นฐานอยู่บนสมมติฐานที่ว่า แต่ละโมเลกุลในชั้นดูดซับผิวชั้นแรก จะเป็นบริเวณที่ซึ่งโมเลกุลชั้นที่สองดูดซับ เช่นเดียวกับชั้นต่อไป โดยแสดงดังสมการ

$$X = (X_m b C_c) / (C_s - C_c) [1 + (b-1) C_c / C_s] \dots\dots\dots(4)$$

โดยที่

X = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของคาร์บอน; mg/g หรือ moles/g

X_m = ปริมาณของตัวถูกละลายที่มากที่สุดที่ถูกดูดซับเพื่อสร้างแผ่นชั้นเดียว; mg/g หรือ moles/g

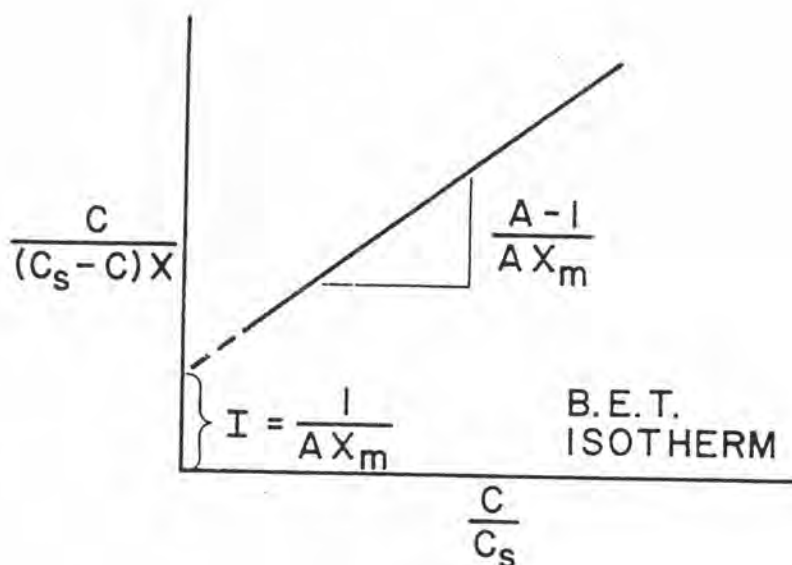
C_c = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุล; ml หรือ moles/l

C_s = ความเข้มข้นอิ่มตัวของตัวถูกละลาย; mg/l หรือ moles/l

b = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดติดผิว
สมการ (4) สามารถเปลี่ยนได้เป็น

$$C_e/X(C_s - C_e) = (1/X_m b) + [(b-1)/X_m b] (C_e/C_s) \dots\dots\dots(5)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $C_e/X(C_s - C_e)$ กับ C_e/C_s ซึ่งเป็นเส้นตรงที่มีความชัน $(b-1)/X_m b$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/X_m b$ โดยสมการ (5) แสดงดังรูป 2.11



รูป 2.11 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบเบท (Valencia และ Gloyna, 1972)

2.6.3 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช (Freundlich Adsorption Isotherm)

สมการการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชใช้อย่างแพร่หลายที่สุดในการอธิบายการดูดติดผิวในระบบของเหลว โดยวิธีทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีสมการดังนี้

$$X/m = KC_e^{1/n} \dots\dots\dots(6)$$

โดยที่

X = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดผิวต่อหน่วยน้ำหนักของคาร์บอน; mg/g หรือ moles/g

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุล; mg/l หรือ moles/l

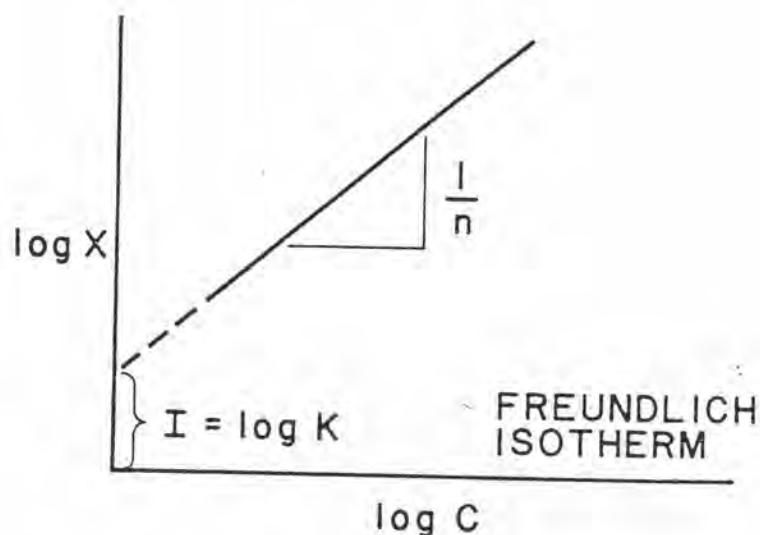
K = ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดติดผิวของคาร์บอน

$1/n$ = ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดติดผิว

สมการ (6) สามารถเขียนในรูปแบบลอการิทึม ได้เป็น

$$\log (X/m) = \log K + 1/n \log C_e \dots\dots\dots(7)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log (X/m)$ กับ $\log C_e$ จะเป็นเส้นตรง ซึ่งมีความชัน $1/n$ และ $\log K$ เป็นจุดตัดแทน y ของ $\log (X/m)$ ที่ $\log C_e = 0$ ($C_e = 1$) โดยแสดงดังรูป 2.12 Tebbutt และ Bahiah (1977) อธิบายว่าสมการฟรุนดลิชไอโซเทอมแสดงถึงความสามารถในการดูดติดผิว โดยถ้าค่า $n < 1$ แสดงถึงการดูดติดผิวที่ไม่ดี (Unfavourable Adsorption) ถ้า $n = 1$ แสดงถึงการดูดติดผิวที่เป็นสมการเส้นตรง และถ้า $n > 1$ แสดงถึงการดูดติดผิวที่ดี (Favourable Adsorption)



รูป 2.12 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช (Valencia และ Gloyna, 1972)

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดูดติดผิว

2.7.1 ขนาด และพื้นที่ผิวของสารดูดติดผิว

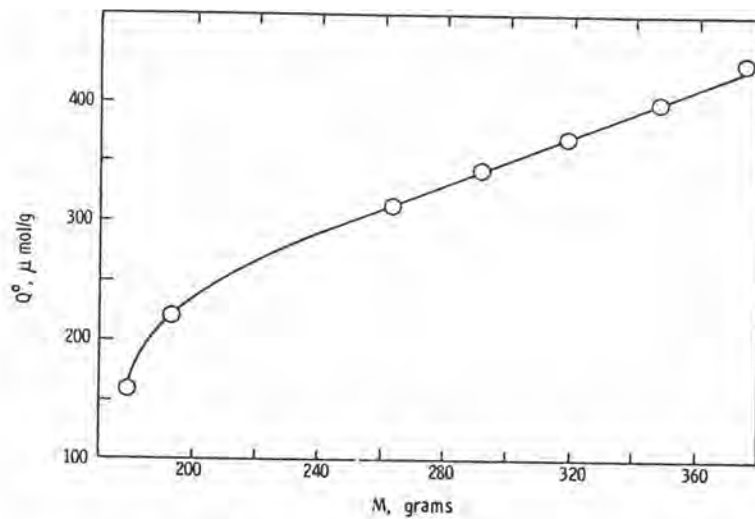
ปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมการดูดซับ

2.7.1 ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ และอัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดสารดูดซับ โดยกลไกของการดูดซับภายนอกของสารดูดซับที่ไม่มีโพรงนั้น อัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ สำหรับสารดูดซับที่มีโพรง อัตราของการเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นผิวภายในโพรงถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอกที่เรียกว่า Film Transport ดังนั้นอัตราการดูดซับจะมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ ในทางตรงกันข้าม ถ้าการเคลื่อนที่ภายในเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดซับ การดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ Mathews และ Zayas (1989) กล่าวว่า สัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายของมวลภายนอกจะประมาณได้ว่าคงที่สำหรับขนาดอนุภาคคาร์บอนที่อยู่ในช่วง 300 μm ถึง 900 μm (50/70 ขนาดตะแกรงมาตรฐาน ถึง 20/25 ขนาดตะแกรงมาตรฐาน) และจะลดลงเมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค Neufeld และ Yodnane (1978) ได้ทดลองใช้ถ่านไบทวามีนขนาดตะแกรงมาตรฐาน 20/40 และ 60/100 ในการลดทีโอซี พบว่าขนาดของถ่านกัมมันต์ไม่มีอิทธิพลสำคัญต่อการลดทีโอซี นอกจากนี้ Weber และ Thomas (1983) กล่าวว่า ปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออัตราการดูดซับของกรดิวมิกโดยถ่านกัมมันต์คือชนิดของถ่านโดยแนะนำว่าโพรงของถ่านควรมีขนาดมากกว่า 1,000 Å ขนาดร่อนผ่านตะแกรง 40/60

2.7.2 ลักษณะของสารดูดซับ

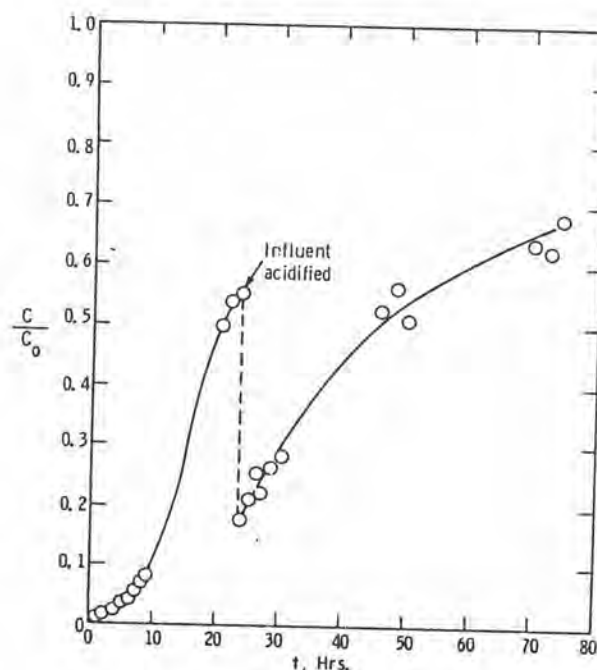
ความสามารถในการละลายน้ำของตัวดูดซับเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับ การดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวดูดซับในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากการดูดซับตัวดูดซับจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย ซึ่งในที่นี้คือน้ำ โดยตัวดูดซับที่ละลายน้ำได้ดี หรือแตกตัวเป็นไอออนได้ดีจะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำสูงจึงเป็นการยากในการดูดซับ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้น้อยจะสามารถดูดซับได้ดี นอกจากความสามารถในการละลายแล้ว ขนาดโมเลกุลของตัวดูดซับยังมีความสัมพันธ์กับการดูดซับ ซึ่งถ้าอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นตัวควบคุมกลไกแล้ว ความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผัน กับขนาดโมเลกุลของตัวดูดซับ แสดงดังรูป 2.13 อัตราการดูดซับของ Sulfonate Alkylbenzenes ซึ่งมีขนาดโมเลกุลต่างกัน โดยเมื่อน้ำหนักโมเลกุลมีขนาดมากขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลง เมื่อการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดซับ



รูป 2.13 ผลของน้ำหนักโมเลกุลในการดูดติดผิว (Weber, 1972)

2.7.3 พีเอช (pH)

พีเอชมีอิทธิพลต่อการดูดติดผิว เนื่องจากไฮโดรเจนไอออน และไฮดรอกไซด์ไอออน สามารถถูกดูดติดอย่างค่อนข้างแข็งแรง การดูดติดไอออนอื่นๆจึงมีผลกระทบมาจากพีเอชของสารละลาย นอกจากนี้พีเอชยังมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออน และการละลายน้ำของสารต่างๆอีกด้วย รูป 2.14 แสดงผลกระทบของพีเอชในการดูดติดผิวของถังดูดติดผิวแบบแท่ง โดยป้อนสารละลาย Sulfonate Alkylbenzenes ที่พีเอชปกติซึ่งเป็นกลาง เข้าสู่ระบบจนกระทั่งอัตราส่วนของน้ำออกและน้ำเข้ามีค่าเท่ากับ 0.55 ซึ่งที่จุดนี้ได้ทำการลดพีเอชน้ำเข้าจนเหลือ 2.5 โดยกรดฟอสฟอริก ผลจากการลดพีเอชทำให้เพิ่มความสามารถในการดูดติดผิว ซึ่งจากรูปความเข้มข้นของน้ำออกลดลงทันที



รูป 2.14 ผลของความเป็นกรดต่อการดูดติดผิวในถังดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ (Weber, 1972)

2.7.4 อุณหภูมิ

การดูดติดผิวโดยทั่วไปเป็นกระบวนการคายความร้อน (Exothermic) ดังนั้นความสามารถในการดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดอุณหภูมิ แต่อัตราเร็วในการดูดติดผิวจะลดลง ในทางตรงข้ามเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดติดผิวจะลดลง แต่อัตราเร็วในการดูดติดผิวจะสูงขึ้น แสดงดังสมการ



ที่ซึ่ง A คือสารถูกดูดติดผิว และ S คือพื้นผิว เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลของปฏิกิริยา นอกจากนี้อุณหภูมิจะมีผลต่อความสามารถในการดูดติดผิว โดยเปลี่ยนความสามารถในการละลาย เช่น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิซึ่งโดยปกติจะทำให้ความสามารถในการละลายสูงขึ้น มีผลทำให้ความสามารถในการดูดติดผิวลดลง

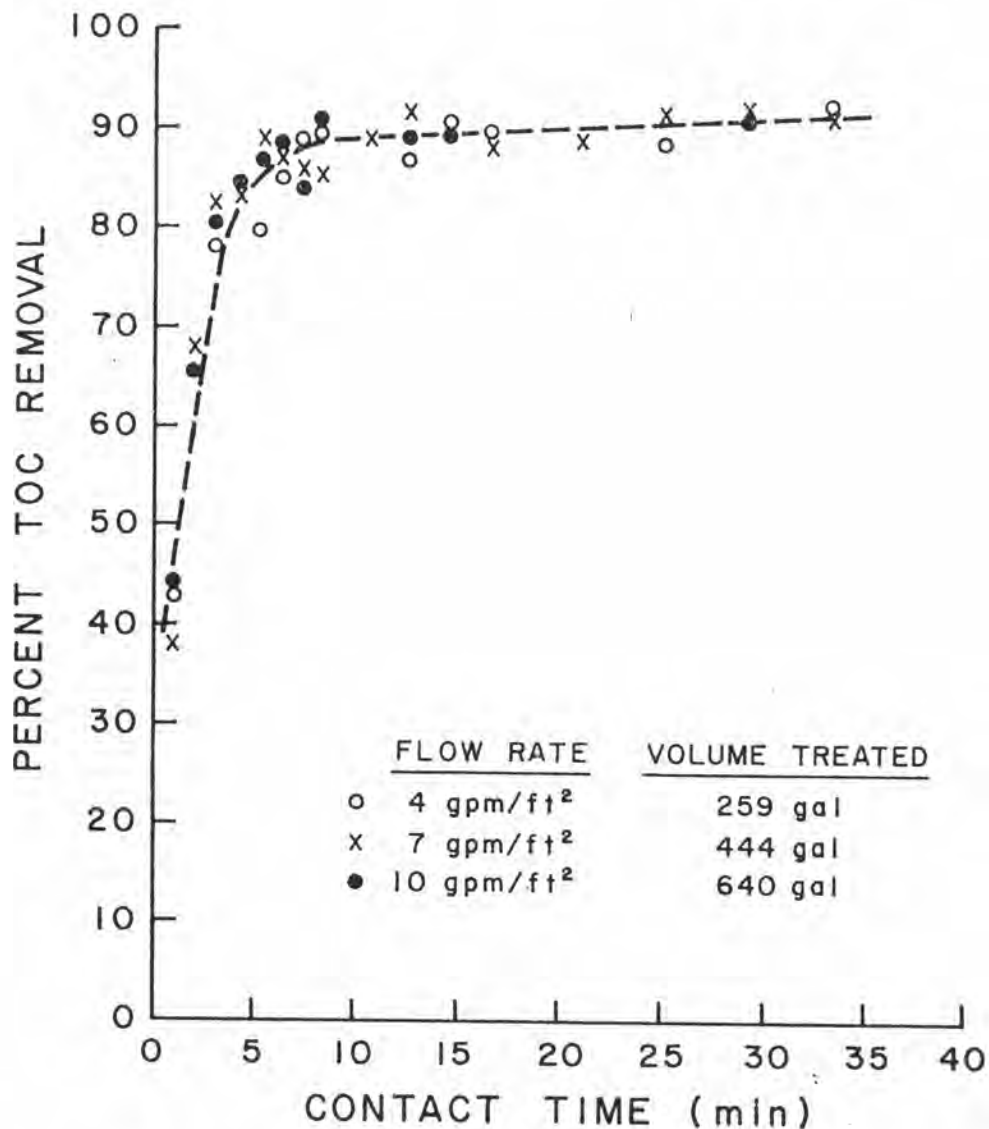
2.7.5 ความปั่นป่วน

อัตราเร็วในการดูดติดผิวขึ้นอยู่กับ การแพร่ภายนอก และการแพร่ภายใน ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดติดผิวจะมีความหนา

มาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ ดังนั้นการแพร่ภายนอกเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในตรงกันข้ามถ้าความปั่นป่วนสูงจะเกิดฟิล์มบางทำให้การแพร่ภายในเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ความปั่นป่วนในถังดูดซับคือความเร็วของน้ำที่ผ่านถึงต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด ซึ่งตามทฤษฎีถ้าเพิ่มความเร็วจะทำให้อัตราเร็วในการดูดซับสูงขึ้น เนื่องจากความปั่นป่วนสูงขึ้น

2.7.6 เวลาสัมผัส

เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ และอายุการใช้งานของถังดูดซับ Lee, Crittenden, Snoeying และ Ari (1983) กล่าวว่า เวลาสัมผัสถึงเปล่าของถังดูดซับ และความเข้มข้นของน้ำเข้าของสารชีวมีคเป็นปัจจัยสำคัญซึ่งมีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของชั้นคาร์บอนโดยถ้าเวลาสัมผัสถึงเปล่าเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของน้ำเข้าลดลงแล้ว อายุการใช้งานของชั้นคาร์บอนจะนานขึ้น เวลาสัมผัสที่ใช้ในการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสียขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์อื่น เช่น พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับ ลักษณะขนาดของโพรง ชนิด และขนาดโมเลกุลของสารถูกดูดซับในสารละลาย และชนิดของคาร์บอน Susumu (1991) กล่าวว่า เวลาสัมผัสถึงเปล่า (Empty Bed Contact Time ,EBCT) ของถ่านกัมมันต์ควรจะอยู่ในช่วง 7.5-30 นาที โดยเวลาน้อยจะใช้เมื่อกำจัดสารประกอบอินทรีย์สังเคราะห์ที่สามารถดูดซับได้ง่าย และเวลานานจะใช้ในการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายได้ดี และดูดซับได้ยาก ซึ่งเวลาสัมผัสมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดูดซับเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าเวลาสัมผัสเลยจากช่วงนี้แล้ว แทบจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับเลย แสดงดังรูป 2.15



รูป 2.15 ความสัมพันธ์ของเวลาสัมผัส กับประสิทธิภาพการดูดติดผิว (Valencia และ Gloyna, 1972)

2.8 ถังดูดติดผิวแบบแท่ง (The Adsorption Column)

คาร์บอนในถังเป็นแบบ Fixed-bed ซึ่งไม่มีการเคลื่อนที่ของชั้นคาร์บอนในถัง โดยมีของเหลวซึ่งมีสารถูกดูดติดผิวไหลผ่านชั้นของอนุภาคคาร์บอน ในการทดลองมีการป้อนอัตราการไหลอย่างต่อเนื่อง Walter (1972) กล่าวว่า ถังดูดติดผิวแบบแท่งซึ่งมีการป้อนอัตราการไหลของ

ชุดกราฟทางซ้ายในรูป 2.16 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณที่ถูกดูดติดผิวของสารดูดติดผิวในถัง (L) กับระยะทางจากทางเข้าถึงปลายของถัง (D) ชุดรูปทางขวาแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารดูดติดผิวที่น้ำออกในถัง (C) กับเวลา (t) โดยคำอธิบายสัญลักษณ์แสดงดังตาราง 2.8

เริ่มต้นภาวะบรรทุกของสารดูดติดผิว (L_0) เป็นภาวะบรรทุกที่เหลือจากการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) ของวัฏจักรกระบวนการดูดติดผิวแสดงดังรูป 2.16A ต่อมาเวลา t_0 เริ่มมีการไหลของของเหลวในถังดูดติดผิว สารดูดติดผิวเริ่มสะสมตัวอยู่บริเวณชั้นสารดูดติดผิวส่วนทางน้ำเข้า โดยอัตราการไหลที่กำหนดซึ่งใช้เวลาไหลผ่านในถังจะต้องมีระยะเวลานานกว่าเวลาสัมผัสที่ใช้ในการดูดติดผิวที่สมบูรณ์ สารดูดติดผิวจะถูกดูดติดก่อนที่ของเหลวจะไหลผ่านออกจากปลายถัง ในเวลาต่อมาแสดงดังรูป 2.16B บริเวณทางเข้าของถังสารดูดติดผิวถูกดูดติดในปริมาณสูง ในขณะที่ทางออกถูกดูดติดเพียงเล็กน้อย และไม่มีสารดูดติดเหลืออยู่ในน้ำออก สารดูดติดผิวบริเวณทางน้ำเข้าจะดูดติดสารดูดติดจนกระทั่งสารดูดติดผิวเข้าสู่จุดสมดุล ระดับภาวะบรรทุกของสารดูดติดผิวที่อิ่มตัว L_s แสดงดังรูป 2.16B ของเหลวยังคงไหลเข้าสู่ถัง และถูกดูดติดจากสารดูดติดผิวที่ยังมีความสามารถในการดูดติด ความเข้มข้นของสารดูดติดลดลงขณะที่ของเหลวไหลไปในถัง จนกระทั่งสารดูดติดผิวทั้งหมดถูกดูดติด และไม่มีการดูดติดต่อไปของเหลวจึงไหลออกจากถัง การดูดติดผิวเกิดภายในช่วงชั้นแคบๆ ในความยาวของถังซึ่งเรียกว่า เอ็มทีแซด (MTZ, Mass Transfer Zone) แสดงในรูป 2.16C โดยสารดูดติดผิวที่ถูกใช้ในถังแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ

1. บริเวณทางเข้าที่อิ่มตัว ที่จุดสมดุล
2. บริเวณทางออกที่สารดูดติดผิวยังไม่ได้ใช้
3. บริเวณระหว่างสองส่วน(MTZ) ที่การดูดติดผิวเกิดขึ้น

ในรูป 2.16C ความเข้มข้นของน้ำออกยังคงมีค่าต่ำ โดยMTZได้เคลื่อนที่ไปตามความยาวถัง เมื่อเวลาผ่านไปความยาวของบริเวณอิ่มตัวเพิ่มขึ้น และความยาวของสารดูดติดผิวที่ยังไม่ใช้ลดลง และMTZเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ถ้าความเข้มข้นน้ำเข้า (C_0) และอัตราการไหล (F) คงที่ Lukchis (1973) กล่าวว่า คลื่นของMTZเป็นรูปตัวเอสแสดงถึงความต้านทานของการเคลื่อนที่ผ่านของมวล โดยถ้าความต้านทานมากคลื่นของMTZจะยาว และถ้าความต้านทานน้อยคลื่นของMTZจะสั้นกว่า

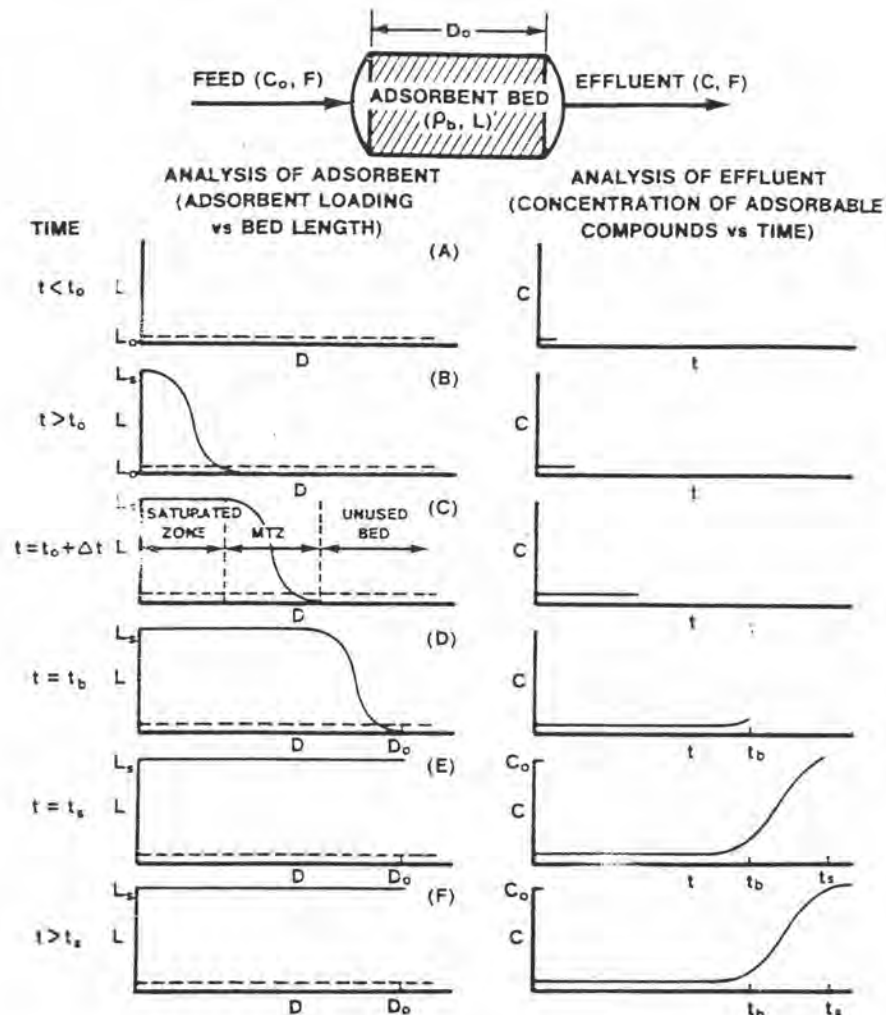
ตาราง 2.8 คำจำกัดความตัวแปรในสมการ (Neely และ Isacoff, 1982)

สัญลักษณ์	คำจำกัดความ
t_0	เวลาที่จุดเริ่มต้นของการทดลอง
t	เวลาการไหล (นาที)
t_b	เวลาเบรคทอร์จ (นาที)
t_s	เวลาที่ใช้เพื่อให้สารดูดติดผิวอิมตัว (นาที)
C	ความเข้มข้นน้ำออกของสารประกอบที่ถูกดูดติด (มก./ล.)
C_0	ความเข้มข้นน้ำเข้าของสารประกอบที่ถูกดูดติด (มก./ล.)
C_b	ความเข้มข้นน้ำออกที่จุดเบรคทอร์จ (มก./ล.)
D	ระยะทางจากทางน้ำเข้า (ซม.)
D_0	ความลึกของถัง (ซม.)
D_{MTZ}	ความลึกของบริเวณ MTZ (ซม.)
D_c	ความลึกวิกฤต
L	ภาระของสารประกอบที่ถูกดูดติดบนสารดูดติดผิว (มก./ก.)
L_0	ภาระของสารดูดติดผิวเริ่มต้น (มก./ก.)
L_s	ภาระของสารดูดติดผิวที่จุดอิมตัว (มก./ก.)
L_{MTZ}	ภาระเฉลี่ยภายใน MTZ (มก./ก.)
MTZ	บริเวณเกิดการแพร่มวล
V	ปริมาตรน้ำผ่านการบำบัด (ล.)
V_b	ปริมาตรน้ำผ่านการบำบัดจนเบรคทอร์จ (ล.)
V_s	ปริมาตรน้ำผ่านการบำบัดจนอิมตัว (ล.)
F	อัตราการไหล (ล./นาที)
A	พื้นที่หน้าตัดของถังดูดติดผิว (ซม. ²)
S	ความเร็วของการดูดติด
ρ_b	ความหนาแน่นของสารดูดติดผิว (ก./ซม. ³)

เหลวคงที่ จะมีข้อดีอย่างเด่นชัดเหนือกว่าการใช้ถังดูดซับแบบที่ละเท (Batch) เนื่องจากอัตราการดูดซับขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลาย โดยความเข้มข้นในสารละลายจะสัมพันธ์ของคาร์บอนในถังดูดซับแบบต่อเนื่อง

2.8.1 การเกิดเอ็มทีแซด (MTZ, Mass Transfer Zone)

ถ่านกัมมันต์จะถูกใส่ในถังดูดซับแบบต่อเนื่อง โดยมีของเหลวซึ่งมีสารถูกดูดซับไหลผ่านชั้นอนุภาคคาร์บอน แสดงดังรูป 2.16 ถึงในรูปแสดงในแนวนอนเพื่อง่ายในการอธิบายผล ซึ่งโดยทั่วไปถึงจะวางอยู่ในแนวตั้งเพื่อกระจายการไหล ซึ่งอาจเป็นการไหลขึ้น (Up-flow) หรือไหลลง (Down-flow)



รูป 2.16 ถังดูดซับแบบต่อเนื่อง และการดูดซับในถังดูดซับแบบต่อเนื่อง (Neely และ Isacoff, 1982)

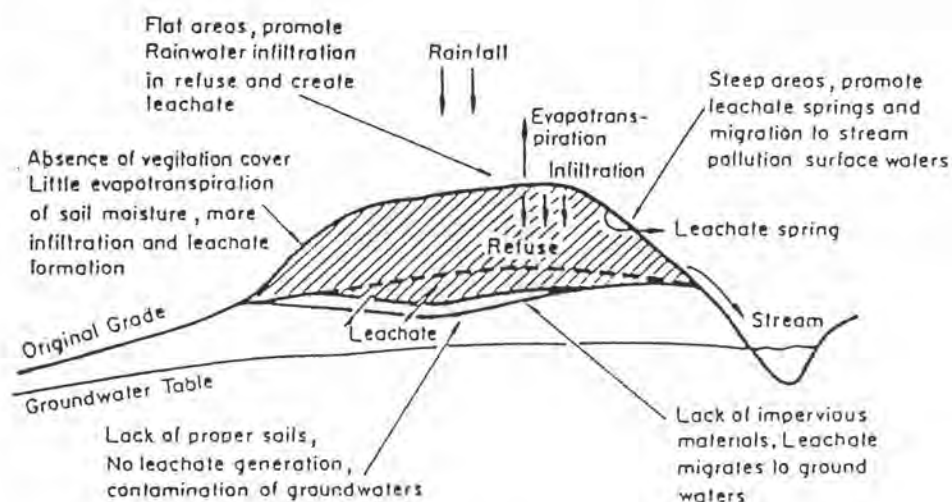
2.8.2 เส้นโค้งเบรคทรูจ (Breakthrough Curve)

ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในน้ำออกเริ่มเพิ่มขึ้นที่เวลา t_b เมื่อ MTZ เข้าสู่ทางออกปลายถัง ตามรูป 2.16D จุดเบรคทรูจโดยทั่วไปถือว่าเป็นบริเวณที่ความเข้มข้นน้ำออกเท่ากับน้ำเข้า ซึ่งในบางครั้งเบรคทรูจอาจถือว่าเป็นบริเวณที่ความเข้มข้นน้ำออกมีค่าความเข้มข้นมากที่สุดที่อนุญาต ถ้าของเหลวยังไหลขณะที่เบรคทรูจแล้ว ความเข้มข้นของน้ำออกจะยังคงเพิ่มขึ้นจนกระทั่ง MTZ เคลื่อนที่เข้าสู่ปลายสุดของถังที่เวลา t_s ดังรูป 2.16E ที่จุดนี้ความเข้มข้นน้ำออกจะเท่ากับความเข้มข้นของน้ำเข้า และจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ถ้าของเหลวยังคงไหลที่เวลามากกว่า t_s ดังรูป 2.16F

2.9 น้ำชะมูลฝอย (Leachate)

2.9.1 การเกิดน้ำชะมูลฝอย

น้ำชะมูลฝอยเกิดขึ้นเนื่องจากการซึมผ่านของน้ำในชั้นมูลฝอย ในสถานที่ฝังกลบมูลฝอยโดยจะชะสารละลาย และสารแขวนลอยต่างๆออกมากับน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปถ้ามีน้ำไหลผ่านมากก็จะชะสารปนเปื้อนเพิ่มมากขึ้น แต่โดยส่วนใหญ่ น้ำชะมูลฝอยเกิดจากน้ำที่ผ่านเข้าสถานที่ฝังกลบจากแหล่งภายนอก เช่น ระบบระบายน้ำ น้ำฝน น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และน้ำที่เกิดจากการย่อยสลายของมูลฝอย



รูป 2.17 การเกิดน้ำชะมูลฝอยของสถานที่ฝังกลบ (Ou, 1989)

2.9.2 ลักษณะน้ำชะมูลฝอย

ส่วนประกอบของน้ำชะมูลฝอยโดยส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับอายุของสถานที่ฝังกลบ ซึ่งแสดงถึงความคงตัวของน้ำชะมูลฝอย Chain และ DeWalle (1977) กล่าวว่า สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ในน้ำชะมูลฝอยประกอบด้วยกรดไขมันระเหยอิสระ (Free volatile fatty acids) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 500 MW ส่วนที่มากลำดับต่อมาคือ สารที่มีลักษณะคล้ายฟิวลิกซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของ Carboxyl และ Aromatic Hydroxyl เป็นจำนวนมาก สารอินทรีย์ที่เหลือจำนวนเล็กน้อยประกอบด้วยสารเชิงซ้อนอิวมิกที่มีลักษณะเหมือนคาร์โบไฮเดรตโดยมีมวลโมเลกุลสูง ซึ่งถูกจำแนกโดยกรดอะมิโน ปัจจัยอื่นที่กำหนดลักษณะน้ำชะมูลฝอย คือ ลักษณะของมูลฝอย เช่น ขนาด และส่วนประกอบของมูลฝอย ความหนาแน่น ความชื้น อัตราการซึมผ่านของน้ำฝน และอุณหภูมิ รวมถึงลักษณะทางภูมิศาสตร์ของสถานที่ฝังกลบ และการเกิดปฏิกิริยาของน้ำชะมูลฝอยกับสิ่งแวดล้อม Johansen และ Carlson (1976) กล่าวว่า ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อส่วนประกอบ และปริมาณของน้ำชะมูลฝอย คือ ส่วนประกอบของมูลฝอย กระบวนการในการจัดการฝังกลบ ภูมิอากาศ สภาพทางอุทกศาสตร์ของสถานที่ฝังกลบ และสภาพของสถานที่ฝังกลบ เช่น กระบวนการทางชีวภาพ และเคมี ความชื้น อุณหภูมิ พีเอช และอายุของสถานที่ฝังกลบ นอกจากนี้ Robinson และ Maris (1982) กล่าวว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความคงตัว และปริมาณของน้ำชะมูลฝอย คือ ฤดูกาลที่หลากหลาย ส่วนประกอบของมูลฝอย จุลชีพในสถานที่ฝังกลบ ความลึกของชั้นฝังกลบ การอัดตัวของมูลฝอย และการใช้รวมถึงส่วนประกอบที่ปกคลุมสถานที่ฝังกลบ

ตาราง 2.9 ลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบใหม่ และเก่า (Tchobanoglous, Theisen และ Vigil, 1993)

Constituent	Value, mg/L ^b		
	New landfill (less than 2 years)		Mature landfill (greater than 10 years)
	Range ^c	Typical ^d	
BOD ₅ (5-day biochemical oxygen demand)	2,000–30,000	10,000	100–200
TOC (total organic carbon)	1,500–20,000	6,000	80–160
COD (chemical oxygen demand)	3,000–60,000	18,000	100–500
Total suspended solids	200–2,000	500	100–400
Organic nitrogen	10–800	200	80–120
Ammonia nitrogen	10–800	200	20–40
Nitrate	5–40	25	5–10
Total phosphorus	5–100	30	5–10
Ortho phosphorus	4–80	20	4–8
Alkalinity as CaCO ₃	1,000–10,000	3,000	200–1,000
pH	4.5–7.5	6	6.6–7.5
Total hardness as CaCO ₃	300–10,000	3,500	200–500
Calcium	200–3,000	1,000	100–400
Magnesium	50–1,500	250	50–200
Potassium	200–1,000	300	50–400
Sodium	200–2,500	500	100–200
Chloride	200–3,000	500	100–400
Sulfate	50–1,000	300	20–50
Total iron	50–1,200	60	20–200

^a Developed from Refs. 2, 8, 9, 11, 39, 46.

^b Except pH, which has no units.

^c Representative range of values. Higher maximum values have been reported in the literature for some of the constituents.

^d Typical values for new landfills will vary with the metabolic state of the landfill.

ตาราง 2.10 ลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากประเทศต่างๆ (Lema, Mendez และ Blazquez, 1988)

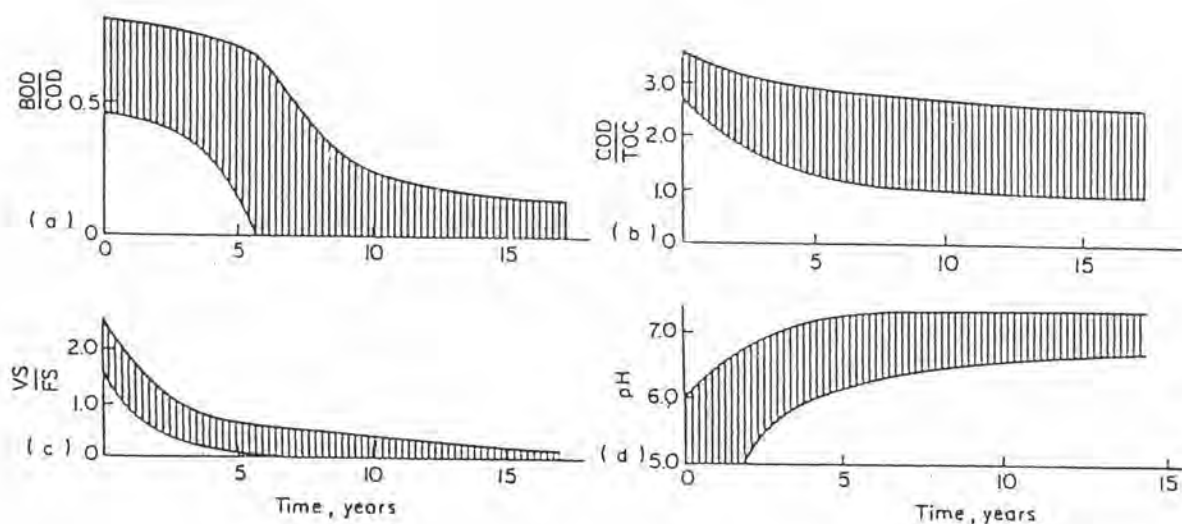
From:	Age ^a	COD	BOD ₅	pH	TS	SS	VSS	TKN	N-NH ₃	P-PO ₄ ³⁻ (× 10 ³)
Lysimeter	Y	35.0	15.0	5.0	21.5	-	-	0.85	0.5	80.0
The Netherlands	Y	31.6	-	5.7	-	-	-	1.0	-	-
The Netherlands	Y	25.0	-	5.7	-	-	-	0.7	-	-
United Kingdom	Y	23.8	11.9	6.2	-	0.54	0.22	-	0.79	0.73
France	Y	48.0	17.0	6.0	-	0.20	-	1.9	1.6	1.2
Canada	Y	15.8	9.7	5.8	12.7	-	-	-	0.04	-
Spain	Y	20.1/50.6	7.5/11.5	5.9/6.3	8.1/33.5	-	-	-	1.0/1.65	-
Spain	Y	10.0	-	8.0	-	1.2	0.96	-	0.75	<1
Lysimeter	MA	18.0	13.0	5.8	9.0	-	-	0.33	0.19	17.0
Canada	MA	3.8	1.1	6.4	5.3	2.39	1.24	-	0.03	-
Canada	MA	1.2	0.37	7.9	-	-	-	-	0.07	-
Spain	MA	22.0	-	8.0	-	0.4/5	0.2/2	-	3.0	<1
United Kingdom	O	0.67	0.07	7.5	-	-	-	-	0.26	0.54
United Kingdom	O	1.2	0.26	7.5	-	0.10	0.06	-	0.37	4.2
Canada	O	1.9	0.9	6.6	3.1	2.98	-	-	0.01	-
France	O	1.4	0.07	8.3	-	0.17	-	0.59	0.5	-
Spain	O	1.1/7.1	0.08/0.5	6.9/8.3	4.3/9.8	-	-	-	0.9/2.1	-
Spain	O	1.2	-	7.6	-	0.35	0.28	-	0.27	<0.5
Lysimeter	-	40.0	15.4	5.3	-	-	-	0.82	0.64	14.8
Lysimeter	-	13.0	8.1	5.4	6.9	0.46	0.28	0.17	0.13	16.0
Brazil	-	18.1	11.0	6.6	14.4	10.8	-	0.71	0.55	22.7
Brazil	-	7.2	3.7	7.2	16.6	15.0	-	1.0	0.88	-
U.S.A. (Range)	-	0.04/90	0.08/33	3.7/8.5	0.6	0.01/0.7	-	-	0.0/1.0	6.5/85
U.S.A./Italy (Range)	-	3.0/45	2.0/30	5.3/8.5	0.2/1.0	-	-	-	0.01/0.8	5.3/50

^a Y = young; MA = medium age; O = old.

All values except pH are in g L⁻¹.

โดยทั่วไปความเข้มข้นของสารในน้ำชะมูลฝอยมีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างมากในแต่ละวัน ดังนั้นจะง่ายขึ้นโดยใช้อัตราส่วนของพารามิเตอร์ในการแสดงค่าที่ถูกต้องมากขึ้น นอกจากนี้อัตราส่วนทางเคมี เช่น COD/TOC, BOD/TOC, VS/FS และ SO₄/Cl แสดงถึงส่วนประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอย และแสดงถึงความสัมพันธ์กับอายุของสถานที่ฝังกลบ โดยอัตราส่วน COD/TOC มีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่ออายุของสถานที่ฝังกลบเพิ่มขึ้น และอัตราส่วนน้ำแปรผันจาก 3.3 สำหรับสถานที่ฝังกลบใหม่ถึง 1.16 สำหรับสถานที่ฝังกลบเก่า ค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ของ COD/TOC คือ 4 ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์มากมาย และค่าที่ต่ำสุดคือ 1.3 สำหรับสารอินทรีย์กลุ่มคาร์บอกซิล การลดลงของอัตราส่วนในน้ำชะมูลฝอยแสดงถึงการออกซิไดซ์มากขึ้นของอินทรีย์คาร์บอน ซึ่งเหลือน้อยลงในฐานะแหล่งพลังงานของการเติบโตของจุลชีพ สารอินทรีย์เหล่านี้โดยทั่วไปจะเป็นผลผลิตที่ถูกย่อยสลายจากขบวนการชีวภาพ และเพิ่มขึ้นตามอายุของสถานที่ฝังกลบที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ไม่เหมาะในการบำบัดด้วยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ Johansen และ Carlson (1976) กล่าวว่า อัตราส่วนของ BOD/COD ของน้ำชะมูลฝอยที่มีค่า

สูงเป็นผลที่สำคัญมาจากมีสารอินทรีย์สูง ซึ่งแสดงถึงความเหมาะสมในการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพ



รูป 2.18 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของ BOD/COD, COD/TOC, VS/FS และ pH ของน้ำชะมูลฝอยกับอายุของสถานที่ฝังกลบ (Ou, 1989)

การลดลงของ DOC/TOC มีผลจากการค่อยๆ ลดลงของส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่วัดในรูป BOD ซึ่งเหมือนกับอัตราส่วน COD/TOC, BOD/COD ซึ่งลดลงเมื่ออายุของสถานที่ฝังกลบเพิ่มขึ้น อัตราส่วน BOD/COD ลดลงจาก 0.47-0.07 ภายในช่วงเวลา 23 ปี เนื่องจากธรรมชาติของการย่อยสลายทางชีวภาพ สารประกอบอินทรีย์ลดลงเร็วกว่าสารอนินทรีย์เมื่ออายุของสถานที่ฝังกลบเพิ่มขึ้น การลดลงของสารอินทรีย์เนื่องมาจากการหมักที่ทำให้เกิดมีเทน โดยจุลชีพที่ไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนสารอนินทรีย์ลดลงเนื่องจากการชะล้างโดยน้ำฝนที่ซึมผ่าน อัตราส่วนของแข็งระเหยทั้งหมดต่อของแข็งคงตัวทั้งหมด (VS/FS) ลดลงตามอายุของสถานที่ฝังกลบ โดยอัตราส่วนที่ลดลงจาก 2 สำหรับสถานที่ฝังกลบใหม่ถึง 0.2-0.25 สำหรับสถานที่ฝังกลบเก่า นอกจากนี้เมื่ออายุของสถานที่ฝังกลบเพิ่มขึ้น pH จะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าประมาณ 6.5-7 เนื่องจากการลดลงของความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยอิสระที่แตกตัวได้บางส่วน

2.9.3 วิธีการบำบัดน้ำชะมูลฝอย

วิธีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของน้ำชะมูลฝอย และอายุของสถานที่ฝังกลบ ซึ่งจะใช้เป็นข้อกำหนดพื้นฐานในการเลือกวิธีบำบัดที่เหมาะสมในการกำจัดสารปนเปื้อนอินทรีย์ โดยวิธีที่ใช้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยแสดงดังตาราง 2.11 Keenan, Steiner และ

Fungaroli (1984) กล่าวว่า น้ำชะมูลฝอยเป็นน้ำเสียที่มีความคงตัวสูง ลักษณะของฟิโอส บีโอดี ซีโอดี และโลหะหนัก นอกจากนี้ น้ำชะมูลฝอยยังมีความแตกต่างในแต่ละสถานที่ฝังกลบ อายุของสถานที่ฝังกลบ และพื้นที่ในการฝังกลบ ดังนั้นประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยวิธีทางชีวภาพ หรือวิธีทางกายภาพเคมี โดยอย่างใดอย่างหนึ่งจะไม่ประสบความสำเร็จ โดยเหตุ 2 ประการที่ทำให้การบำบัดโดยวิธีใดวิธีหนึ่งนั้นมีประสิทธิภาพต่ำ คือ น้ำชะมูลฝอยมีสารอินทรีย์มวลโมเลกุลสูงอยู่ปริมาณมากซึ่งยากต่อการกำจัด และมีโลหะหนักซึ่งเป็นสาเหตุในการยับยั้งกระบวนการทางชีวภาพ และ Diamadopoulos (1994) กล่าวว่า วิธีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีศักยภาพ คือ วิธีทางชีวภาพ และเคมีกายภาพ ถ้าน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบที่มีอายุน้อย วิธีบำบัดโดยจุลชีพที่ใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจน สามารถบำบัดได้ดีเนื่องจากกำจัดสารอินทรีย์ย่อยสลายง่ายได้ดี ซึ่งวิธีทางเคมีกายภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยชนิดนี้จะไม่เหมาะสมเนื่องจากมีสารอินทรีย์มวลโมเลกุลน้อยอยู่มาก ถ้าน้ำชะมูลฝอยมีลักษณะอายุมาก หรือน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้ว ดังนั้นวิธีบำบัดทางเคมีกายภาพจึงควรถูกใช้ก่อนที่น้ำที่ผ่านการบำบัดจะถูกทิ้ง

ตาราง 2.11 กระบวนการทางชีวภาพ เคมี และกายภาพที่ใช้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย
(Tchobanoglous, Theisen และ Vigil, 1993)

Treatment process	Application	Comments
Biological processes		
Activated sludge	Removal of organics	Defoaming additives may be necessary; separate clarifier needed
Sequencing batch reactors	Removal of organics	Similar to activated sludge, but no separate clarifier needed; only applicable to relatively low flow rates
Aerated stabilization basins	Removal of organics	Requires large land area
Fixed film processes (trickling filters, rotating biological contactors)	Removal of organics	Commonly used on industrial effluents similar to leachates, but untested on actual landfill leachates
Anaerobic lagoons and contactors	Removal of organics	Lower power requirements and sludge production than aerobic systems; requires heating; greater potential for process instability; slower than aerobic systems
Nitrification/denitrification	Removal of nitrogen	Nitrification/denitrification can be accomplished simultaneously with the removal of organics
Chemical processes		
Neutralization	pH control	Of limited applicability to most leachates
Precipitation	Removal of metals and some anions	Produces a sludge, possibly requiring disposal as a hazardous waste
Oxidation	Removal of organics; detoxification of some inorganic species	Works best on dilute waste streams; use of chlorine can result in formation of chlorinated hydrocarbons
Wet air oxidation	Removal of organics	Costly; works well on refractory organics
Physical operations		
Sedimentation/floatation	Removal of suspended matter	Of limited applicability alone; may be used in conjunction with other treatment processes
Filtration	Removal of suspended matter	Useful only as a polishing step
Air stripping	Removal of ammonia or volatile organics	May require air pollution control equipment
Steam stripping	Removal of volatile organics	High energy costs; condensate steam requires further treatment
Adsorption	Removal of organics	Proven technology; variable costs depending on leachate
Ion exchange	Removal of dissolved inorganics	Useful only as a polishing step
Ultrafiltration	Removal of bacteria and high molecular weight organics	Subject to fouling; of limited applicability to leachate
Reverse osmosis	Dilute solutions of inorganics	Costly; extensive pretreatment necessary
Evaporation	Where leachate discharge is not permissible	Resulting sludge may be hazardous; can be costly except in arid regions

ตาราง 2.12 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยวิธีทางเคมีกายภาพ และ
ตาราง 2.13 แสดงวิธีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย โดยเลือกวิธีที่เหมาะสมจากลักษณะของน้ำชะมูล
ฝอย และอายุของสถานที่ฝังกลบ

ตาราง 2.12 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยวิธีทางเคมีกายภาพ (Chian และ DeWalle, 1976)

Treatment process	Author	Initial COD	BOD/COD	COD/TOC	Treatment system	% COD removal	Dosage
Chemical Precipitation	Cook and Foree	14,900	0.45	3.45	Lime	13	2,760 mg/l Ca(OH)_2
	Ho, et al.	9,100	0.75	-	Ferric chloride	16.3	1,000 mg/l
		9,100	0.75	-	Alum	5.3	1,000 mg/l
		10,800	0.74	-	Lime	3.5	1,840 mg/l
		558	0.27	-	Lime treatment of anaerobic digester effluent	7.7	2,700 mg/l
		366	0.11	-	Lime treatment of anaerobic digester effluent polished by aerated lagoon	29	1,400 mg/l
	Karr	4,800	0.66	2.73	Alum and lime	40	2,250 mg/l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ and 800 mg/l CaO
					Ferrosulfate	13	2,500 mg/l $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
	Roy Weston Inc.	139	0.04	2.1	Lime	0	1,000 mg/l
	Rogers	3,400	0.81	-	Lime	0	1,000 mg/l
	Simensen and Odegaard	1,240	0.66	2.78	Lime and Aeration	8	210 ml saturated lime/ l leachate
					Iron and Aeration	0	200 mg/l FeCl_3
					Alum and Aeration	11	180 mg/l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
	Thornton and Blanc	5,033	0.60	-	Lime	24	1350 mg/l
					Lime	26	1,200 mg/l
Van Fleet, et al.	2,000	0.36	-	Alum	31	2,700 mg/l	
This study	2,820	0.65	2.89	Lime	26	450 mg/l	
Activated Carbon and Ion exchange adsorption	Cook and Foree	330	0.07	2.57	Activated carbon	70	-
					batch treatment of aerated lagoon effluent	-	-
		3,290	0.45	3.45	Activated carbon column treatment of lime pretreated leachate	81	15 min HRT, after initial volume turnovers
	Ho, et al.	4,920	0.75	-	Activated carbon batch	34	16,000 mg/l
					Activated carbon column	59	45 min HRT after 3 volume turnovers
	Karr	5,500	0.66	2.73	Activated carbon batch	60	160,000 mg/l
	Pohland and Kang	184	0.18	1.5	Carbon batch treatment of activated sludge effluent	91	10,000 mg/l
					Ion exchange treatment of activated sludge effluent	58	5,000 mg/l cation and Anionic resin mixture
	Roy Weston Inc.	127	0.04	2.1	Activated carbon batch	85	10,000 mg/l
Van Fleet, et al.	2,000	0.36	-	Activated carbon column treatment of leachate	71	-	

ตาราง 2.12 (ต่อ) ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยวิธีทางเคมีกายภาพ (Chian และ DeWalle, 1976)

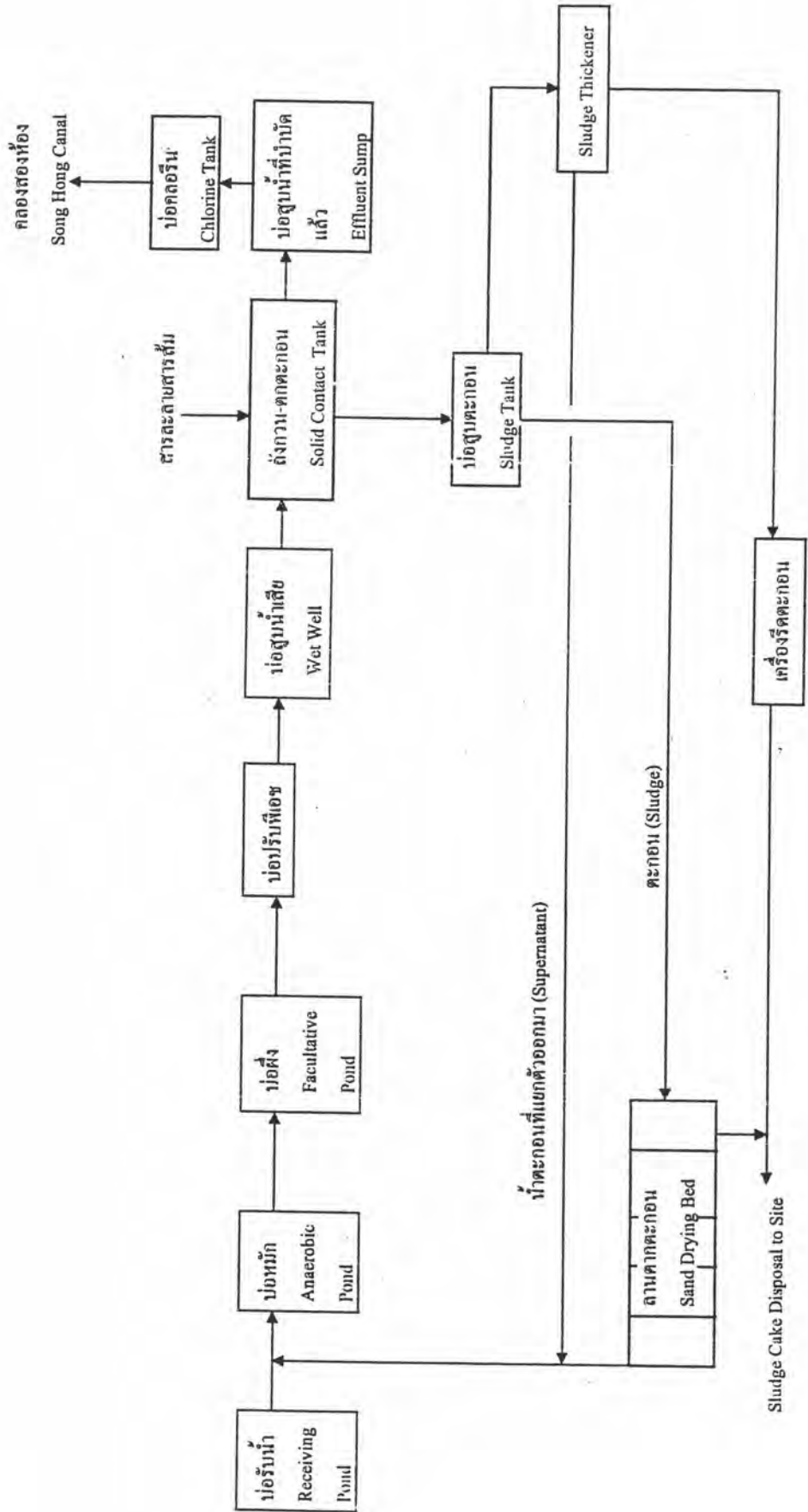
Treatment process	Author	Initial COD	BOD/ COD	COD/ TOC	Treatment system	% COD removal	Dosage
Chemical Oxidation	This study	632	0.65	2.89	Activated carbon column treatment of alum pretreated leachate	94	
					Activated carbon column treatment of leachate	70	decreased to 13 after 140 Bv
		546	<0.1	2.55	Activated carbon column treatment of effluent of aerated lagoon	70	
		527	<0.1	2.46	Ion exchange column treatment of effluent of aerated lagoon	50	
		932	-	2.9	Activated carbon column treatment of effluent of anaerobic filter	50	
		522	<0.1	2.7	Activated carbon column treatment of aerated effluent of anaerobic filter	70	
	Cook and Foree Ho, et al.	330	0.07	2.57	Chlorination	33	65 ml bleach/l sample
	Karr Roy Weston Inc. This study	1,500	0.75	-	Chlorination with calcium hypochlorite	8	8,000 mg/l Ca(ClO) ₂ after 2 hr
		7,162	0.75	-	Ozonation	37	4 hr 7,700 mgO ₃ /l.hr
		4,800	0.66	2.73	Chlorination	22	2,000 mg/l Cl ₂
139		0.04	2.1	Chlorination with calcium hypochlorite	0	1,000 mg/l Ca(ClO) ₂	
Reverse Osmosis	This study	139	0.04	2.1	Ozonation	22	4 hr 34 mgO ₃ /l.hr
		1,250	-	2.9	Ozonation of anaerobic filter effluent	37	3 hr 600 mgO ₃ /l.hr
	627	-	2.5	Ozonation of aerated lagoon effluent	48	3 hr 400 mgO ₃ /l.hr	
	Roy Weston Inc.	265	-	2.1	Reverse osmosis	80	80% Permeate yield
	This study	53,330	0.65	2.89	Reverse osmosis of leachate at pH 5.5 cellulose acetate membrane	56	50% Permeate yield
		53,330	0.65	2.89	Reverse osmosis of leachate at pH 8.0 cellulose acetate membrane	89	50% Permeate yield
		900	-	2.9	Reverse osmosis of anaerobic filter effluent DuPont B-9	98	77% Permeate yield
		536	-	2.5	Reverse osmosis of aerated lagoon effluent cellulose acetate membrane		50% Permeate yield

ตาราง 2.13 วิธีที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย (Chian และ DeWalle, 1976)

Character of Leachate				Effectiveness of Treatment Processes						
COD/TOC (1)	BOD/COD (2)	Age of fill (3)	COD, in milligrams per liter (4)	Biological treatment (5)	Chemical precipitation (mass lime dose) (6)	Chemical oxidation, Ca (ClO) ₂ (7)	O ₃ (8)	Reverse osmosis (9)	Activated carbon (10)	Ion exchange resins (11)
>2.8	>0.5	Young (<5 yr)	>10,000	Good	Poor	Poor	Poor	Fair	Poor	Poor
2.0-2.8	0.1-0.5	Medium (5 yr-10 yr)	500-10,000	Fair	Fair	Fair	Fair	Good	Fair	Fair
<2.0	<0.1	Old (>10 yr)	<500	Poor	Poor	Fair	Fair	Good	Good	Fair

2.9.4 โรงงานบำบัดน้ำเสียอ่อนนุช

น้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลองน้ำมาจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอยอ่อนนุช ซึ่งเป็นแบบเปิดโล่ง (Open-dump) ตั้งอยู่ในซอยอ่อนนุช 67 กรุงเทพมหานคร โดยมีพื้นที่ประมาณ 360 ไร่ และเริ่มเปิดใช้ปี พ.ศ. 2517 ซึ่งในปัจจุบันได้ทำการปิดรับมูลฝอยที่จะทำการฝังกลบแล้ว น้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจะทำการบำบัดโดยโรงงานบำบัดน้ำเสียซึ่งตั้งอยู่ภายใน ก่อสร้างเมื่อปีพ.ศ. 2520 เป็นระบบบำบัดทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีความสามารถบำบัดได้ 1,600 ลูกบาศก์เมตร/วัน ซึ่งไม่ได้ผลดีนัก ต่อมาในปีพ.ศ. 2526 จึงทำการปรับปรุงเพิ่มระบบบำบัดทางเคมี ซึ่งสามารถบำบัดได้ 1,400 ลูกบาศก์เมตร/วัน แล้วจึงปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดลงสู่คลองสองห้อง ขบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยแสดงดังรูป 2.19 และลักษณะน้ำชะมูลฝอยแสดงดังตาราง 2.14-2.17 และรูป 2.23



รูป 2.19 กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานกำจัดน้ำเสียอ่อนนุช

ตาราง 2.14 ลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอยอ่อนนุช หลังจากผ่านบ่อหมัก
ไร้อากาศ ปีพ.ศ. 2532 (Ou, 1989)

Components	Sampling Number	Mean Value (mg/l)	Standard Deviation (%)	Coeff. of Variation (%)	Range Value (mg/l)
TOC	13	1618	208.2	12.9	1310-1950
COD	13	3086	449	14.5	2382-4109
BOD5	5	401	55.3	13.8	286-553
NH ₃	13	987	205.9	20.9	608-1509
Total - N	5	1178	244.3	20.7	840-1962
Nitrate	5	0	-	-	-
Nitrite-N	-	-	-	-	-
T - P	13	8.63	2.3	26.7	6.39-15.23
Color	13	9750	3975	40.8	3250-15000
Alkalinity as CaCO ₃	13	4105	679.6	16.6	3050-5800
pH	13	8.5	0.41	4.8	7.6-9.0
SS	13	3.03	0.84	27.7	1.64-4.22
TVS	8	2.18	0.37	17	1.57-2.68
SO ₄	1	11.23	-	-	-
Cl	1	2199	-	-	-
Phenol	5	<1	-	-	BDL
Ca	13	92.5	21	22.7	64-130
Mg	13	71.3	16.8	23.6	20-96
Na	13	1727	464.6	26.9	1114-2586
K	13	1593	491.2	30.8	737-2582
Fe	13	16.3	6.03	37.8	8.21-26.9
Mn	13	2.97	2.82	94.9	0.53-10.5
Cd	13	0.044	0.023	52.3	0.021-0.085
Cu	13	0.423	0.147	34.8	0.298-0.816
Ni	13	2.059	2.736	133	0.627-8.440
Pb	13	0.285	0.072	25.3	0.161-0.414
Zn	13	1.425	1.163	81.6	0.486-3.620
Cr	13	2.439*	1.087	44.6	1.061-4.255
Hg	1	0.001	-	-	-

หมายเหตุ * = เกินมาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม

ตาราง 2.15 ลักษณะน้ำชะมูลฝอยที่กองขยะอ่อนนุช เก็บจากบ่อที่จุดเทกอง (วีรวรรณ ปัทมาภีรต์, 2530)

Characteristics	Unit	Range
pH	-	7.0 - 8.6
TS	mg/l	3,275 - 21,541.6
TVS	mg/l	958 - 8,176
TSS	mg/l	81.9 - 2,732
TVSS	mg/l	51.7 - 1,015.4
TOC	mg/l	750 - 2,875
COD	mg/l	986.7 - 9,214.6
BOD ₅	mg/l	178.2 - 1,881.1
TKN	mg/l as NH ₃ -N	298.7 - 2,198.6
Organic - N	mg/l as NH ₃ -N	101.2 - 440.3
NH ₃ -N	mg/l	197.5 - 1,758.3
Total - P	mg/l as P	18.4 - 69.5
Total - Alk.	mg/l as CaCO ₃	850 - 9,150
VFA.	mg/l as CH ₃ COOH	110 - 912.7
Chloride	mg/l	97.6 - 2,355.4
Sulphate	mg/l	42.7 - 340.2
Fat Oil and Grease	mg/l	575 - 2,176.4
PCB	ppb	<0.7
Chromium	mg/l	<1.0
Mercury	mg/l	3.8 - 4.7
Color	Pt. - Co Scale	2,550 - 45,450
Conductivity	μ mhos/cm.	0.575 x 10 ⁴ - 4.2 x 10 ⁴
Odor	-	Earthy Smell ammoniacal

ตาราง 2.16 ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยที่กองขยะอ่อนนุช (Chang, 1988)

Parameters	Date			
	19 Oct.,1987	4 Nov.,1987	23 Nov.,1987	15 Jan.,1988
Weather	Clear	Cloudy	Clear	Clear
Temp (°C)	35	26	32	37
Temp of Leachate (°C)	30	28	27	27
pH	8.02	7.6	7.9	8
Color (Hazen)	6000	5500	5500	4500
Turbidity	180	160	170	900
Alkalinity (as CaCO ₃)	2100	2650	220	3250
S.S.	220	166	250	79
T.S.	6500	6324	6600	5156
D.O.	0.8	0.5	0.6	0.3
BOD ₅	210	190	180	150
COD	1825	2075	1658	1560
NH ₃ -N	252	415	482	546
Org -N	44	45	73	81
TKN	296	460	555	627
T.P.	10.2	7.1	5.2	16.9
Pb	0.089	0.1	0.07	0.03
Cd	0.009	0.007	0.01	0.07
Cr	1.114*	1.04*	0.66*	1.32*
Hg	0.007*	0.012*	0.006*	0.025*

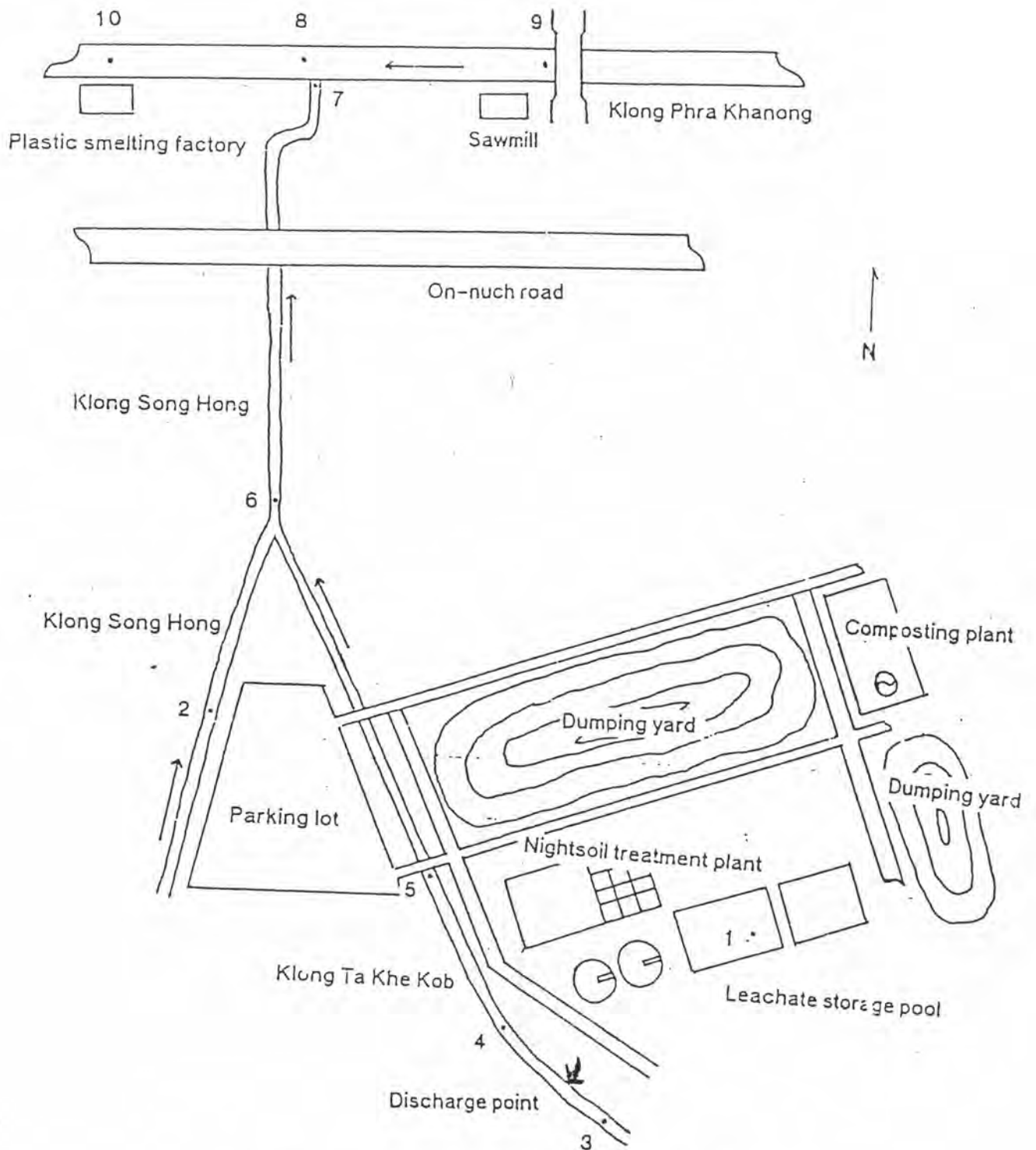
Remark : All units express as mg/l except pH and color

* Exceed standard

ตาราง 2.17 ค่าเฉลี่ยของลักษณะน้ำทะเลผิวย่อยอ่อนนุช (Tharanit Thapanandana, 1993)

Parameter		Station									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temp. (Celcius)	May	29.7	30.9	31.2	31.1	31.2	31	31.4	31.6	31.8	31.7
	July	30.7	30	29.6	29.6	29.4	29.8	30.4	30.8	30.7	30.8
pH (pH unit)	May	8	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
	July	8.1	7.4	7.3	7.4	7.3	7.3	7.2	7.2	7.2	7.2
DO. (mg/l)	May	0.27	0.88	1.11	1.63	1.13	1.42	1.13	1.07	1.58	1.26
	July	0.09	1.9	0.91	1.06	1.22	1.75	1.64	2.2	2.19	1.98
Conductivity (µmhos/cm)	May	25509	2844	3067	3024	2976	2821	2711	2745	2755	2721
	July	19086	1735	2979	2652	2242	1677	1507	1480	1536	1607
Salinity (ppt.)	May	13.7	0.8	0.9	1	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7
	July	10	0.7	1	1	0.7	0.5	0.2	0.2	0.2	0.1
Alkalinity (mg/l)	May	587	19	20	21	19	18	17	17	17	17
	July	523	32	35	38	35	30	24	23	22	25
BOD. (mg/l)	May	268	25	41	33	13	16	29	21	12	28
	July	493	35	22	46	43	34	28	17	18	21
COD. (mg/l)	May	6380	142	183	173	157	112	107	138	121	123
	July	4147	178	311	419	283	235	119	77	72	99
SS. (mg/l)	May	174	63	40	63	52	72	48	27	22	22
	July	187	50	82	55	62	39	26	31	27	21
DS. (mg/l)	May	12425	1113	1728	1508	1342	1473	1551	1525	1505	1594
	July	12110	1010	1730	1550	1388	760	860	830	780	880
TS. (mg/l)	May	12583	1252	1769	1571	1394	1544	1655	1552	1527	1616
	July	12297	1060	1812	1635	1245	779	886	861	807	901
Mercury (ppb.)	May	20.71*	1.28	1.16	1.47	1.48	1.34	1.09	1.63	1.34	1.37
	July	3.73	1.31	0.9	1.21	1.48	0.97	0.81	0.82	0.89	1.12
Cadmium (ppm.)	May	Non Detectable									
	July	Non Detectable									
Manganese (ppm.)	May	0.68	0.73	0.54	0.56	0.68	0.62	0.57	0.48	0.53	0.55
	July	0.83	0.81	0.71	0.66	0.64	0.68	0.59	0.58	0.62	0.62

* เกินมาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม

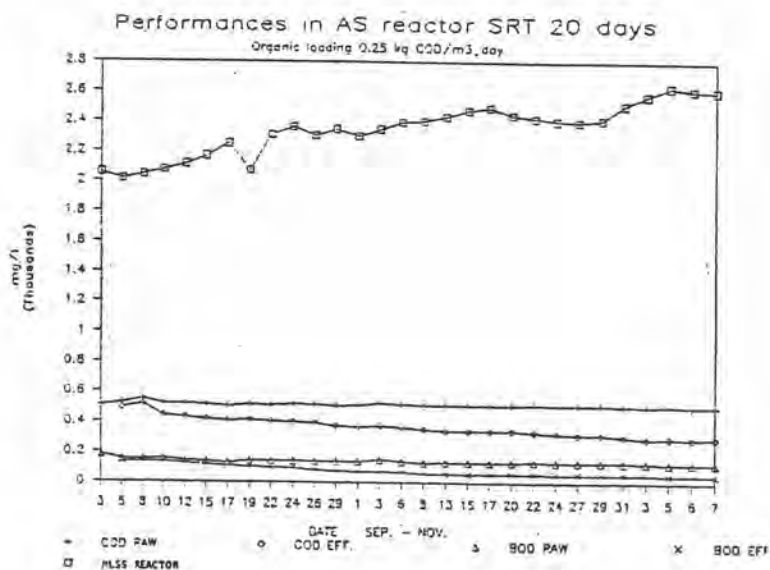


รูป 2.20 สถานที่ตั้งของโรงงานกำจัดขยะอ่อนนุช และจุดเก็บตัวอย่าง (Tharanit Thapanandana, 1993)

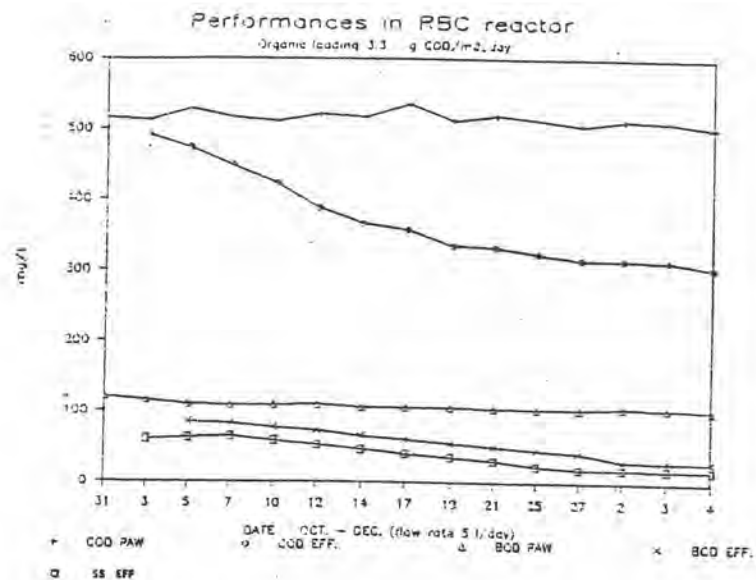
2.10 การศึกษาที่ผ่านมา

นภวรรณ รัตสุข (2535) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกรองเหล็กออกจากน้ำบาดาลสังเคราะห์โดยใช้ถ่านไม้ และถ่านแกลบเป็นตัวกรอง จากการทดลองจะมีประสิทธิภาพในการลดเหล็กสูงถึง 81% และ 99.9% ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นเหล็กเริ่มต้น 14 มก./ล.

วีรวรรณ ปัทมาภีรัต (2530) ศึกษากระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง โดยมี COD เริ่มต้น 500 มก./ล. นำมาบำบัดโดยกระบวนการ AS ที่ OLR 0.25 กก.COD/ม³-วัน โดยประสิทธิภาพการกำจัด BOD₅ ที่อายุตะกอน 20 วัน กำจัดได้ 62.36% แต่สีกำจัดได้น้อยเนื่องจากความเข้มข้น และส่วนประกอบของน้ำชะมูลฝอยมีส่วนที่ย่อยสลายโดยขบวนการชีววิทยาได้ยาก และสารอินทรีย์มีส่วนที่เป็นสารคงตัวสูงซึ่งย่อยสลายได้ยาก เช่น กรดฮิวมิก และกรดฟัลวิก และด้วยกระบวนการ RBC มี COD เข้า 500 มก./ล.ที่ Aerial Loading 3.3 ก. COD/ม²-วันมีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD₅ ได้ 71.7% และกำจัดสีได้ 51.13% แสดงดังรูป 2.21 และรูป 2.22



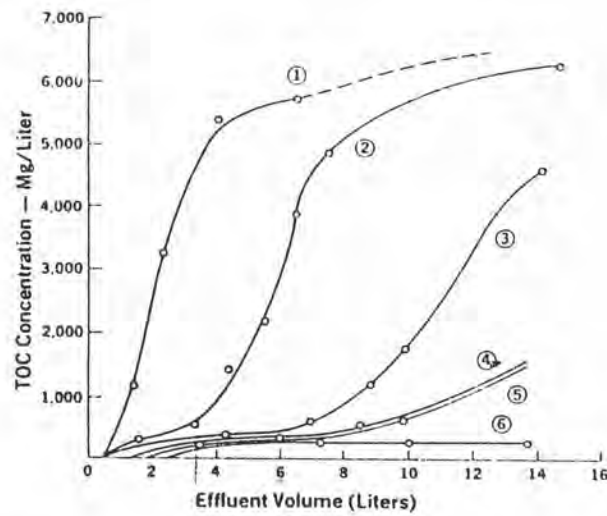
รูป 2.21 ประสิทธิภาพของ AS ที่ SRT 20 วัน OLR 0.25 kg.COD/m³-day



รูป 2.22 ประสิทธิภาพของ RBC ที่ Aereal Loading 3.3 g.COD/m²-day

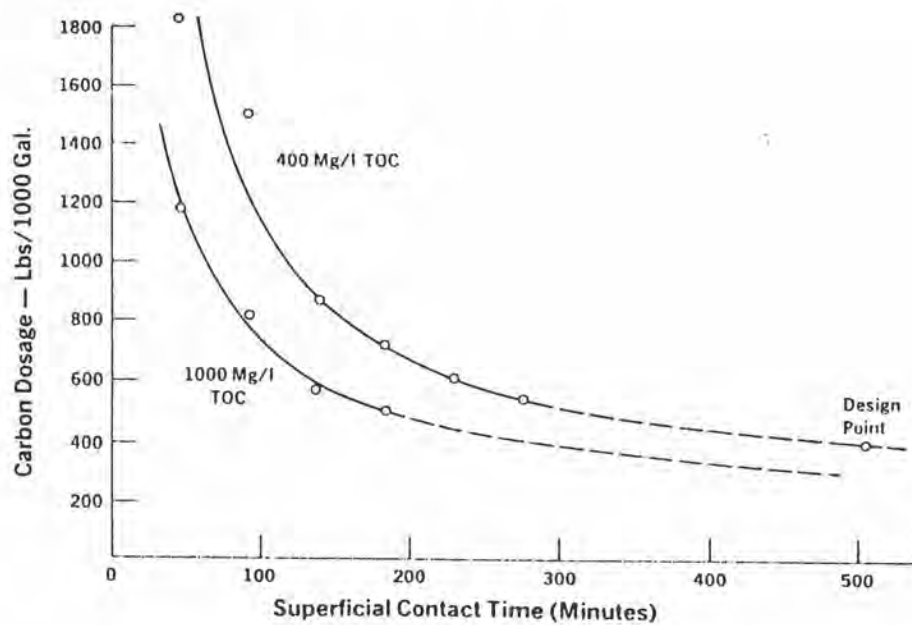
Bernardin (1976) กล่าวว่า การดูดซับไขมันโดยถ่านกัมมันต์แบบเม็ดเป็นวิธีหนึ่งที่ดีที่สุดในการกำจัดสารเคมีอินทรีย์ที่มีพิษ โดยในโรงงานบำบัดจริงนั้นถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดสารพิษ เช่น DDT, PCBs, Dieldrin, Aldrin และอื่นๆ ได้ดียิ่ง

Brunotts, Lynch และ Van Stone (1973) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียซึ่งประกอบด้วย Xylene, Ethyl Alcohol, Alcohol อื่นๆ และกรดซัลฟูริก โดยในการบำบัดใช้กระบวนการดูดซับไขมันด้วยถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ซึ่งทำการทดลองโดยใช้ถังดูดซับไขมันเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ความลึก 3 ฟุต จำนวน 6 ถัง ต่อกันแบบต่อเนื่อง โดยจะได้เวลาสัมผัสทั้งหมด 276 นาที น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีความเข้มข้นที่โอซีเริ่มต้นเฉลี่ย 6,500 มก./ล. โดยผลการทดลองแสดงดังรูป 2.23



รูป 2.23 ผลการทดลองจากถังดูดติดผิว 6 ถังที่ต่อเนื่องกัน

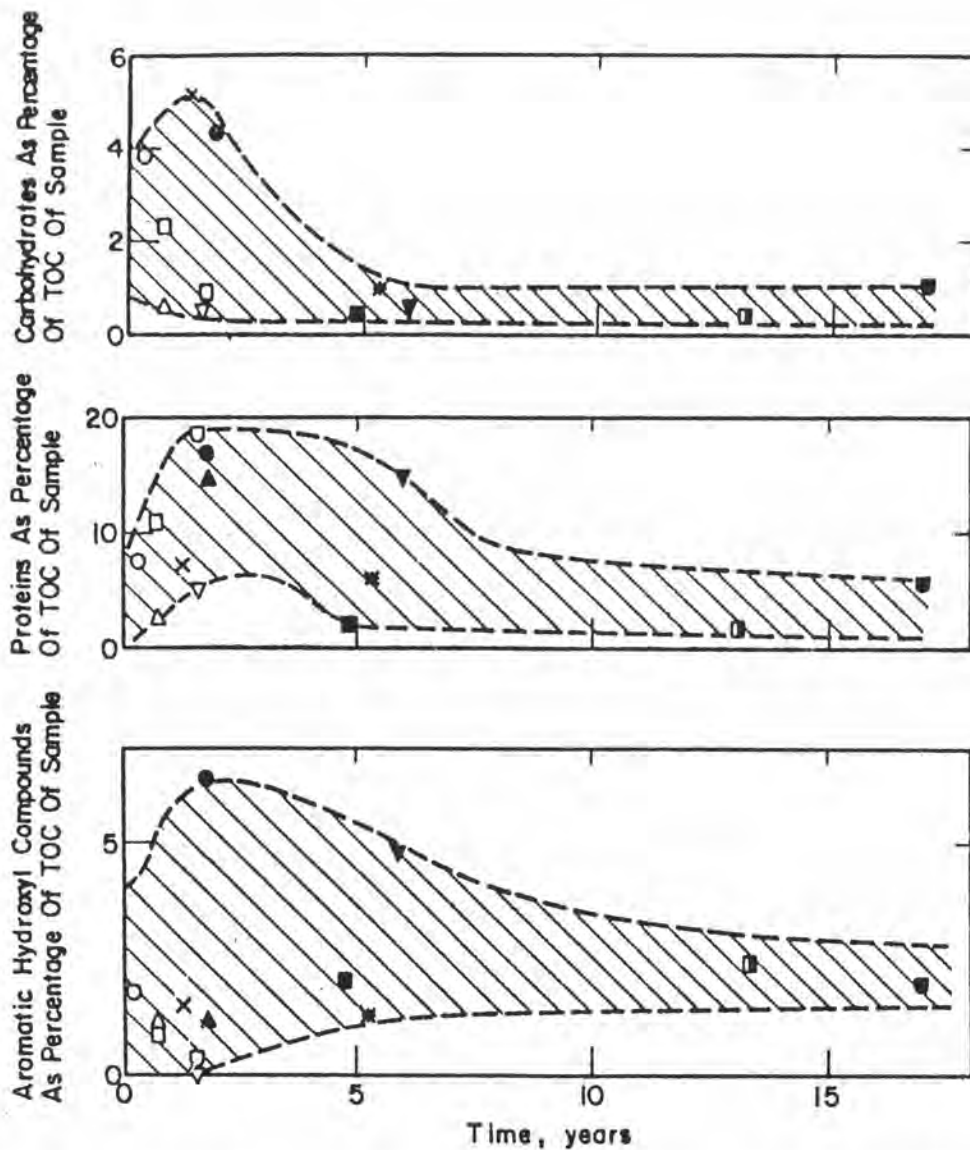
เมื่อใช้ข้อมูลจากรูป 2.23 นำมาคำนวณจะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนกับเวลาสัมผัส เส้นโค้งที่ได้จากมีจุดมุ่งหมายการบำบัดที่ 400 และ 1,000 มก./ล.TOC แสดงดังรูป 2.24 ซึ่งจากข้อมูลนี้จะได้ปริมาณคาร์บอนที่ใช้ในการบำบัด 437 lb/1000gal โดยมีเวลาสัมผัส 507 นาที และมีความเข้มข้นน้ำออก 400 มก./ล.TOC



รูป 2.24 ความสัมพันธ์ของปริมาณคาร์บอน กับเวลาสัมผัส

เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาออกแบบโรงงานบำบัดจริง โดยใช้ถังดูดติดผิวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 ฟุต สูง 10 ฟุตจำนวน 3 ถัง โดยมีเวลาสัมผัส 540 นาที น้ำเสียเข้ามี COD อยู่ในช่วงระหว่าง 13,000-65,000 มก./ล. ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 28,525 มก./ล. และมี TOC 6,310 มก./ล. เมื่อผ่านการบำบัดแล้วมี COD อยู่ในช่วง 599- 3,703 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ย 1,308 มก./ล. และมี TOC ในน้ำออกเท่ากับ 289 มก./ล.

Chian (1977) กล่าวว่าสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยประกอบด้วยกรดไขมันระเหยอิสระเป็นส่วนใหญ่ โดยจะลดน้อยลงเมื่ออายุของการฝังกลบมากขึ้น กลุ่มของสารอินทรีย์ที่คงตัวเมื่ออายุการฝังกลบมากขึ้น คือ สารที่เหมือนฟัลวิกที่มีจำนวนของกลุ่ม Carboxyl และ Aromatic hydroxyl การเพิ่มขึ้นของความคงตัวของน้ำชะมูลฝอยจะมี Carbohydrates, Hydrolyzable Amino Acids และสารประกอบ Aromatic Hydroxyl เพิ่มขึ้นตามลำดับ น้ำชะมูลฝอยที่มีอายุการฝังกลบน้อยเท่านั้นที่เหมาะสมกับการบำบัดโดยกระบวนการทางชีวภาพ เพราะว่ามีสารอินทรีย์ที่จุลชีพสามารถย่อยสลายได้มาก น้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบที่มีความคงตัวสูงเหมาะที่จะบำบัดโดยวิธีทางกายภาพเคมี



รูป 2.25 ความสัมพันธ์ของ Carbohydrates, Protein และ Aromatic Hydroxyls ในน้ำชะมูลฝอยกับอายุของสถานที่ฝังกลบมูลฝอย

Chian และ DeWalle (1976) กล่าวว่า ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยดิบโดยทั่วไปจะใช้ปริมาณ ถ่านกัมมันต์สูง โดยประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอไซด์แบบแบทช์อยู่ระหว่าง 34-85% แสดงดัง ตาราง 2.18 และในการศึกษาโดยใช้ถังดูดติดผิว มีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 59-74% อย่างไรก็ตาม ในน้ำออกจะมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงในช่วงเริ่มต้นเท่านั้น ในการศึกษาดังกล่าวใช้น้ำชะมูลฝอย ที่มาจากแหล่งฝังกลบที่อายุน้อยซึ่งส่วนประกอบส่วนใหญ่ในน้ำชะมูลฝอย คือ กรดไขมันระเหย (Volatile fatty Acids) ในการบำบัดนี้ประสิทธิภาพที่ได้จากการบำบัดโดยถ่านกัมมันต์มีค่าน้อยกว่าการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพมาก

ตาราง 2.18 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยถ่านกัมมันต์

Treatment process	Author	Initial COD	BOD/COD	COD/TOC	Treatment system	% COD removal	Dosage
Chemical Precipitation	Cook and Foree	14,900	0.45	3.45	Lime	13	2,760 mg/l Ca(OH) ₂
	Ho, et al.	9,100	0.75	-	Ferric chloride	16.3	1,000 mg/l
		9,100	0.75	-	Alum	5.3	1,000 mg/l
		10,800	0.74	-	Lime	3.5	1,840 mg/l
		558	0.27	-	Lime treatment of anaerobic digester effluent	7.7	2,700 mg/l
		366	0.11	-	Lime treatment of anaerobic digester effluent polished by aerated lagoon	29	1,400 mg/l
	Karr	4,800	0.66	2.73	Alum and lime	40	2,250 mg/l Al ₂ (SO ₄) ₃ and 800 mg/l CaO
					Ferrosulfate	13	2,500 mg/l FeSO ₄ 7H ₂ O
	Roy Weston Inc.	139	0.04	2.1	Lime	0	1,000 mg/l
	Rogers	3,400	0.81	-	Lime	0	1,000 mg/l
	Simensen and Odegaard	1,240	0.66	2.78	Lime and Aeration	8	210 ml saturated lime/ l leachate
		1,234	0.68	2.88	Iron and Aeration	0	200 mg/l FeCl ₃
		1,234	0.68	2.88	Alum and Aeration	11	180 mg/l Al ₂ (SO ₄) ₃
	Thornton and Blanc	5,033	0.60	-	Lime	24	1350 mg/l
		12,923	0.57	-	Lime	26	1,200 mg/l
	Van Fleet, et al.	2,000	0.36	-	Alum	31	2,700 mg/l
	This study	2,820	0.65	2.89	Lime	26	450 mg/l
	Activated Carbon and Ion exchange adsorption	Cook and Foree	330	0.07	2.57	Activated carbon batch treatment of aerated lagoon effluent	70
3,290			0.45	3.45	Activated carbon column treatment of lime pretreated leachate	81	15 min HRT, after initial volume turnovers
Ho, et al.		4,920	0.75	-	Activated carbon batch	34	16,000 mg/l
		7,213	0.75	-	Activated carbon column	59	45 min HRT after 3 volume turnovers
Karr		5,500	0.66	2.73	Activated carbon batch	60	160,000 mg/l
Pohland and Kang		184	0.18	1.5	Carbon batch treatment of activated sludge effluent	91	10,000 mg/l
		120	0.18	1.5	Ion exchange treatment of activated sludge effluent	58	5,000 mg/l cation and Anionic resin mixture
Roy Weston Inc.		127	0.04	2.1	Activated carbon batch	85	10,000 mg/l
Van Fleet, et al.		2,000	0.36	-	Activated carbon column treatment of leachate	71	-

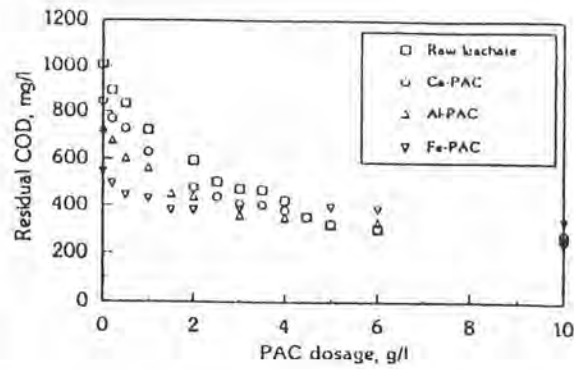
ตาราง 2.18 (ต่อ) ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยถ่านกัมมันต์

Treatment process	Author	Initial COD	BOD/COD	COD/TOC	Treatment system	% COD removal	Dosage
Chemical Oxidation	This study	632	0.65	2.89	Activated carbon column treatment of alum pretreated leachate	94	
					Activated carbon column treatment of leachate	70	decreased to 13 after 140 Bv
		546	<0.1	2.55	Activated carbon column treatment of effluent of aerated lagoon	70	
		527	<0.1	2.46	Ion exchange column treatment of effluent of aerated lagoon	50	
		932	-	2.9	Activated carbon column treatment of effluent of anaerobic filter	50	
		522	<0.1	2.7	Activated carbon column treatment of aerated effluent of anaerobic filter	70	
	Cook and Foree Ho, et al.	330	0.07	2.57	Chlorination	33	65 ml bleach/l sample
		1,500	0.75	-	Chlorination with calcium hypochlorite	8	8,000 mg/l Ca(ClO) ₂ after 2 hr
		7,162	0.75	-	Ozonation	37	4 hr 7,700 mgO ₂ /l.hr
		4,800	0.66	2.73	Chlorination	22	2,000 mg/l Cl ₂
Roy Weston Inc.	139	0.04	2.1	Chlorination with calcium hypochlorite	0	1,000 mg/l Ca(ClO) ₂	
	139	0.04	2.1	Ozonation	22	4 hr 34 mgO ₂ /l.hr	
This study	1,250	-	2.9	Ozonation of anaerobic filter effluent	37	3 hr 600 mgO ₂ /l.hr	
				Ozonation of aerated lagoon effluent	48	3 hr 400 mgO ₂ /l.hr	
Reverse Osmosis	Roy Weston Inc.	265	-	2.1	Reverse osmosis	80	80% Permeate yield
	This study	53,330	0.65	2.89	Reverse osmosis of leachate at pH 5.5 cellulose acetate membrane	56	50% Permeate yield
		53,330	0.65	2.89	Reverse osmosis of leachate at pH 8.0 cellulose acetate membrane	89	50% Permeate yield
		900	-	2.9	Reverse osmosis of anaerobic filter effluent DuPont B-9	98	77% Permeate yield
		536	-	2.5	Reverse osmosis of aerated lagoon effluent cellulose acetate membrane		50% Permeate yield.

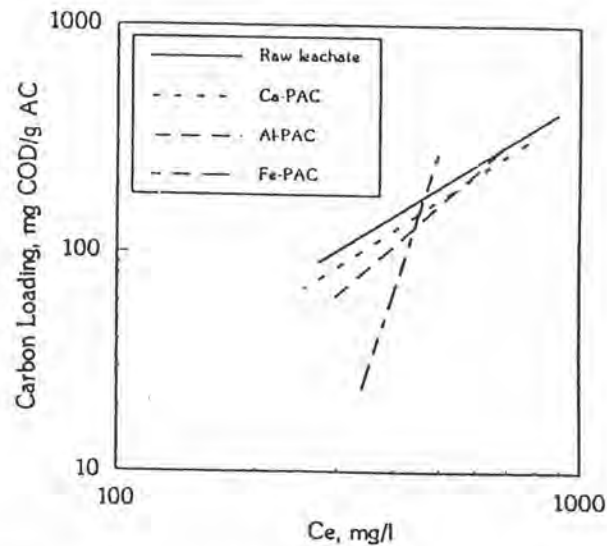
ต่อมาได้พบว่า ความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์โดยถ่านกัมมันต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อความคงตัวของชีวภาพเพิ่มขึ้น หรือลดอัตราส่วน COD/TOC ซึ่งความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำชะมูลฝอยมีกรดไขมันระเหยอิสระต่ำ โดยรายงานว่า การบำบัด COD ที่น้ำชะมูลฝอยมีความคงตัวสูง โดยมี BOD/COD เท่ากับ 0.04 ชั้นถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการลด COD 85% ความเข้มข้นที่ผิวหน้า 0.17 mgCOD/mgถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับ การมีกรดไขมันระเหยสูง นอกจากนี้ได้รายงานว่า สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ถูกดูดซับมีลักษณะเหมือนกรดฟัลวิค ซึ่งมีมวลโมเลกุลระหว่าง 500-10,000 โดยเมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้นนั้นแสดงถึงอายุของสถานที่ฝังกลบมากขึ้นด้วย ซึ่งถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าเมื่อบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่คงตัว

Culp และ Shuckrow (1972) กล่าวว่า กระบวนการบำบัดทางเคมีกายภาพของน้ำเสียชุมชนมีประสิทธิภาพเหนือกว่าการบำบัดทางชีวภาพ ทั้งยังประหยัดพื้นที่ และในบางกรณีมีความประหยัดมากกว่า กระบวนการบำบัดโดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันสำหรับตกตะกอน และกำจัดสารแขวนลอย ในบางกรณีการกำจัดฟอสฟอรัสตามด้วยกระบวนการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ละลาย ซึ่งโดยทั่วไปจะมีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD และ COD 90-95% และในกรณีส่วนใหญ่การบำบัดทางชีวภาพตามด้วยการบำบัดทางเคมีกายภาพรวมถึงการดูดซับโดยคาร์บอนจะมีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD และ COD สูงกว่าการบำบัดทางเคมีกายภาพเพียงอย่างเดียว

Diamadopoulos (1994) ศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์แบบผงทำการทดลองแบบเบซท์ในการลด COD ของน้ำชะมูลฝอยที่มีความคงตัวสูง โดยมีอัตราส่วน BOD/COD ประมาณ 0.06 ซึ่งในการทดลองใช้น้ำชะมูลฝอยดิบ COD เริ่มต้นประมาณ 1000 มก./ล. และน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นโดยสารโคแอกกูแลนต์ ในการทดลอง COD จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอน จนเพิ่มปริมาณคาร์บอนถึงค่าหนึ่ง COD จะมีค่าคงที่ น้ำที่ผ่านการทดลองการดูดซับโดยใช้น้ำชะมูลฝอยดิบ และน้ำที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นโดย Lime และ Aluminum จะเหลือ COD ประมาณ 270 มก./ล. ส่วนน้ำที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นโดย Ferric มีความเข้มข้น COD สูงกว่า คือ ประมาณ 335 มก./ล. แต่ปริมาณคาร์บอนที่ใช้ในการบำบัดเบื้องต้นโดย Ferric มีค่าน้อยที่สุด คือ 1.5 ก./ล. ขณะที่ปริมาณคาร์บอนที่ใช้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยดิบสูงที่สุดประมาณ 6 ก./ล. แสดงดังรูป 2.26 และไอโซเทอมการดูดซับแสดงดังรูป 2.27



รูป 2.26 ความสัมพันธ์ของ COD ที่เหลือ กับปริมาณคาร์บอนที่ใช้



รูป 2.27 ไอโซเทอมการดูดติดผิวของน้ำชะมูลฝอยดิบ และน้ำที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น โดยสารโคแอกกูแลนต์

ลักษณะน้ำชะมูลฝอยเปลี่ยนไปตามเวลา เนื่องจากขณะที่สถานที่ฝังกลบมีอายุมากขึ้นนั้นจะมีการเปลี่ยนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนที่มีช่วงเวลาสั้นไปสู่การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งมีช่วงเวลายาวนานกว่า ซึ่งแบ่งเป็น 2 เฟส คือ Acidic phase และ Methanogenic phase น้ำชะมูลฝอยจาก Acid Phase ถือว่าเป็นน้ำชะมูลฝอยที่มีอายุน้อยมีสารอินทรีย์ปริมาณสูง และส่วนใหญ่ของสารอินทรีย์ประกอบด้วยกรดไขมันระเหย (VFAs, Volatile Fatty Acids) ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์มวลโมเลกุลต่ำ ($MW < 120$) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยปริมาณสูงถึง 95% เนื่องจาก VFAs สามารถย่อยสลายได้ง่าย ซึ่งอัตราส่วน BOD/COD ในเฟสนี้

ปกติมีค่าประมาณ 0.4-0.5 หรือมากกว่าเล็กน้อย โดยความเข้มข้นที่สูงของ VFAs มีผลทำให้ค่า pH ต่ำมีค่าประมาณ 4 ใน Methanogenic Phase ของการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนนั้นแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนจะย่อยสลาย VFAs และลดความคงตัวของสารอินทรีย์ของน้ำชะมูลฝอย คาร์บอนอินทรีย์ที่เหลือจากการย่อยสลายนี้โดยส่วนใหญ่จะเป็นสารที่มีมวลโมเลกุลสูง โดยสารเหล่านี้ไม่เหมาะที่จะย่อยสลายโดยจุลชีพ ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นน้ำชะมูลฝอยที่มีอายุมาก ระหว่างเฟสนี้ BOD จะลดลงเร็วกว่า COD มาก ดังนั้นอัตราส่วน BOD/COD ลดลงอยู่ในช่วง 0.1-0.3 หรือน้อยกว่า ซึ่งการลดลงของ VFAs เป็นสาเหตุทำให้ pH มีค่าประมาณ 7 หรือมากกว่า

Eltom และ Sayigh (1994) ศึกษาความสามารถในการดูดซับก๊าซเมทานอล (Methanol) โดยใช้ถ่านไม้ที่แอ็คติเวต และไม้ไผ่แอ็คติเวต โดยจำนวนเมทานอลที่ถูกดูดซับโดยถ่านไม้ที่แอ็คติเวตที่มีค่าอยู่ระหว่าง 39.7% ถึง 45.5% ขณะที่ถ่านไม้ที่ไม่ได้เวตต์คิเวตที่มีค่าอยู่ระหว่าง 28.2% ถึง 34%

Emil และ Edward (1974) ศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสารปนเปื้อนหลังจากผ่านกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน โดยใช้ถังดูดซับผิวขนาด 297 ลบ.ซม. ถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลามะพร้าวขนาดตะแกรง 6/14 โดยใช้เวลาสัมผัส 15 นาที สามารถลดที่ไอซีได้ 69.7% ที่ที่ซีไอดีเริ่มต้น 330 มก./ล. และสามารถกำจัดสีได้ทั้งหมด แสดงดังตาราง 2.19

ตาราง 2.19 ลักษณะน้ำออกจากระบบบำบัดทางชีวภาพ และถังดูดซับผิว

Characteristics	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4
Detention time, θ (days)	10	10	10	30
Additions to leachate	-	Lime	Lime and nutrients	Nutrients
Soluble COD before polishing (mg/l)	330	320	270	290
Activated carbon treatment :				
COD (mg/l)	100	170	130	130
COD removal efficiency (%)	69.7	46.8	51.8	55.2
Total COD removal efficiency				
including biological treatment (%)	99.4	98.9	99.2	99.2
TSS (mg/l)	0	0	0	0
Color	0	30	0	0
Total organic carbon (mg/l)	31	32	36	36
pH	9.8	9.5	8.9	8.9
Bleach treatment :				
COD (mg/l)	220	260	120	90
COD removal efficiency (%)	33.3	18.7	55.6	69.0
Color	0	0	0	0
Bleach dosage (ml/l)	65.5	56.6	47.6	31.0
Sodium hypochlorite (mg/l)	3,430	2,970	2,500	1,630

Giusti, Conway และ Lawson (1994) ศึกษาการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ โดยทำการทดลองแบบแบบพีในการลดสารเคมีเกี่ยวกับอุตสาหกรรมปิโตรเลียม 93 ชนิด ซึ่งมีความคงตัวสูง พบว่า เมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้น และความมีขั้ว (Polarity) การละลาย และกิ่งก้าน (Branching) ลดลง มีผลทำให้การดูดติดผิวเพิ่มมากขึ้น

Gourdon, Comel, Vermande และ Veron (1989) รายงานว่า สารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยส่วนใหญ่ถูกบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยกระบวนการบำบัดโดยจุลชีพแบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจน แต่มีโมเลกุลที่ย่อยสลายได้ยากโดยวิธีทางชีวภาพ ซึ่งเป็นโมเลกุลเคมีทางอุตสาหกรรมที่มีมวลโมเลกุลต่ำกว่า 500 โดยสารอินทรีย์เหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายโดยจุลชีพแบบไม่ใช้ออกซิเจน แต่สามารถย่อยสลายโดยจุลชีพแบบใช้ออกซิเจนได้ประมาณ 50%

Hager (1976) ศึกษาการดูดติดผิวน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม 107 โรงงาน ประกอบด้วยอุตสาหกรรม อาหาร ทอผ้า กระดาษ สารเคมี ปิโตรเลียม และโลหะ พบว่าถ่านกัมมันต์สามารถลดสารปนเปื้อนอินทรีย์ละลายได้ ซึ่งสามารถกำจัด TOC ได้ 75% ใน 79 จาก 102 โรงงาน คิดเป็น 77% และกำจัดสีได้ 95% ใน 16 จาก 16 โรงงาน คิดเป็น 100% และกำจัดฟีนอลได้ 99% ใน 5 จาก 5 โรงงาน คิดเป็น 100% แสดงดังตาราง 2.20

ตาราง 2.20 ข้อมูลการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมโดยกระบวนการดูดติดผิว

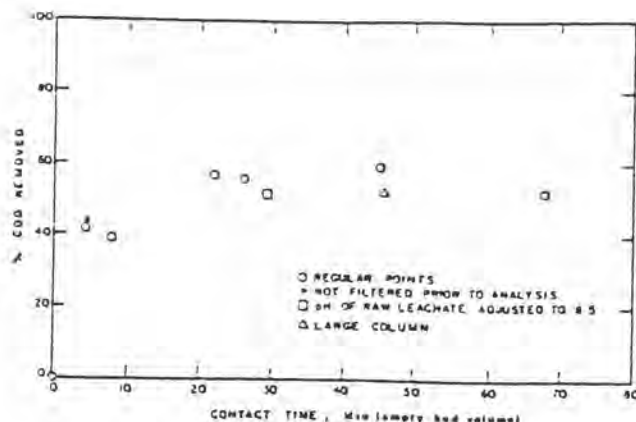
S.I.C. Category	Industry	Number of Samples/TOC Reduction			Total
		> 90%	85-90%	< 85%	
2000's	Food	3	0	4	7
2200's	Textile	9	3	4	16
2600's	Paper	1	0	0	1
2800's	Chemical	24	8	13	45
2900's	Petroleum	4	0	0	4
3300's	Metal	5	0	0	5
Sub-Total		46	11	21	78
% of Sub-Total		59%	14%	27%	100%
All Other Samples		18	4	2	24
Total Study (Part II)		64	15	23	102
% of Total		63%	14%	23%	100%

Hager และ Flentje (1965) ศึกษาพบว่า การกรองโดยถ่านกัมมันต์เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสำหรับกำจัดสารซักฟอก ยาฆ่าแมลง ไวรัส มลพิษทางเคมี และกลิ่นรส โดยผลเหล่านี้เป็นข้อยืนยันว่าถ่านกัมมันต์กำจัดสารปนเปื้อนอินทรีย์ที่ไม่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง

Harbold (1984) ศึกษาการดูดติดผิวแบบต่อเนื่อง และแบบเบตซ์โดยใช้ methyl ethyl ketone, butyraldehyde และส่วนประกอบ 4 ชนิดของน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยเปรียบเทียบความจุในการดูดติดผิว จากผลพบว่าความจุของคาร์บอนที่เบรคทروجจะมีค่าน้อยกว่าที่ทำนายไว้ในไอโซเทอมประมาณ 27-36% แต่อย่างไรก็ตามการทดสอบไอโซเทอมแบบเบตซ์มีความสำคัญในการใช้ตรวจสอบว่าสารใดๆสามารถถูกดูดติดโดยถ่านกัมมันต์ได้หรือไม่ และใช้ในการเปรียบเทียบพิจารณาคาร์บอนที่ดีที่สุดที่จะนำไปใช้ในการศึกษาการดูดติดผิวแบบต่อเนื่องโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่ง

Harrington และ Maris (1986) กล่าวว่า กระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปมีประสิทธิภาพในการลดซีไอดี 34-59% สำหรับน้ำชะมูลฝอยที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดใดๆ

Ho, Boyle และ Ham (1974) ศึกษาการทดสอบแบบเบตซ์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ Filtrasorb400(325 mesh) ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย พบว่าเวลาสัมผัสของการเข้าสู่สมดุลการดูดติดผิวของCODใช้เวลาน้อยกว่า 30 นาที ในการทดสอบโดยถังดูดติดผิวพบว่าเวลาสัมผัสในการกำจัดซี และกลิ่น คือ 4 นาที และจะกำจัดได้สมบูรณ์ที่เวลา 20 นาที และที่เวลาสัมผัส 20 นาทีนี้มีประสิทธิภาพในการลดCODได้ 55% โดยมีซีไอดีเริ่มต้น 3,100 มก./ล. และที่เวลาเดียวกันสามารถลดสีจากสีเหลืองโคลนจนใส ผลการทดลองแสดงคังรูป 2.28



รูป 2.28 ผลของร้อยละของการกำจัด COD กับ เวลาสัมผัสในถังดูดติดผิว

Huang และ Garrett. (1977) ศึกษาผลกระทบของโพลีอิเล็กโทรไลต์ และผงดินที่เป็นคอลลอยด์ที่มีต่อความสามารถในการดูดติดผิว พบว่าสารทั้งสองนี้ไม่สามารถเข้าไปขวางบริเวณรูพรุนของสารดูดติดผิว ทำให้ไม่มีผลกระทบต่อการดูดติดผิว แต่ในระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแห้ง โดยป้อนน้ำเข้าไหลลงอนุภาคดินสามารถดูดซับที่บริเวณผิวหน้าของคาร์บอน เนื่องจากแรงดันที่ผ่านชั้นคาร์บอน ดังนั้นความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์อาจลดลงทีละน้อย อันเนื่องจากการอุดตันทางกายภาพ หรือการสะสมบนผิวหน้าของอนุภาคดิน

Hutchins (1973) กล่าวว่า ไอโซเทอมไม่สามารถทำนายข้อมูลสำหรับระบบคาร์บอนแบบเม็ดได้ดีเนื่องจาก

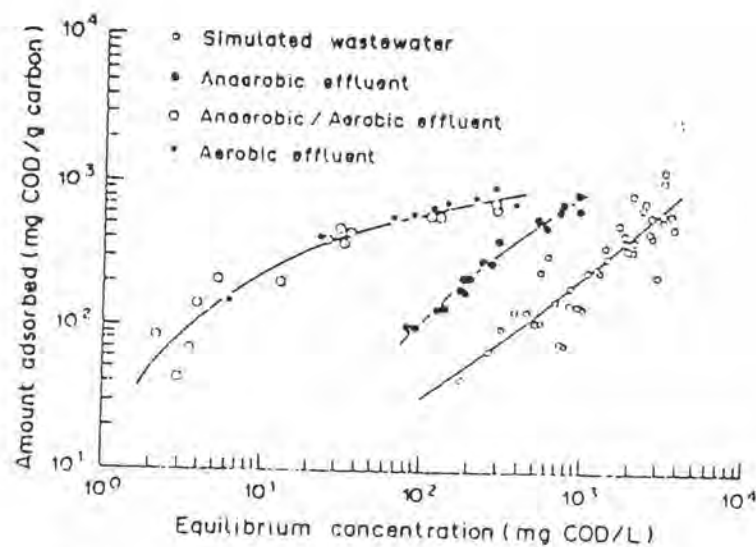
1. การดูดติดผิวในถังคาร์บอนแบบเม็ดไม่ได้เป็นแบบเข้าสู่สมดุล
2. คาร์บอนแบบเม็ดแทบจะไม่ได้ถูกใช้หมดในกระบวนการในโรงบำบัดจริง
3. คาร์บอนแบบผงมีอัตราการดูดติดผิวสูงกว่าคาร์บอนแบบเม็ดมาก
4. ผลกระทบจากการนำคาร์บอนกลับมาใช้ไม่ได้ศึกษา และไอโซเทอมไม่สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังดูดติดผิว

Imai, Onuma, Inamori และ Sudo (1995) ศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอยที่มีอายุมากโดยกระบวนการ Biological Activated Carbon Fluidized Bed (BACFB) โดยในช่วงภาวะคงตัว (Steady - state) สามารถลดคาร์บอนอินทรีย์ละลาย (Dissolved Organic Carbon, DOC) ของน้ำชะมูลฝอยได้สูงขึ้นจาก 42% เป็น 58.7% เมื่อ HRT เพิ่มจาก 24 ชั่วโมง เป็น 96 ชั่วโมง

โหมง การเพิ่มขึ้นนี้เนื่องมาจากการย่อยสารอินทรีย์มวลโมเลกุลต่ำที่ย่อยยากได้มากขึ้น เนื่องจากการปรับตัวของจุลชีพ และการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์มวลโมเลกุลต่ำที่ย่อยยากเป็นสารที่ย่อยได้มากขึ้น

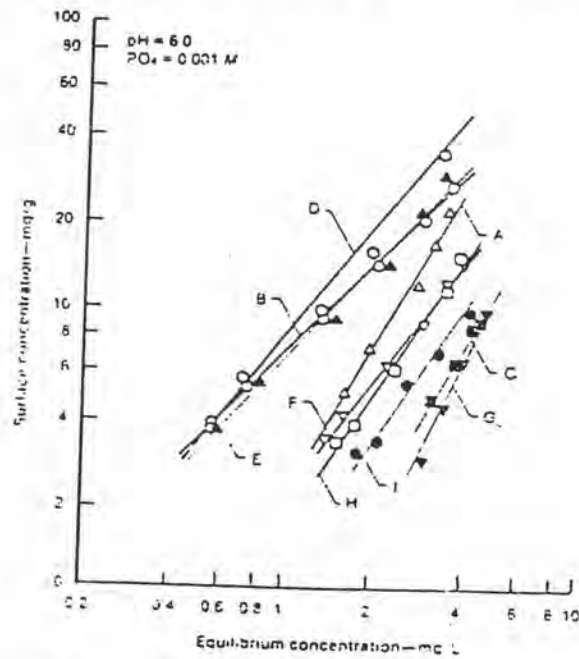
Keenan, Steiner และ Fungardi (1983) กล่าวว่า วิธีทางเคมีฟิสิกส์ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย โดยใช้ปูนขาวเพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ประมาณ 50% สารแขวนลอย 75% โปรท และแคดเมียม 50% และโลหะหนักอื่นๆประมาณ 75%

Kim, Anderson และ Zemla (1990) ศึกษาผลของการบำบัดทางชีวภาพต่อการดูดติดผิวของสารอินทรีย์จากน้ำเสียจากการตัดโลหะ การบำบัดทางชีวภาพที่ศึกษา ได้แก่ ระบบแอนแอโรบิก ระบบแอนแอโรบิกตามด้วยระบบแอโรบิก และระบบแอโรบิก ซึ่งน้ำที่บำบัดโดยระบบเหล่านี้จะถูกบำบัดด้วยกระบวนการดูดติดผิว โดยการทดสอบไอโซเทอม ผลปรากฏว่าหลังจากผ่านระบบแอนแอโรบิกความจุการดูดติดผิวเพิ่มขึ้นประมาณ 5 เท่า ที่จุดสมดุล โดยความเข้มข้น COD 100 มก./ล. และความจุการดูดติดผิวเพิ่มขึ้นประมาณ 30 เท่า หลังจากผ่านระบบแอโรบิก และระบบแอนแอโรบิกตามด้วยแอโรบิก แสดงดังรูป 2.29 การเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากระบบทางชีวภาพได้กำจัดสารอินทรีย์ที่ยากในการดูดติด โดยสารอินทรีย์ในน้ำออกจากระบบแอนแอโรบิกถูกดูดติดผิวได้ยากกว่าน้ำออกจากระบบอื่น

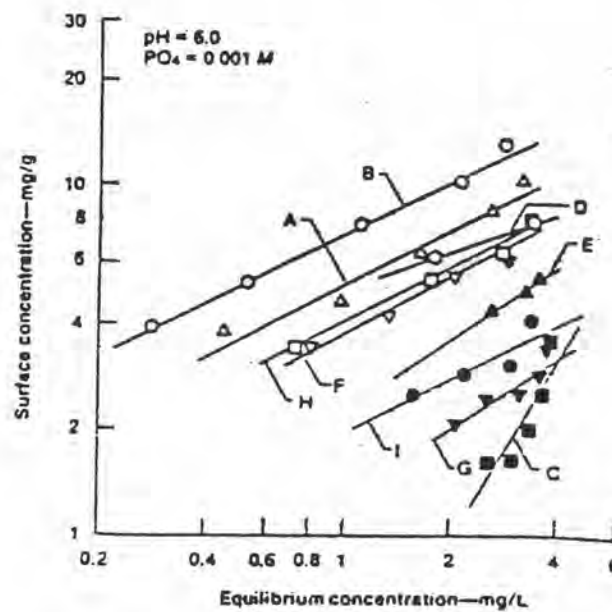


รูป 2.29 ผลของระบบบำบัดทางชีวภาพต่อการดูดติดผิว

Lee, Snoeyink และ Crittenden (1981) ศึกษาการทดสอบไอโซเทอมของกรดฮิวมิก และ กรดฟัลวิกโดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ทำการทดลองโดยใช้เครื่องเขย่าที่ความเร็ว 25 รอบต่อนาที ใช้เวลาสัมผัส 5 วันเพื่อเข้าสู่สมดุล พบว่าถ่าน Filtrasorb 400 ขนาดร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน 20/30 (ชนิด A) มีความสามารถในการดูดติดผิวดี ดังแสดงในรูป 2.30 และรูป 2.31



รูป 2.30 ไอโซเทอมการดูดติดผิวของกรดฮิวมิก



รูป 2.31 ไอโซเทอมการดูดติดผิวของกรดฟัลวิก

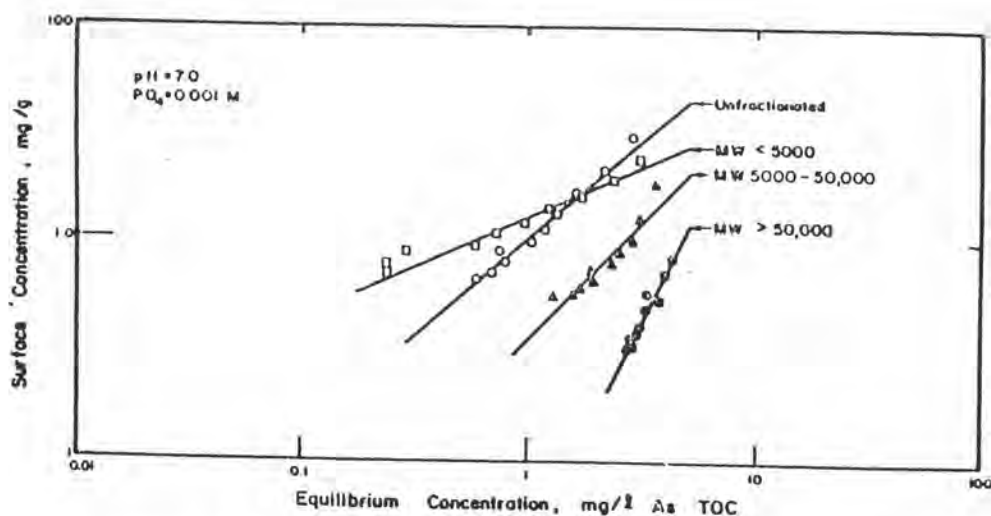
Lee, Crittenden, Snoeying และ Ari (1983) แนะนำว่า เมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนท์ ร่วมกับกระบวนการดูดซับจะทำให้ประสิทธิภาพของถังดูดซับในการกำจัดสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างมาก

Lema, Mendez และ Blazquez (1988) แนะนำว่า วิธีการดูดซับด้วยคาร์บอนใช้สำหรับน้ำชะมูลฝอยที่มาจากสถานที่ฝังกลบที่มีอายุมาก หรือมาจากน้ำออกของกระบวนการบำบัดทางชีวภาพขั้นที่สาม ซึ่งกระบวนการบำบัดนี้จะมีประสิทธิภาพการลด COD 85% แต่การฟื้นฟูคาร์บอนยังเป็นข้อเสียที่สำคัญ

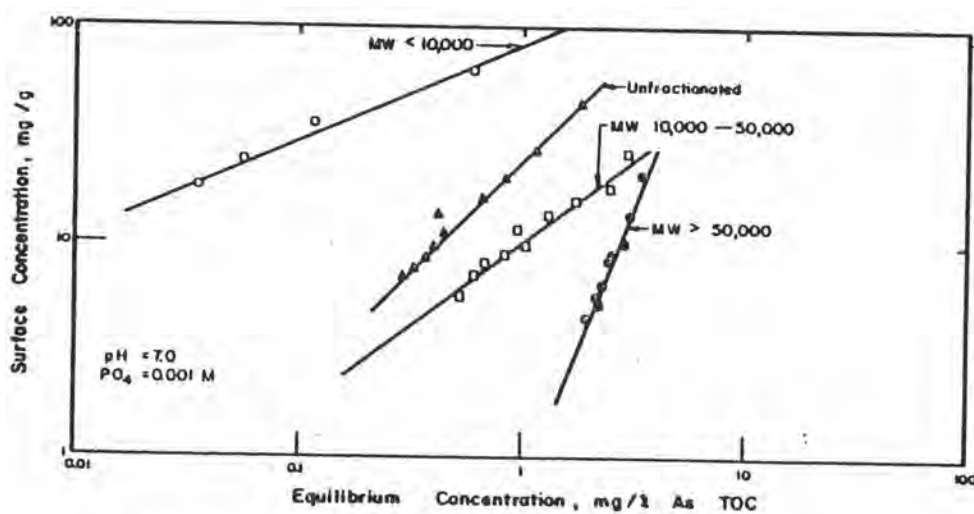
Martin และ Al-Bahrani (1977) กล่าวว่า ความจุการดูดซับที่จุดสมดุลสำหรับแต่ละตัวถูกละลาย สำหรับสารละลายผสม (Multi-solute) บนถ่านกัมมันต์นั้นมีอิทธิพลอย่างมากจากตัวถูกละลายอื่นที่มีอยู่ในสารละลายในระบบถังดูดซับ สารประกอบที่ถูกดูดซับได้ไม่ดีที่เริ่มแรกจะถูกดูดซับจะหลุดออกเมื่อสารประกอบที่ถูกดูดซับได้ดีถูกดูดซับมากขึ้น โดยสารประกอบที่ถูกดูดซับได้น้อยลงเท่าไรก็จะได้รับอิทธิพลจากการดูดซับโดยตัวถูกละลายอื่นเพิ่มขึ้นเท่านั้น โดยผลกระทบจะมากขึ้นเมื่อมีจำนวนตัวถูกละลายในสารละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลกระทบต่อถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อนของสารปนเปื้อนอินทรีย์

Martin และ Al-Bahrani (1977) ศึกษาความจุการดูดซับของการทดลองแบบแบทช์พบว่า จำนวนของตัวถูกละลายในสารละลายแบทช์จะไม่มีผลต่อความจุในการดูดซับ ขณะที่การทดลองถังดูดซับแสดงว่า ความจุในการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อจำนวนของตัวถูกละลายในสารละลายเพิ่มขึ้น สำหรับสารละลายซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมที่ซับซ้อนของสารอินทรีย์นั้นในการทดลองแบบแบทช์จะประมาณความจุการดูดซับได้ดีกว่าการใช้ในระบบถังดูดซับ

McCreary และ Snoeyink (1980) ศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของกรดฮิวมิก และฟัลวิก โดยถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 400 พบว่า ขอบเขตของการดูดซับลดลงเมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโมเลกุลใหญ่ไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าสู่โพรงที่เล็กกว่าของคาร์บอน หรือขนาดโพรงที่โมเลกุลขนาดใหญ่เข้าได้มีจำนวนน้อย ผลไอโซเทอมแสดงดังรูป 2.32 และ 2.33

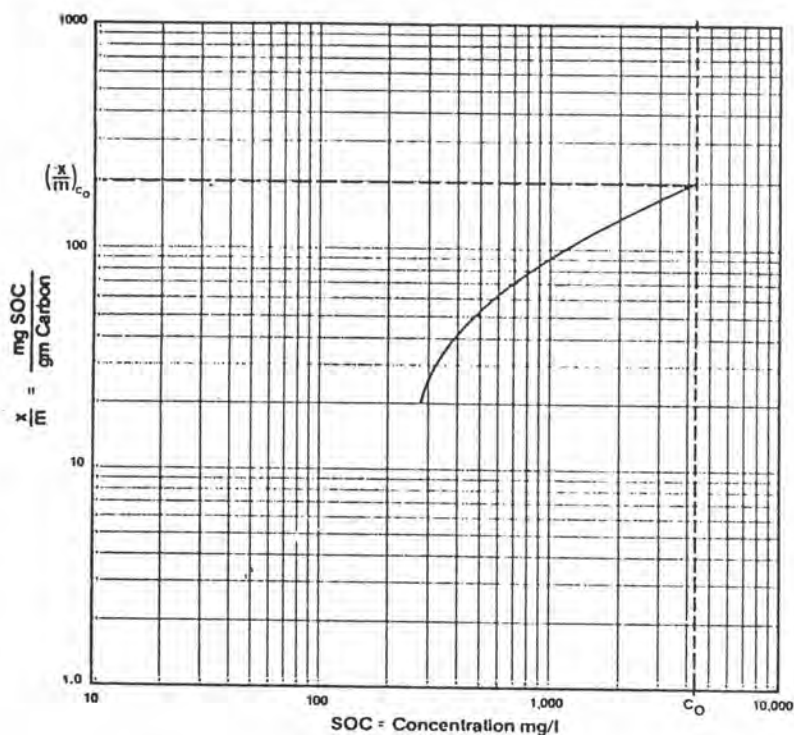


รูป 2.32 ไอโซเทอมการดูดติดผิวของกรดพอลิวิกที่มีมวลโมเลกุลต่างกัน



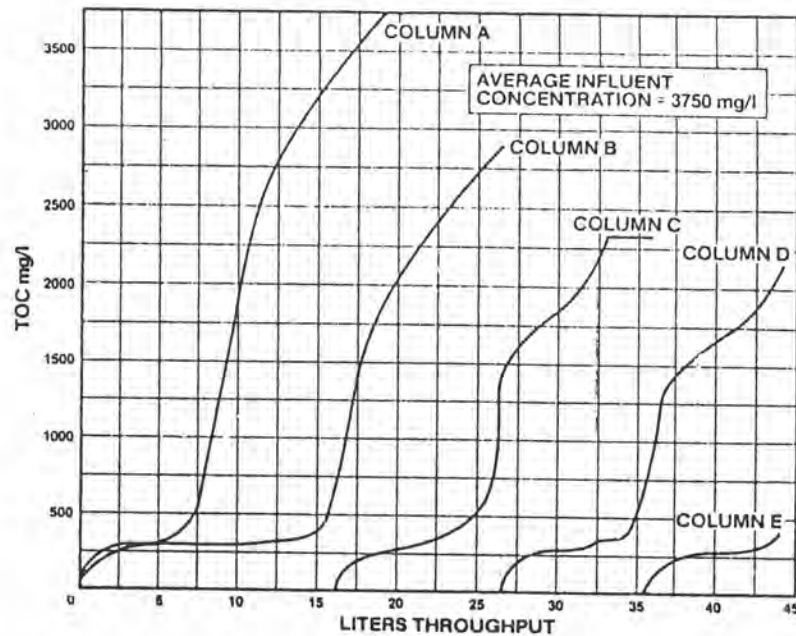
รูป 2.33 ไอโซเทอมการดูดติดผิวของกรดฮิวมิกที่มีมวลโมเลกุลต่างกัน

McDougall, Fusco และ O'Brien (1980) ศึกษากระบวนการดูดติดผิวโดยการทดสอบไอโซเทอม ผลที่ได้ดังรูป 2.34 ซึ่งวัดในรูปของคาร์บอนอินทรีย์ละลาย (Soluble Organic Carbon, SOC) พบว่าสามารถกำจัด SOC ได้มากกว่า 92% ถ้าออกแบบระบบได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ยังแสดงว่าความจุการดูดติดผิวสูงสุดของคาร์บอนเท่ากับ 200 มก.SOCต่อกรัมของคาร์บอนที่ความเข้มข้นน้ำเข้า 4,200 มก./ล.



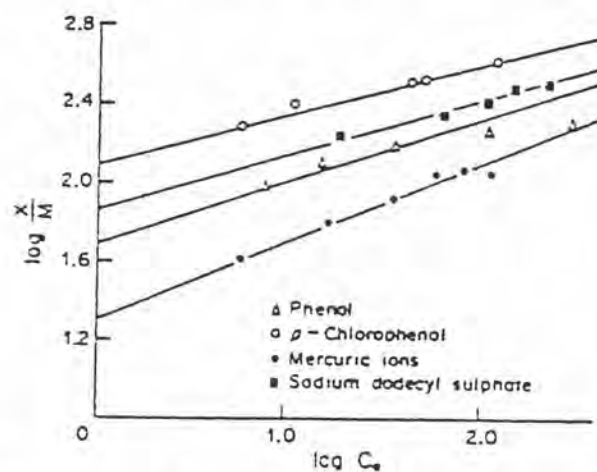
รูป 2.34 การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิว

จากนั้นศึกษาการดูดติดผิวแบบแท่งโดยใช้ท่อแก้ว 2 แท่ง ความสูงแต่ละแท่ง 1.2 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 25.4 มม. จำนวนถ่านกัมมันต์ 265 กรัม ต่อกันแบบอนุกรม โดยจะได้เวลาสัมผัส 300 นาทีต่อถัง ผลที่ได้แสดงดังรูป 2.35 ค่าเฉลี่ยน้ำออกจากถังสองประมาณ 250 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัด TOC 93.3% และอัตราการใช้คาร์บอนโดยประมาณเท่ากับ 0.034 กก./ล.



รูป 2.35 การศึกษาการดูดติดผิวแบบแท่งโดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง TOC กับปริมาณน้ำที่ผ่านการบำบัด

McKay, Bino และ Altameni (1985) ศึกษาถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 400 ดูดติดผิว Phenol, p-chlorophenol, Mercuric ions และ Sodium dodecyl sulphate โดยมีความสามารถดูดติดผิว 213, 434, 35 และ 361 มก./ล.ตามลำดับ ซึ่งการทดลองได้ศึกษาไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช โดยใช้ขนาดถ่าน 0.5-0.71 มม. และใช้เวลาสัมผัส 2 วันในการเข้าสู่สมดุล ดังแสดงในรูป 2.36

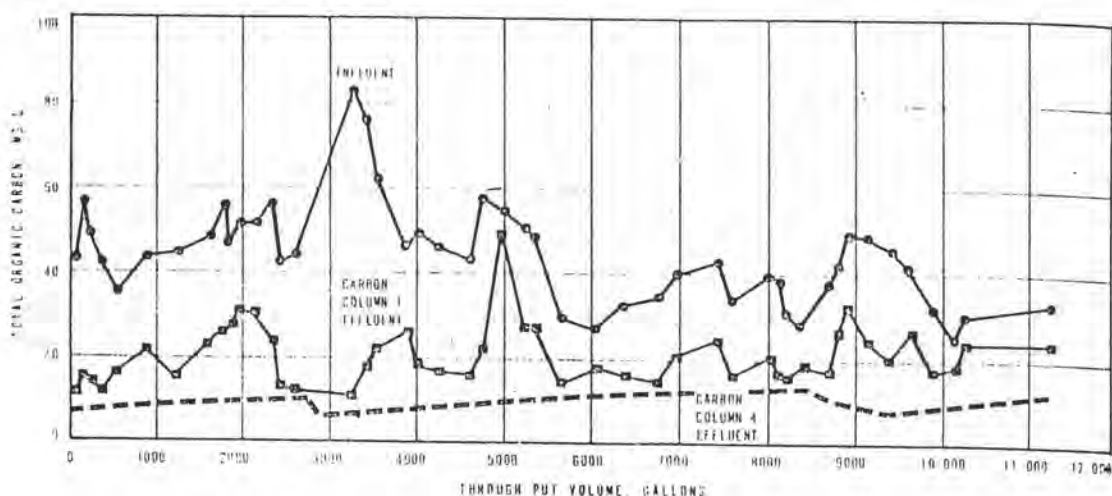


รูป 2.36 ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของ Phenol , p-chlorophenol , Mercuric ions และ Sodiumdodecyl sulphate

Ou (1989) ได้ทำการศึกษาการดูดซับด้วย ใช้ดินเป็นสารดูดซับ ซึ่งดินเหนียวสามารถลดทีโอซี และสีจากน้ำชะมูลฝอยได้ 92% และ 99% ตามลำดับ โดยใช้อัตราการระบายน้ำ 5 ซม. / วัน (0.2 ม./ชม.) โดยมีความสูงชั้นดิน 1 เมตร

Peel และ Benedek (1983) ศึกษาการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพบนผิวถ่านกัมมันต์ โดยสรุปว่า การย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพจะเกิดขึ้นเมื่อมีออกซิเจนเพียงพอ และการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพโดยใช้ออกซิเจนจากสารอนินทรีย์จะเกิดขึ้นน้อยมาก

Peoples, Krishnan และ Simonsen (1972) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นน้ำมัน โดยผ่านกระบวนการกรองทรายเพื่อทำการกำจัดสารแขวนลอย และน้ำมัน จากนั้นจึงผ่านกระบวนการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์ Filtraorb 300(8x30 mesh) โดยใช้ถังดูดซับ 4 ถังต่ออนุกรม โดยถังแรกมีความสูง 0.9 เมตรที่เหลือสูง 1.5 เมตรทำให้ได้ความสูงทั้งหมด 5.5 เมตร โดยป้อนน้ำเสียเข้าด้วยอัตรา 146 ลิตร/นาที่/ม² ซึ่งจะได้เวลาสัมผัสครั้งแรก 6 นาที และ 10 นาที ในแต่ละถังที่เหลือรวมเวลาสัมผัสทั้งหมด 36 นาที ประสิทธิภาพของระบบทั้งหมด ซึ่งวัดในรูปทีโอซี แสดงดังรูป 2.37 ผลแสดงว่าน้ำออกในถัง 4 มีความเข้มข้นทีโอซีประมาณ 10 มก./ล. และประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดสารอินทรีย์ น้ำมัน และฟีนอล แสดงดังตาราง 2.21 โดยค่าเฉลี่ยในการกำจัด SS, BOD₅, FSUOD, TOC, Oil และ Phenol เท่ากับ 62, 85, 83, 65, 85 และ 99%ตามลำดับ



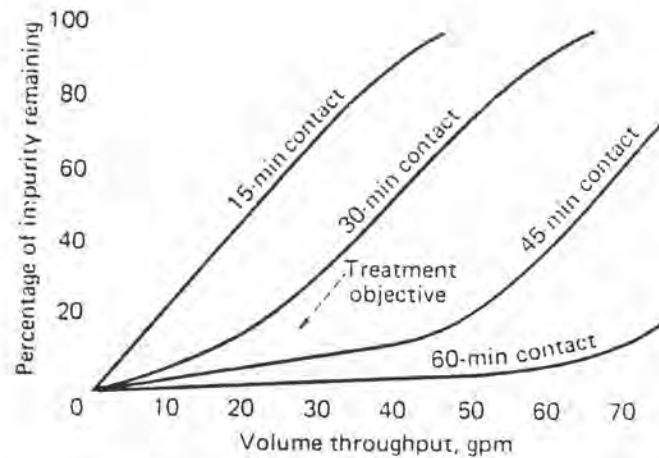
รูป 2.37 น้ำออกที่ผ่านการบำบัดโดยถังดูดซับด้วยดินเหนียวโดยวัดในรูปทีโอซี

ตาราง 2.21 ผลสรุปของประสิทธิภาพของระบบคาร์บอน

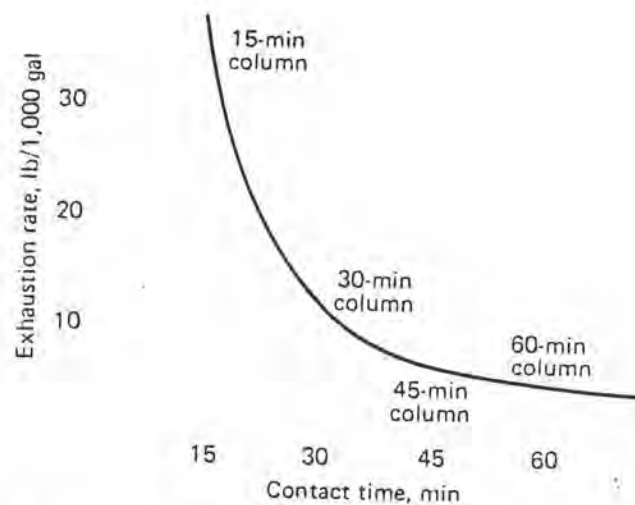
Contaminants	Concentration (mg/l)				Removal (%)	
	Influent to Column 1		Effluent from Column 1		Range	Average
	Range	Average	Range	Average		
SS	3-20	8	1-15	3	0-90	62
BOD ₅	20-54	36	3-10	5	77-91	85
FSUOD	42-84	57	5-17	9	81-90	83
TOC	25-61	37	10-17	13	52-80	65
Oil	7.5-17.2	12.3	0.8-2.5	1.8	77-96	85
Phenol	0.35-6.8	2.7	0-0.1	0.02	89-100	99

Rizzo (1971) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตยาปราบศัตรูพืชที่มีความเข้มข้นของพีโนลิกสูงถึง 200 mg/l สามารถบำบัดได้โดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่ง โดยบรรจุถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 400 โดยมีเวลาสัมผัส 140 นาที ผลพบว่าความเข้มข้นของพีโนลิกในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าน้อยกว่า 1 mg/l และได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นน้ำมันที่มี COD อยู่ใน ช่วงระหว่าง 250-450 mg/l ในการทดลองสามารถบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์ Filtrasorb โดยใช้เวลาสัมผัสประมาณ 50 นาที ซึ่งสามารถลด COD ได้น้อยกว่า 37 mg/l จนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด สามารถปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ นอกจากนี้ได้ศึกษากระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่ง ใช้เวลาสัมผัส 45 นาที สามารถบำบัดน้ำเสียที่ทิ้งจากโรงงานย้อมสีพรม จากสีอินทรีย์ซึ่งซ่อนความเข้มข้น 200 mg/l จนกระทั่งไม่เหลือสี และสารอินทรีย์ละลายในน้ำที่ผ่านการบำบัด

Rizzo และ Shepherd (1977) กล่าวว่า เวลาสัมผัสที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับอัตราที่ซึ่งสารปนเปื้อนถูกดูดติดผิวโดยคาร์บอน ซึ่งสามารถกำหนดได้โดยการทดสอบชลศาสตร์ของถังดูดติดผิวเท่านั้น ซึ่งจากเบรคทรูจจะทำให้ทราบถึงปริมาณน้ำเสียที่สามารถบำบัดได้ ดังนั้นจึงทำให้ทราบถึงอัตราการใช้คาร์บอน (น้ำหนักของคาร์บอนที่ใช้ต่อปริมาตรของน้ำเสียที่บำบัด) ด้วยข้อมูลนี้จึงสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ของอัตราการใช้คาร์บอน กับเวลาสัมผัสแสดงดังรูป 2.38 และรูป 2.39



รูป 2.38 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ กับเวลาสัมผัส



รูป 2.39 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้คาร์บอน กับเวลาสัมผัส

Syed และ Walter (1994) แสดงผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยซึ่งใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่งโดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดติดผิว สามารถลดซีโอดีได้ 59% โดยใช้เวลาสัมผัส 45 นาที ซึ่งมีซีโอดีเริ่มต้น 7,213 มก./ล. และอัตราส่วน BOD/COD เท่ากับ 0.75 และยังกล่าวอีกว่า น้ำชะมูลฝอยที่มีความคงตัวมีอัตราส่วน BOD/COD น้อยกว่า 0.1 จะสามารถใช้ถ่านกัมมันต์ลด COD ได้สูงถึง 70%

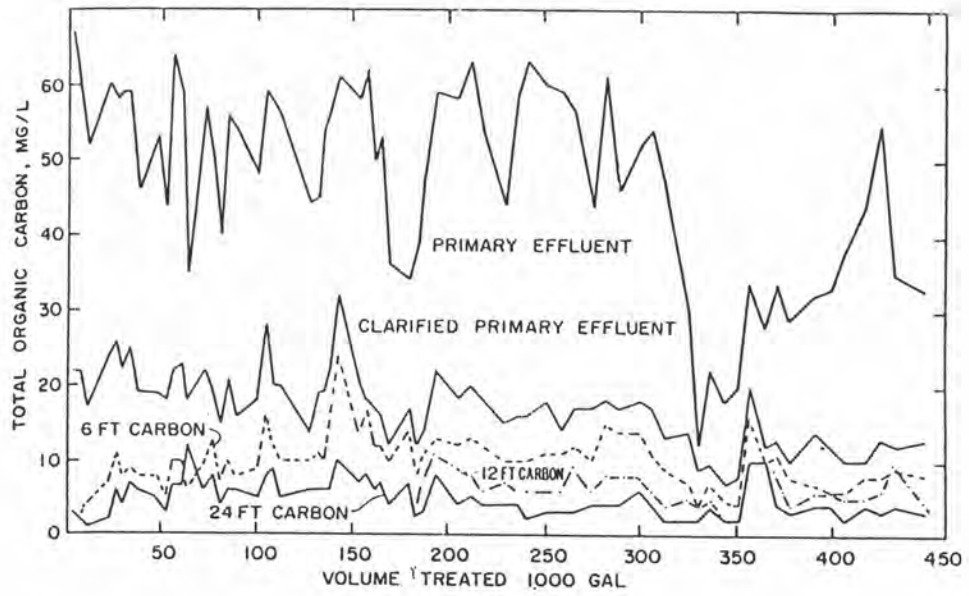
Tebbutt และ Bahiah (1977) กล่าวว่า โดยทั่วไปข้อมูลไอโซเทอมใช้สำหรับทำนายความจุการดูดติดผิวโดยลงข้อมูลในกราฟลือกาลิทึม และขยายเส้นกราฟไปยังความเข้มข้นเริ่มต้น ซึ่งโดยทั่วไปเป็นการประมาณที่เหมาะสม แต่ในบางกรณีจุดข้อมูลที่เส้นไอโซเทอมผ่านมีน้อย และถ้าจุดเหล่านี้ครอบคลุมเพียงบางส่วนของข้อมูล ซึ่งเมื่อขยายเส้นกราฟแล้วจะทำให้ได้ค่าความจุการดูดติดผิวที่ไม่ถูกต้อง โดยเฉพาะเมื่อใช้ปริมาณคาร์บอนน้อย ทำให้ค่าแนวโน้มเส้นไอโซเทอมที่ได้แตกต่างจากความเป็นจริง และถึงแม้ว่าข้อมูลที่ใช้ในกราฟไอโซเทอมจะสมบูรณ์ แต่ในการขยายเส้นกราฟนั้น ความจุในการดูดติดผิวทางทฤษฎีที่ใช้ทำนายนั้นยังไม่มีความสัมพันธ์ที่ดีกับค่าความจุการดูดติดผิวที่วัดได้จริง ซึ่งโดยส่วนใหญ่ค่าความจุทางทฤษฎีมีค่ามากกว่าค่าความจุที่วัดได้

Tofflemire, Hetling และ Shuster (1973) ทดลองบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงด้วยถ่านกัมมันต์โดยใช้ถังดูดติดผิว ซึ่งใช้ถ่าน Filtrasorb 300 ขนาดตะแกรง 8/30 สามารถลดซีโอดีได้ 45% และ 75.8% ที่เวลาสัมผัส 15 และ 60 นาทีตามลำดับ และได้ศึกษาถ่าน Filtrasorb 400 ขนาดตะแกรง 12/40 สามารถลดซีโอดีได้ 55.4% ที่เวลาสัมผัส 95 นาที แสดงดังตาราง 2.22

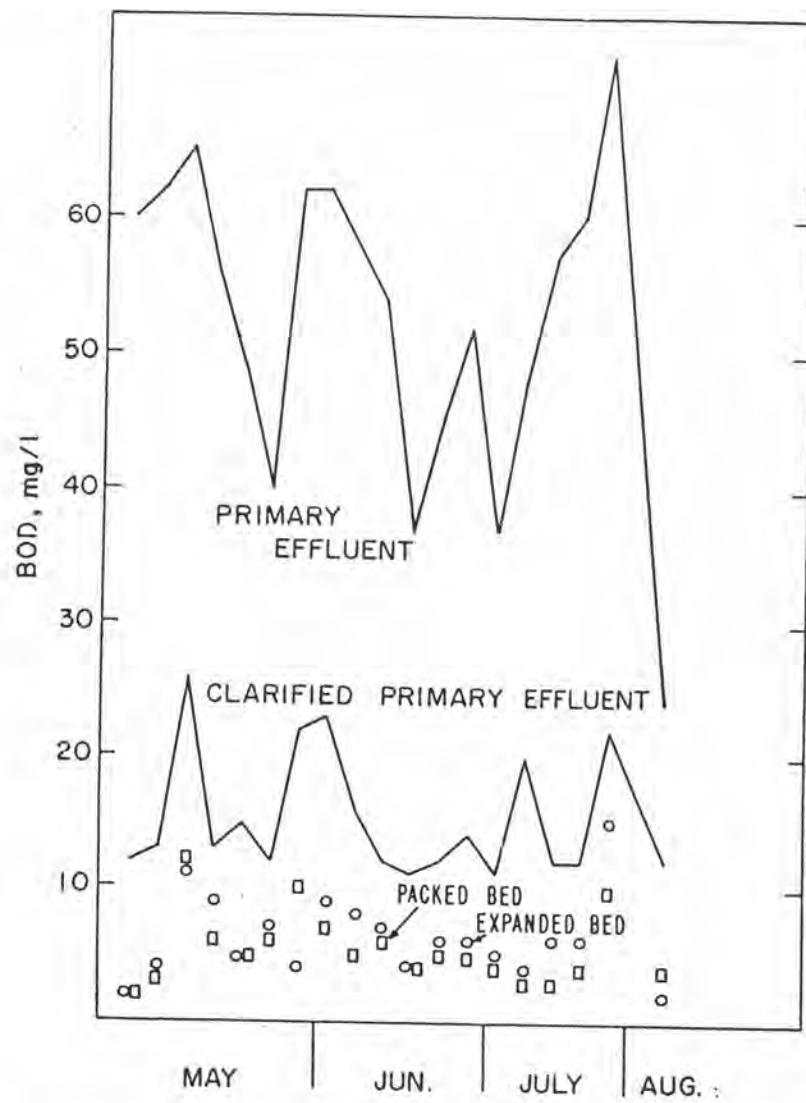
ตาราง 2.22 ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของถังดูดติดผิว

Parameter	Laboratory Columns		Pilot Plant Columns		Upflow
	First 2	All 5	First	All 5	Column
Coagulation pH	9.6	9.6	10.2	10.2	10.3
Sand filter before columns	No	No	No	No	Yes
Influent total COD (mg/l)	218	218	187	187	157
Total COD removal (%)	45.0	75.8	-	55.4	50.2
Soluble COD removal (%)	-	-	28.6	55.7	46.4
Effluent total COD (mg/l)	98	53	-	85	78
Total contact time (min)	15	60	19	95	10.6
Carbon loading (lb soluble COD/lb carbon)	0.4	0.137	0.68	0.264	0.254
Backwash frequency	1/day	1/day	1/wk	1/wk or month	1/day

Weber, Hopkins และ Bloom (1970) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นโดยใช้กระบวนการบำบัดทางเคมีกายภาพ ซึ่งประกอบด้วยถังตกตะกอน และถังดูดติดผิวแบบแบ่ง โดยพบว่าสามารถลด TOC และ BOD ได้สูงถึง 95-97% แสดงดังรูป 2.40 และ 2.41



รูป 2.40 การกำจัด TOC โดยกระบวนการตกตะกอน และกระบวนการดูดซับคาร์บอน



รูป 2.41 การกำจัด BOD โดยกระบวนการตกตะกอน และกระบวนการดูดซับชีวต่ออนุกรมกัน

Ying และ Weber (1979) กล่าวว่า กระบวนการดูดซับชีวโดยถ่านกัมมันต์ สามารถกำจัดสารประกอบที่ยากในการย่อยสลายโดยชีวภาพ เช่น สารพิษได้ดี