บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบอาร์บีซี

2.1 วิวัฒนาการของระบบอาร์บีซี

วรวุฒิ ชัยศิริรัตน์ (2531) ได้รายงานความเป็นมาของระบบอาร์บีซีว่า แนวความคิดของระบบอาร์บีซีได้เริ่มขึ้นเมื่อปี คศ.1900 ในประเทศเยอรมันนีโดย Weigand ได้สร้างอาร์บีซีซึ่งประกอบด้วยทรงกระบอกบรรจุแผ่นไม้ แต่ไม่ได้ทำการทดลองบำบัดน้ำเสีย ต่อมาในปี คศ.1930 Bach และ Imhoff ได้ใช้ระบบดังกล่าวทดลองบำบัดน้ำเสีย แต่ก็ประสบกับปัญหาการอุดตันของระบบ ส่วนทางด้านอเมริกา Malby ได้ประดิษฐ์กงล้อชีวภาพ (biological wheel) ขึ้นในปี คศ.1929 ประกอบด้วยกงล้อหลายอัน แต่การทดลองบำบัดน้ำเสียไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร จนกระทั่งในปี คศ.1960 ระบบอาร์บีซีชุดแรก จึงได้มีโอกาสใช้ในการบำบัดน้ำเสียจริง ๆ และใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในยุโรป และอเมริกา สำหรับในประเทศอเมริกาได้มีการผลิตระบบอาร์บีซีออกสู่ตลาดภายใต้ชื่อว่าไบโอดิสซ์ (bio disc) เมื่อปี คศ.1969 และต่อมาในปี คศ. 1971 บริษัท Autotrol ได้พัฒนาแผ่นตัวกลางเป็นแบบมีลอนทำจากโพลีเอทธิลีน ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวของแผ่นตัวกลางเพิ่มจาก 62.33 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร เป็น 121.37 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร หลังจากการพัฒนาดังกล่าวการใช้ระบบอาร์บีซีในการบำบัดน้ำเสียจึงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยในปัจจุบันมีระบบนี้ในประเทศอเมริกามากกว่า 550 แห่ง

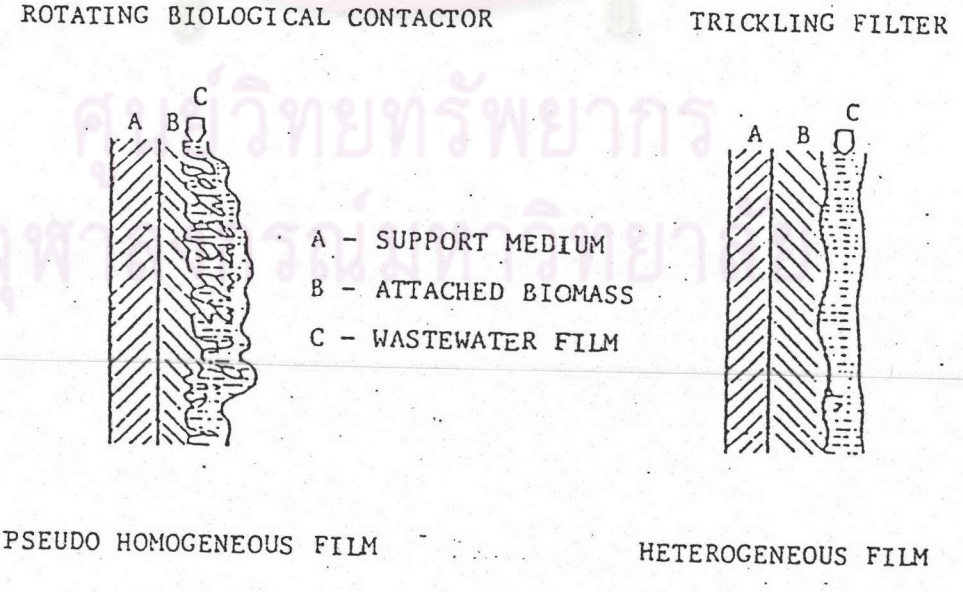
สำหรับในประเทศไทย ชาญชัย วิฑูรบัญญากิจ (2530) รายงานว่าได้มีการทดลองใช้ระบบอาร์บีซีขนาดห้องปฏิบัติการกับน้ำเสียประเภทต่าง ๆ มาเป็นเวลามากกว่า 10 ปี แต่ระบบอาร์บีซีขนาดใหญ่ ได้มีการนำมาใช้กับน้ำเสียจาก บริษัท สหยูเนี่ยน จำกัดเป็นครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2524 เพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารและหอพัก เป็นอาร์บีซีขนาดรับปริมาณน้ำเสียได้ 300 ลูกบาศก์เมตร/วัน

สำหรับการใช้ระบบอาร์บีซีเพื่อบำบัดน้ำเสียจากชุมชน (domestic waste) อื่น ๆ นั้น ขณะนี้ได้มีการติดตั้งแล้วหลายแห่ง เช่นระบบบำบัดน้ำเสียรวมเมืองพัทยา ระบบบำบัดน้ำเสียสำนักงานธนาคารไทยพานิชย์ ศาลแขวงพระนครเหนือ โรงพยาบาลชุมชนหนองจอก ส่วนครัวพระราชวังสวนจิตรลดา(ส่วนนอก) และโรงพยาบาลพญาไท 2 เป็นต้น

2.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอาร์บีซี

ระบบอาร์บีซีเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยาโดยกระบวนการทางชีวเคมีแบบใช้ออกซิเจนวิธีหนึ่ง ระบบนี้มีหลักการทำงานเหมือนระบบโปรยกรอง แต่เปลี่ยนตัวกลางจากอยู่กับที่มาเป็นตัวกลางที่เคลื่อนที่ได้ ซึ่งสามารถแก้ปัญหาการอุดตันเนื่องจากการสะสมของตะกอนจุลชีพตามช่องว่างระหว่างตัวกลางได้ และการหมุนของตัวกลางในระบบอาร์บีซีเป็นผลให้เมือกจุลชีพที่เกาะอยู่มีผิวขรุขระกว่าของระบบโปรยกรอง (รูปที่ 2.1) ซึ่งจะทำให้เมือกจุลชีพมีพื้นที่ผิวเพื่อรับสารอาหารและออกซิเจนได้มากกว่า อีกทั้งการหมุนของตัวกลางทำให้น้ำเสียส่วนที่สัมผัสกับผิวของเมือกจุลชีพมีการไหลแบบ turbulence เป็นผลให้สารอินทรีย์และออกซิเจนละลายเข้าสู่ส่วนในของเมือกจุลชีพได้ดีกว่า

ระบบอาร์บีซีประกอบด้วยแผ่นตัวกลางจำนวนมากเรียงซ้อน และห่างกันพอประมาณบนเพลากลาง เพลากลางจะหมุนในแนวนอนผ่านเฟืองทดรอบอย่างช้า ๆ เพื่อป้องกันการหลุดของเมือกจุลชีพ การหมุนนี้ยังทำหน้าที่เป็นเครื่องเติมอากาศด้วยเนื่องจากตัวกลางที่อยู่ในน้ำเมื่อถูกทำให้หมุนรอบตัวเองจะทำให้ส่วนที่จมอยู่ในน้ำเสียขึ้นมาสัมผัสกับอากาศเพื่อรับออกซิเจนไปใช้ในการเจริญเติบโตของจุลชีพ และเปลี่ยนส่วนของตัวกลางที่อยู่ในอากาศลงไปสัมผัสกับน้ำเสียเพื่อทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียสลับกันไป ทำให้รักษาสภาพกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนอยู่ได้



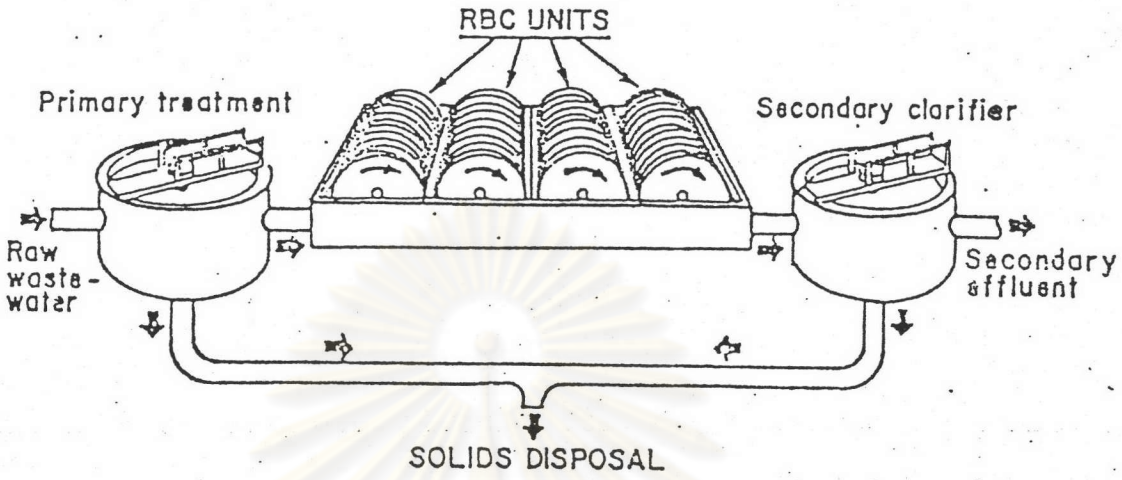
รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบการเกาะของจุลชีพในระบบอาร์บีซี และระบบโปรยกรอง

หลังจากเดินเครื่องเป็นเวลาประมาณ 1-2 สัปดาห์จุลชีพต่าง ๆ จะเริ่มเกาะติดผิวของแผ่นตัวกลาง นอกจากนี้การหมุนของเพลายังเป็นผลให้เมือกจุลชีพเจริญเติบโตมากขึ้นความหนาของเมือกจุลชีพจะเพิ่มขึ้นอีก และความหนาของเมือกจุลชีพจะแปรผันตามค่าบีโอดีของน้ำเสียในแต่ละตอน ดังนั้นจะพบว่าตอนแรก ๆ จะมีความหนาของเมือกจุลชีพมากกว่าตอนหลัง ๆ เมื่อเวลาผ่านไปเมือกจุลชีพจะเจริญเติบโตมากขึ้นเรื่อย ๆ อีกทั้งความแข็งแรงของจุลชีพลดลงเนื่องจากอายุนานขึ้นหรือเข้าสู่ endogenous phase ออกซิเจนจากบรรยากาศไม่สามารถแทรกถึงชั้นในของเมือก ทำให้จุลชีพด้านในไม่สามารถรับออกซิเจนได้เมือกจะหลุดออกจากตัวกลางเนื่องจากน้ำหนักของตัวมันเอง และแรงเฉือนระหว่างเมือกจุลชีพกับน้ำเสียในถังปฏิกิริยาขณะแผ่นตัวกลางหมุนรอบตัวเองตกลงสู่ส่วนล่างของถังปฏิกิริยา และแขวนลอยอยู่ได้ด้วยแรงกวนของแผ่นตัวกลางจนกว่าจะไหลออกไปสู่ถังตกตะกอนต่อไป (Antonie, 1976)

เนื่องจากระบบอาร์บีซีเป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง ดังนั้นน้ำเสียก่อนเข้าระบบต้องผ่านการบำบัดขั้นเตรียมการ (preliminary treatment) เพื่อแยกเอาผง กรวด หรือทรายออกเสียก่อน มิฉะนั้นถ้าปล่อยให้น้ำเสียเข้ามายังถังปฏิกิริยาของอาร์บีซี ซึ่งมีอัตราการไหลช้าพวกอนุภาค (particles)ต่าง ๆ จะตกตะกอนในถังปฏิกิริยาของระบบทำให้เกิดปัญหาในการทำงานได้ (วีราวรรณ ปัทมาภิรัต, 2532) และเมื่อสารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกกำจัดออกโดยจุลชีพในระบบอาร์บีซีแล้วจะไหลออกสู่ถังตกตะกอนอีกใบหนึ่งน้ำเสียส่วนนี้จะมีเมือกจุลชีพส่วนเกินไหลหลุดออกมาด้วยและเมือกจุลชีพเหล่านี้จะตกตะกอนได้ดี

สำหรับขั้นตอนของกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอาร์บีซีมีดังนี้คือ ขั้นตอนแรกเป็นการกำจัดสิ่งต่าง ๆ ที่ไหลปะปนมากับน้ำเสียซึ่งสามารถตกตะกอนได้โดยให้น้ำเสียไหลผ่านถังตกตะกอนก่อนไหลเข้าสู่ระบบอาร์บีซี ในช่วงนี้จะสามารถลดบีโอดีและเอสเอสของน้ำเสียได้ค่าหนึ่ง และเมื่อสารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกกำจัดออกโดยจุลชีพในระบบอาร์บีซีแล้วจะไหลลงสู่ถังตกตะกอนอีกใบหนึ่งดังรูปที่ 2.2 ซึ่งน้ำเสียส่วนนี้จะมีเมือกจุลชีพส่วนเกินไหลหลุดออกมาด้วย และสลัดจ์ที่เกิดขึ้นสามารถตกตะกอนได้ดี ซึ่งเมื่อใช้กำจัดน้ำเสียจากชุมชนจะได้ค่าความเข้มข้นของสลัดจ์ประมาณ 3-4 % และสลัดจ์แขวนลอยในถังปฏิกิริยาอยู่ระหว่าง 50-200 มิลลิกรัม/ลิตร สลัดจ์ที่เกิดขึ้นนี้ต้องนำไปกำจัดต่อไปโดยอาจนำไปถมที่ หรือเป็นอาหารสัตว์

การบำบัดน้ำเสียโดยจุลชีพของระบบอาร์บีซีนั้น ในตอนแรก ๆ จะเป็นการกำจัดบีโอดี ซีโอดี เอสเอส ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสูงกว่า 80 % และเมื่อค่าบีโอดีของน้ำเสียลดลงน้อยกว่า 14-30 มิลลิกรัม/ลิตร ในตอนหลัง ๆ จะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่น พีเอชของน้ำเสียในช่วงนี้ควรมีค่าเท่ากับ 8.0-8.5 อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียสเพื่อให้กระบวนการนี้เกิดโดยสมบูรณ์ (Antonie, 1976)



รูปที่ 2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอาร์บีซี

2.3 <u>กระบวนการทางชีวเคมี</u>

ลักษณะการเปลี่ยนรูปของสารต่าง ๆ ที่เกิดโดยอาศัยปฏิบัติการทางชีวเคมี มี 3 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2525)

2.3.1 การกำจัดสารละลายอินทรีย์ โดยใช้ให้เป็นอาหารของจุลชีพที่เพาะเลี้ยงในถังปฏิกิริยา ส่วนหนึ่งของคาร์บอนที่อยู่ในสารอินทรีย์จะกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และที่เหลือจะนำไปสร้างเซลใหม่ของจุลชีพ คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นเป็นกาซซึ่งออกสู่บรรยากาศได้ง่าย ส่วนเซลจุลชีพสามารถแยกออกจากน้ำได้โดยวิธีตกตะกอน อาจจะมีสารอินทรีย์ตกค้างอยู่บ้าง แต่ถือว่าเป็นสารเฉื่อยที่ไม่ย่อยสลายอีกแล้ว จุลชีพที่ต้องการออกซิเจนเหมาะสำหรับใช้กำจัดสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 50-4,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปของซีโอดีที่ย่อยสลายได้ ถ้าซีโอดีที่ย่อยสลายได้ต่ำกว่า 50 มิลลิกรัม/ลิตร ควรใช้วิธีเคมี-ฟิสิกส์มากกว่า เช่นวิธีดูดติดผิวด้วยคาร์บอนกัมมันต์ (activated carbon adsorption) จึงจะประหยัดกว่า ส่วนกรณีที่ซีโอดีที่ย่อยสลายได้สูงกว่า 4,000 มิลลิกรัม/ลิตร ควรใช้ระบบการหมักแบบไร้ออกซิเจน เพื่อลดซีโอดีที่ย่อยสลายได้ลงให้ต่ำกว่า 4,000 มิลลิกรัม/ลิตรเสียก่อนแล้วจึงใช้ระบบที่ต้องการออกซิเจน

ช่วยลดซีโอดีที่ย่อยสลายได้อีกทีหนึ่ง แต่ถ้าค่าซีโอดีที่ย่อยสลายได้ของสารอินทรีย์สูงเกินกว่า 50,000 มิลลิกรัม/ลิตรแล้ว วิธีการระเหยและการเผาอาจจะประหยัดกว่าวิธีอื่น ๆ อนึ่งต้องตระหนักว่า ความเข้มข้นที่พูดถึงนี้เป็นความเข้มข้นในรูปสารละลาย ถ้าน้ำเสียมีตะกอนแขวนลอยของสารอินทรีย์แล้ว มักจะพบว่าการกำจัดตะกอนออกก่อนด้วยวิธีทางกายภาพและเคมีผสมกันจะประหยัดและง่ายกว่าที่จะใช้ระบบทางชีวเคมีเพียงอย่างเดียว

2.3.2 การสร้างเสถียรภาพ (stability)ให้กับตะกอนอินทรีย์ ไม่ว่าจะเป็นจุลชีพหรือไม่ก็ตาม มักกระทำโดยไม่ใช้ออกซิเจน ผลสุดท้ายของปฏิกิริยาของการสร้างเสถียรภาพนี้จะเป็นของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์ซึ่งไม่สามารถย่อยสลายโดยจุลชีพได้อีกแล้ว สารอินทรีย์เหล่านี้มีลักษณะคล้ายทรากผุพัง (humus) นอกจากผลปฏิกิริยาที่ได้ดังกล่าวแล้วการสร้างเสถียรภาพยังให้กาซมีเธน ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงได้อีกด้วย อนึ่งการสร้างเสถียรภาพให้กับตะกอนอินทรีย์อาจใช้ปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจนก็ได้ และวิธีการนี้กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน

2.3.3 การเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ เช่น ไนตริฟิเคชั่นซึ่งเป็นปฏิบัติการชีวเคมีในการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรท ดีไนตริฟิเคชั่นสามารถเปลี่ยนไนเตรทให้เป็นกาซไนโตรเจน การเปลี่ยนรูปของซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์ สำหรับการกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสียต้องอาศัยปฏิบัติการชีวเคมีสองอย่างต่อเนื่องกันคือไนตริฟิเคชั่น และดีไนตริฟิเคชั่น จึงจะได้ผลอย่างสมบูรณ์

2.4 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างจุลชีพ (microbial interaction)

ระบบปฏิบัติการชีวเคมีในการบำบัดน้ำเสียประกอบด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ (microbial community) ที่มีโครงสร้างเป็นจุลชีพประเภทต่าง ๆ หลายชนิด ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้หากได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะน้ำเสีย หรือของสภาวะแวดล้อมที่มันเจริญเติบโตอยู่ ถ้าน้ำเสียมีลักษณะที่เหมาะสมต่อการเติบโตของจุลชีพหลาย ๆ ชนิดประชากรจุลินทรีย์ (microbial population)ก็จะสามารถปรับตัวเองได้ดีต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมที่เกิดขึ้น ทำให้อาจกล่าวได้ว่าระบบมีเสถียรภาพดี แต่อย่างไรก็ดีภายใต้สถานะการณ์บางอย่างโครงสร้างของกลุ่มจุลชีพอาจถูกจำกัดทำให้การตอบสนองการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของระบบเกิดขึ้นไม่ดีเท่าที่ควรหรืออาจจะกล่าวว่าระบบไม่มีเสถียรภาพนั่นเอง การบังคับและควบคุมระบบที่ไม่มีเสถียรภาพกระทำได้ยาก ด้วยเหตุนี้เราสามารถกล่าวได้ว่ากลุ่มจุลชีพซึ่งประกอบด้วยประชากรจุลินทรีย์หลาย ๆ ประเภทอาศัยอยู่รวมกันจัดเป็นระบบนิเวศน์ที่แข็งแกร่งและสมบูรณ์ สามารถต้านทานและปรับตัวเองได้ดีในการสนองตอบต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่รับผิด

ชอบต่อการมีเสถียรภาพของระบบปฏิบัติการชีวเคมี เป็นผลที่เกิดมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างจุลชีพต่าง ๆ ซึ่งสามารถจำแนกเป็น 3 ประเภทดังนี้

2.4.1 ปฏิสัมพันธ์แบบเป็นกลาง (neutral interaction) มีไม่บ่อยนักที่พบว่าประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ จะมีปฏิสัมพันธ์แบบเป็นกลางคือไม่สร้างผลกระทบให้แก่จุลชีพทั้งสองฝ่าย กรณีที่อาจเป็นไปได้คือจุลชีพสองชนิดมีความต้องการสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิงจนกระทั่งทั้งคู่ไม่มีการแข่งขันหรือแย่งอะไรกันเลย จุลชีพที่จะแสดงความเป็นกลางนี้ควรเป็นประเภทที่ไม่มีความสัมพันธ์อะไรกันเลยมากกว่าพวกที่ใกล้ชิดกัน ทั้งนี้เพราะประเภทหลังมีโอกาสที่จะแย่งสับสเตรท (substrate) กันมากกว่า

2.4.2 ปฏิสัมพันธ์แบบช่วยเหลือกัน (benevolent interaction)คือความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นโดยฝ่ายหนึ่งได้รับประโยชน์ แต่อาจให้ประโยชน์ตอบแทนแก่อีกฝ่ายหนึ่งหรือไม่ก็ได้ ปฏิ-สัมพันธ์แบบช่วยเหลือกันที่พบกันบ่อยมี 2 ชนิดคือ

2.4.2.1 Commensalism เกิดเมื่อจุลชีพชนิดหนึ่งได้ประโยชน์ฝ่ายเดียวโดยไม่กระทบกระเทือนต่อจุลชีพอีกชนิดหนึ่ง ตัวอย่างเช่นจุลชีพบางชนิดย่อยเซลลูโลสให้กลายเป็นกลูโคสที่จุลชีพชนิดอื่นสามารถนำเอากลูโคสไปใช้เป็นสารอาหารได้ หรือจุลชีพที่สามารถสร้าง growth factor หรือสารอาหารได้ดายสารดังกล่าวสู่สิ่งแวดล้อมให้จุลชีพอีกชนิดซึ่งไม่สามารถสร้างสารดังกล่าวดึงเอาไปใช้ได้ หรือ facultative bacteria ดึงออกซิเจนจากสิ่งแวดล้อมไปใช้จนหมดทำให้ obligate anaerobic bacteria เจริญเติบโตได้และ facultative bacteria ก็สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ เพราะมันสามารถอยู่ได้ทั้งในที่ ๆ มีออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจนก็ได้

2.4.2.2 Mutualism เป็นปฏิสัมพันธ์ที่จุลชีพทั้งสองฝ่ายได้รับประโยชน์ทั้งคู่ ตัวอย่างเช่น จุลชีพทั้งสองชนิดไม่สามารถสร้าง growth factor ขึ้นมาใช้เองได้แต่ทั้งคู่อาจสร้างสารดังกล่าวให้แก่กันและกันได้ การอยู่ร่วมกันของแบกทีเรียและสาหร่ายในบ่อบำบัดน้ำเสีย แบกทีเรียจะออกซิไดซ์สารอินทรีย์ทำให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนของสาหร่าย ส่วนสาหร่ายก็จะให้ออกซิเจนแก่แบกทีเรียเพื่อใช้ในการหายใจ

2.4.3 ปฏิสัมพันธ์แบบเป็นศัตรูกัน (antagonistic interaction) เป็นความสัมพันธ์ที่ฝ่ายหนึ่งให้ร้ายกับอีกฝ่ายหนึ่ง ปฏิสัมพันธ์แบบนี้มีตั้งแต่การแก่งแย่งกันจนถึงการเป็นผู้ล่าและเหยื่อ strict competition หมายถึงการที่จุลชีพทั้งสองชนิดต้องการสิ่งร่วมกันซึ่งมีอยู่จำนวนน้อยและจำกัด แม้ว่าผลสุดท้ายจุลชีพตัวหนึ่งจะเป็นตัวหลักหรือตัวสำคัญกว่าแต่มันก็ไม่ได้ทำอันตรายโดยตรงแก่จุลชีพอีกชนิดหนึ่ง สถานการณ์เช่นนี้ได้ถูกศึกษาในห้องทดลองโดยใช้ระบบถังกวนสมบูรณ์ ปรากฏว่าจุลชีพพวกที่สามารถเติบโตได้รวดเร็วที่ระดับความเข้มข้นของอาหารเท่าที่

มีอยู่ทำให้จุลชีพพวกอื่นสูญหายไปจากระบบ ส่วน pure competition มักเกิดขึ้นบ่อย ๆ กับจุลชีพต่าง ๆ ที่มีธรรมชาติของการเจริญเติบโตคล้ายคลึงกัน เช่นมีความต้องการในด้านสภาวะแวดล้อมคล้ายคลึงกัน ตัวอย่างของความสัมพันธ์คือ facultative bacteria ดึงออกซิเจนออกไปจากน้ำจนหมดทำให้ obligate aerobe ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ สาหร่ายในแหล่งน้ำสร้างออกซิเจนให้กับแหล่งน้ำทำให้ obligate anaerobe ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ จุลชีพบางชนิดสร้างสารที่เป็นพิษต่อจุลชีพอีกชนิดหนึ่ง เช่นสารปฏิชีวนะ แอลกอฮอล กรด เอนไซมน์บางชนิด และการที่จุลชีพขนาดใหญ่กว่าใช้จุลชีพขนาดเล็กกว่าเป็นอาหาร เป็นต้น

ความรู้เรื่องปฏิสัมพันธ์แบบต่าง ๆ ดังกล่าวนี้จะช่วยให้ผู้ออกแบบและควบคุมระบบปฏิบัติการชีวเคมีเข้าใจถึงความสัมพันธ์ต่าง ๆ อย่างลึกซึ้ง เพื่อนำไปใช้ในการพิจารณาร่วมกับโมเดลต่าง ๆ เนื่องจากโมเดลทางจลศาสตร์ของปฏิบัติการชีวเคมียังไม่ถึงขั้นที่สามารถอธิบายถึงความสำคัญและบทบาทของปฏิสัมพันธ์ระหว่างจุลชีพต่าง ๆ ได้

2.5 ลักษณะสมบัติ และชนิดของจุลชีพในเมือกจุลชีพของระบบอาร์บีซี

สารอินทรีย์ในน้ำเสียเมื่อระบายลงแหล่งน้ำธรรมชาตินั้น สามารถถูกย่อยสลายโดยกระบวนการทางชีววิทยา (self-purification process) จุลชีพที่สามารถทำลายสารอินทรีย์อาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือจุลชีพที่ลอยในน้ำ (suspended microorganism) และเมือกจุลชีพที่เกาะบนผิวกรวด หิน ทรายต่าง ๆ บนผิวพื้นก้นแหล่งน้ำ และพบว่าสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกย่อยทำลายโดยเมือกจุลชีพนี้ หลักการนี้ได้นำมาประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียอย่างกว้างขวาง เช่น ระบบโปรยกรอง ระบบอาร์บีซี

ลักษณะสมบัติเมือกจุลชีพ ที่เกาะบนผิววัสดุต่าง ๆ นั้นขึ้นกับองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น ชนิดของสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสียนั้น ๆ ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่าน ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ ลักษณะผิวด้วกลางที่เมือกจุลชีพเกาะ เป็นต้น โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดย่อ ๆ ดังนี้ (สุเมธ ชวเดช, 2530)

2.5.1 ระบบนิเวศน์ของเมือกจุลชีพ ในระบบบำบัดน้ำเสียเมือกจุลชีพประกอบด้วยจุลชีพหลายชนิดอยู่ร่วมกัน ประเภท และจำนวนจุลชีพต่าง ๆ ในเมือกจุลชีพจะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิ ลักษณะการไหลของน้ำในระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

ระบบนิเวศวิทยาของระบบอาร์บีซีจากผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่า ลักษณะของเมือกจุลชีพจะมีลักษณะที่แตกต่างกันตามระยะเวลาการกักเก็บ และตอนของระบบอาร์บีซี เช่นในกรณี

ที่ภาระอินทรีย์สูง ๆ เมือกจุลชีพที่เกิดในตอนแรก ๆ ของระบบจะมีสีขาว-เทา ตอนถัดมาจะเป็นสีน้ำตาลอ่อน และในตอนสุดท้ายจะมีสีน้ำตาลเข้ม สำหรับชนิดของจุลชีพที่พบในชั้นแอโรบิกประกอบด้วยแบกทีเรียเป็นส่วนใหญ่ โดยแบกทีเรียจำนวนมากเป็นพวกเส้นยาว (filamentous bacteria) ได้แก่ Beggiatoa sp. นอกจากนี้ยังมีแบกทีเรียอื่น ๆ อีกเช่น Escherichia coli. Aerobacter sp. Zoogioea ramingera และ Sphaerotilus natans. และยังพบพวกหนอน (nematode) บนผิวเมือกจุลชีพ ส่วนชั้นในซึ่งเป็นสภาพแอนนาโรบิกประกอบด้วยแบกทีเรียรูปร่างกลมสั้น (rod-shaped bacteria) เหตุผลที่ชั้นนอกเมือกจุลชีพประกอบด้วยแบกทีเรียพวกเป็นเส้นยาวเป็นจำนวนมาก เนื่องจากแบกทีเรียพวกนี้จะสามารถเกาะติดและแย่งอาหารได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแบกทีเรียกลุ่มอื่น เซลแบกทีเรียที่พบมีขนาด 0.5-10 ไมครอน นอกจากนี้ยังพบรา สัตว์เซลเดียวพวก stalked ciliate, protozoa, free swimming ciliate และ Rotifer

2.5.2 การเกาะ และการหลุด (microbial attachment and sloughing) แบกทีเรียสามารถเกาะบนผิววัสดุต่าง ๆ ได้ไม่ว่าผิววัสดุนั้นจะมีลักษณะอย่างไรแต่จะเกาะได้ดีถ้าผิววัสดุมีความหยาบ โดยแบกทีเรียจะสร้างเส้นใยซึ่งมีขนาดเล็กรอบตัว เซลเส้นใยเหล่านี้จะเกาะจับกันแน่นกับเส้นใยของเซลอื่นทำให้แบกทีเรียเหล่านี้สามารถเกาะติดหนาเป็นเมือก (ภาพที่ 2.1) เส้นใยเหล่านี้เรียกว่า Glycocalyx ซึ่งเป็นสารพวก Polysaccharide หรือเป็นพวกโมเลกุลน้ำตาลที่มีกิ่ง (branching sugar molecules) และ Glycoproteins จะอยู่ในลักษณะเกี่ยวพันกันแน่นทำให้ดูเหมือนว่าเซลแบกทีเรียจมตัวและถูกฝังในสารละลาย Polysaccharide นี้ ดังนั้นปริมาตรรวมของเซลแบกทีเรียเหล่านี้ในเมือกจุลชีพจึงน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรทั้งหมด ในเส้นใยเหล่านี้จะเป็นที่เก็บน้ำย่อยที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ให้เล็กลง และสามารถละลายน้ำได้ก่อนที่จะถูกดูดซึมผ่านผนังเซลแบกทีเรียต่อไป

สำหรับการหลุดของเมือกจุลชีพขึ้นกับองค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่าน และปริมาณออกซิเจนละลาย จากผลการทดลองที่ผ่านมา พบว่าอัตราการหลุดของมวลจุลชีพแปรผันโดยตรงกับความเร็วรอบของแผ่นตัวกลางในระบบอาร์บีซี และความหนาของเมือกจุลชีพจะแปรผกผันกับความเร็วรอบ

2.5.3 องค์ประกอบทางเคมี เมือกจุลชีพประกอบด้วยน้ำสูงถึง 87-96 % โดยน้ำหนักและมีของแข็งที่ระเหยได้ (volatile solids) ต่ำเพียง 1.9-3.2 % เท่านั้นส่วนประกอบเคมีสามารถเขียนเป็นสูตรเคมีเป็น $C_5H_7O_2N$ นอกจากนี้เมือกจุลชีพยังประกอบด้วยสารอนินทรีย์ในปริมาณน้อยได้แก่ Ca,Mg,Fe, เป็นต้น โดยปริมาณสารอนินทรีย์ในเมือกจุลชีพขึ้นกับความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ในน้ำเสีย

2.5.4 ความหนาแน่นจุลชีพ เนื่องจากเมือกจุลชีพประกอบด้วยน้ำถึง 87-96 % และเซลจุลชีพในเมือกจุลชีพยังประกอบด้วยน้ำถึง 90 % ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะของเมือกจุลชีพจึงใกล้เคียงกับค่าของน้ำ ความหนาแน่นของจุลชีพนี้สามารถวัดเป็นจำนวนหรือน้ำหนักแห้งโดยความหนาแน่นจุลชีพของเมือกจุลชีพขึ้นกับสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่นความเร็วน้ำที่ไหลผ่าน อัตราภาระอินทรีย์ (organic loading rate) อุณหภูมิและชั้นความหนาของเมือกจุลชีพ เมือกจุลชีพจะมีความหนาแน่นจุลชีพสูงขึ้นเมื่อความเร็วน้ำที่ไหลผ่านสูงขึ้น และอัตรารับสารอินทรีย์สูงขึ้นและเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นจุลชีพจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิ จากการศึกษาพบว่าเมือกจุลชีพมีจำนวนจุลชีพสูงถึง 10^{4}-10^{8} ตัว/ลูกบาศก์เซนติเมตร นอกจากนี้ความหนาแน่นจุลชีพในเมือกจุลชีพยังขึ้นกับถังปฏิกิริยาที่ใช้ ความหนาของเมือกจุลชีพแสดงดังตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าความหนาแน่นจุลชีพในชั้นที่อยู่ใกล้พื้นผิวตัวกลางที่เกาะ (ความหนาน้อย) จะมีค่าสูงกว่าชั้นที่อยู่ถัดออกไป

ภาพที่ 2.1 เส้นใย Glycocalyx เกาะพันระหว่างเซลแบกทีเรียในเมือกจุลชีพ

(สุเมธ ชวเดช, 2530)

2.5.5 ค่าสัมประสิทธิ์แพร่ซึม การถ่ายเทมวลของทั้งสารอินทรีย์และออกซิเจนจากน้ำเสียไปยังเซลแบกทีเรียภายในเมือกจุลชีพนั้นเป็นกระบวนการแพร่ซึม(molecular diffusion) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$N = \frac{-Dds}{dy}$$

โดยที่ N = อัตราการแพร่ซึมมวล , M/L^2t

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ซึม, L^2/t

S = ความเข้มข้นสารอินทรีย์, M/L^3

y = ระยะทางถ่ายเทมวล, L

ตารางที่ 2.1 ความหนาแน่นจุลชีพในเมือกจุลชีพในถังปฏิกิริยา และความหนาต่าง ๆ (สุเมธ ชวเดช, 2530)

Density (mgTSS /ml)	Fixed film thickness (μm)	Type of reactor	References
90	<300	Rotating annular submerged drum	Konegay & Andrews(1970)
37.5	100-3,800	Rotating tube	Tomlinson & Snaddon(1966)
111	200	Rotating cylinder	Hoehn & Ray(1973)
20	>200	Rotating cylinder	Hoehn & Ray(1973)
669	28-183	Submerged-packed column	Namkung et al.(1983)

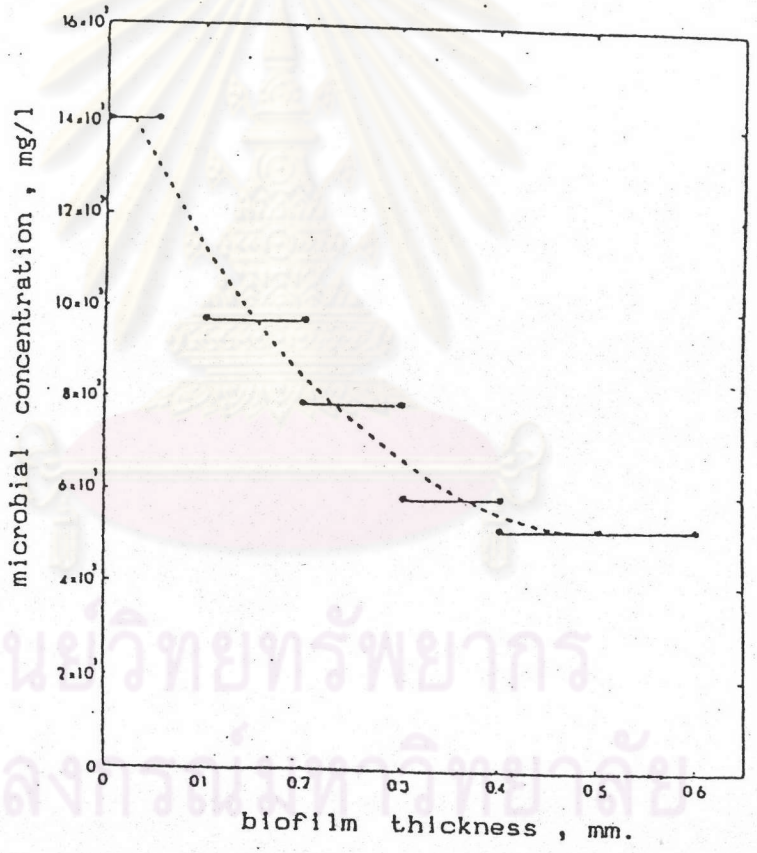
ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึมของสารต่าง ๆ ในเมือกจุลชีพจึงมีความสำคัญต่อการคำนวนเพื่อประเมินประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์โดยระบบบำบัดแบบใช้เมือกจุลชีพ ค่าสัมประสิทธิแพร่ซึมของสารในเมือกจุลชีพจะไม่เท่ากับค่าในน้ำ ดังนั้นจึงมีการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึมในเมือกจุลชีพ ได้ผลสรุปดังนี้คือ

สำหรับเมือกจุลชีพที่ไม่ว่องไว (inactive) จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึมประมาณ 80 % ของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึมในน้ำบริสุทธิ์ ส่วนเมือกจุลชีพที่อยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียหรือ

018722

ถังปฏิกิริยาที่ใช้ทดลองซึ่งเป็นเมือกจุลชีพที่ว่องไว (active) และอยู่ในสภาพเป็นจริงธรรมชาติ จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึมประมาณ 50 % ของค่าสัมประสิทธิ์แพร่ซึมในน้ำบริสุทธิ์ เพราะฉนั้น จึงควรใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึมของสารต่าง ๆ ในเมือกจุลชีพประมาณ 50 % ของค่าสัมประสิทธิ์แพร่ซึมในน้ำบริสุทธิ์

2.5.6 กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ไหลผ่านระบบบำบัดแบบเมือกจุลชีพนั้นเป็นกระบวนการถ่ายเทมวล และปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดพร้อมกัน ขั้นตอนกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์โดยจุลชีพในเมือกจุลชีพมีดังนี้ (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.3 ความหนาแน่นจุลชีพในเมือกจุลชีพที่ชั้นความหนาต่าง ๆ(สุเมธ ชวเดช, 2530)

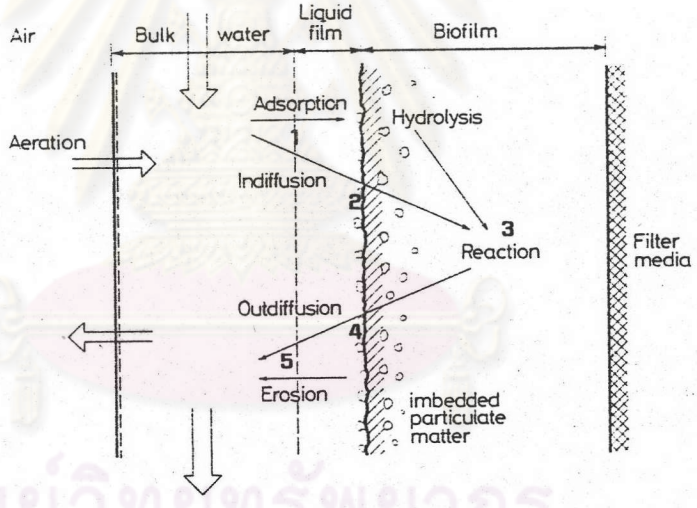
2.5.6.1 เกิดการถ่ายเทมวลของสารอาหาร และออกซิเจนละลายจากน้ำเสียสู่ช่วงต่อระหว่างของเหลว และเมือกจุลชีพ

2.5.6.2 เกิดการถ่ายเทมวลของสารอาหาร และออกซิเจนละลายจากน้ำเสียจากช่วงต่อระหว่างของเหลว และเมือกจุลชีพสู่เมือกจุลชีพ

2.5.6.3 เกิดการย่อยสลายสารอาหารแบบใช้ออกซิเจนโดยเซลของจุลชีพในเมือกจุลชีพ

2.5.6.4 เกิดการถ่ายเทมวลของผลผลิต คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำจากเมือกจุลชีพสู่ช่วงต่อระหว่างของเหลว และเมือกจุลชีพ

2.5.6.5 เกิดการถ่ายเทมวลของผลผลิต คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำจากช่วงต่อระหว่างของเหลว และเมือกจุลชีพสู่น้ำเสีย



รูปที่ 2.4 ขั้นกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยจุลชีพในระบบอาร์บีซี (Arvin และ Harremoes, 1990)

2.6 องค์ประกอบที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอาร์บีซี

2.6.1 ความเร็วรอบในการหมุนแผ่นตัวกลาง เป็นปัจจัยสำคัญเพราะมีอิทธิพลต่อการถ่ายเทออกซิเจนและสัมประสิทธิ์ของระบบอาร์บีซี ถ้าความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจะทำให้เพิ่มจำนวนครั้งของการสัมผัสระหว่างจุลชีพกับน้ำเสีย เพิ่มการกวนน้ำเสียในถังปฏิกิริยา และเพิ่มอัตราการ

เติมอากาศ ซึ่งทั้งหมดจะเป็นผลทำให้มีการเพิ่มระดับความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำเสียและเป็นการกระตุ้นให้ออกซิเจนและสับสเตรทในน้ำเสียเจาะลึกเข้าไปในเมือกจุลชีพ ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดสับสเตรทจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วของตัวกลาง แต่ผลของการเพิ่มความเร็วรอบมีขีดจำกัดถึงระดับหนึ่งเท่านั้น ถ้าเพิ่มความเร็วรอบเหนือระดับดังกล่าวจะไม่มีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพต่าง ๆ และยังเปลืองพลังงานโดยเปล่าประโยชน์อีกด้วย แต่ถ้าความเร็วรอบช้ามากเกินไปจะเป็นผลให้เกิดแรงเฉือนระหว่างเมือกจุลชีพและน้ำเสียในถังปฏิกิริยามีไม่เพียงพอที่จะทำให้เมือกจุลชีพส่วนเกินหลุดออกเป็นผลให้แผ่นตัวกลางมีเมือกจุลชีพอยู่หนาเกินไป (พิพัฒน์ ภูริปัญญาคุณ, 2523)

จากการทดลองในปี คศ.1969 ของ US.EPA โดยใช้แผ่นตัวกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.75 เมตร พบว่าอัตราการหมุน 3.2 รอบ/นาที คิดเป็นความเร็วในแนวเส้นรอบวงเท่ากับ 1.83 เมตร/นาที เป็นความเร็วที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียจากชุมชน

2.6.2 ปริมาณออกซิเจนละลาย ประสิทธิภาพของระบบอาร์บีซีจะดีขึ้นเมื่อมีออกซิเจนละลายเพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพจะลดลงถ้ามีออกซิเจนละลายไม่เพียงพอโดยทั่วไปไม่ควรต่ำกว่า 0.5-1.0 มิลลิกรัม/ลิตร (แม้ว่าออกซิเจนละลายต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร จะไม่มีผลต่ออัตราการเกิดเมตาบอลิซึมก็ตาม) การเพิ่มออกซิเจนละลายในถังปฏิกิริยาถือว่าไม่มีความจำเป็นเพราะออกซิเจนละลายจะถึงจุดอิ่มตัวในทันทีที่แผ่นตัวกลางหมุนขึ้นสัมผัสกับบรรยากาศเว้นแต่เมื่อตอนแรกของระบบอาร์บีซีต้องรับภาระอินทรีย์สูง ๆ อาจต้องพิจารณาเติมเพิ่มได้เป็นครั้งคราว

2.6.3 อัตราการรับภาระ (loading rate) เนื่องจากอัตราการทำลายสารอาหารในรูปของบีโอดีของระบบอาร์บีซีแปรผันตามความเข้มข้นของสารอาหารที่เข้าสู่ระบบ (first order characteristic) ดังนั้นการกำหนดภาระอินทรีย์ของระบบอาร์บีซีจะเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปมักแสดงในรูปภาระปริมาตร (volumetric loading) หรือภาระพื้นผิว (surface loading) ซึ่งมีการทดลองหาค่าที่เหมาะสมกับระบบเพื่อให้ได้ค่าน้ำทิ้งที่ลงสู่แหล่งน้ำอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้พบว่าค่าภาระปริมาตรไม่ควรเกิน 3.4 กิโลกรัมบีโอดี/ลูกบาศก์เมตร.วัน หรือ 4.0 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร.วัน ส่วนค่าภาระพื้นผิวไม่ควรเกิน 6.0 กรัมบีโอดี/ตารางเมตร.วัน และในตอนแรกไม่ควรเกิน 31.3 กรัมบีโอดี/ตารางเมตร.วัน หากสูงเกินขีดจำกัดนี้แล้วจุลชีพที่ออกซิไดซ์ซัลไฟด์ เช่น Beggiatoa sp. จะเกิดขึ้นในระบบมีผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียลดลง (พิพัฒน์ ภูริปัญญาคุณ, 2523)

2.6.4 พื้นที่ผิวของแผ่นตัวกลาง การเพิ่มพื้นที่ผิวมีผลโดยตรงกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและทำให้ระบบมีออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อจำนวนตะกอนแขวนลอยในน้ำเสียที่ออกจากระบบ ซึ่งการใช้แผ่นตัวกลางที่มีผิวมาก ๆ จะทำให้ราคาก่อสร้าง

อุปกรณ์ต่าง ๆ และการใช้ที่ดินลดลงอย่างมาก (Antonie, 1976)

2.6.5 จำนวนตอนของอาร์บีซี (staging) การใช้อาร์บีซีหลายชุดต่อกันอย่างอนุกรมจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงกว่ามีเพียงชุดเดียว ทั้งนี้เนื่องจากการที่อาร์บีซีมีหลายชุดต่อกันจุลชีพที่เกิดบนผิวตัวกลางแต่ละชุดจะมีคุณสมบัติเหมาะสมกับความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่ไหลผ่านอาร์บีซีในชุดนั้น ๆ ทำให้การกำจัดสารอินทรีย์โดยจุลชีพได้ผลเต็มที่และการที่อาร์บีซีมีการกำจัดสารอินทรีย์แบบที่เชื่อกันว่าเป็นแบบปฏิกิริยาลำดับ 1 (1 st.order reaction)การมีอาร์บีซีหลายชุดต่อกันอย่างอนุกรมจะทำให้ปฏิกิริยาเข้าใกล้แบบ plug flow มากขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในอาร์บีซีชุดแรก ๆ จะมากกว่าในชุดถัดไป แต่อย่างไรก็ตามเมื่อคิดประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ทั้งระบบ ระบบอาร์บีซีที่มีหลายตอนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบที่มีขนาดใหญ่ตอนเดียว (Antonie, 1976)

จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้ภาระชลศาสตร์เท่ากันโดยอยู่ระหว่าง 24.57-122.85 ลูกบาศก์เมตร/ตารางเมตร.วัน และมีพื้นที่ผิวของตัวกลางเท่ากัน ระบบอาร์บีซีแบบ 4 ตอนจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีได้ดีกว่าแบบ 2 ตอน และถ้าเพิ่มเป็น 6 ตอนก็ยังคงมีประสิทธิภาพใกล้เคียง 4 ตอน แต่จะมีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อใช้ภาระชลศาสตร์มากกว่า 122.85 ลูกบาศก์เมตร/ตารางเมตร.วัน (Antonie, 1976) และบริษัทผู้ผลิตระบบอาร์บีซีในประเทศสหรัฐอเมริกาได้แนะนำในการกำหนดจำนวนตอนดังแสดงในตารางที่ 2.2 (ศุภมิตร จันทร์คำอ้าย , 2532)

2.6.6 อุณหภูมิของน้ำเสีย ปกติอุณหภูมิระหว่าง 13-30 องศาเซลเซียสจะไม่มีผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ และโดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 20-30 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิของน้ำเสียต่ำกว่า 13 องศาเซลเซียสประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์จะลดลงอย่างรวดเร็ว (Antonie, 1976) ดังนั้นเมื่อน้ำเสียมีอุณหภูมิต่ำอาจแก้ไขโดยการออกแบบให้มีภาระชลศาสตร์ต่ำหรือเพิ่มอัตราส่วนของปริมาตรถังต่อพื้นที่ผิวตัวกลางให้มากขึ้นและต้องมีค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากอุณหภูมิเพื่อใช้ในการคำนวนหาพื้นที่ผิวของตัวกลางที่ต้องสร้างเพิ่มขึ้นจากเดิมในกรณีน้ำเสียมีอุณหภูมิต่ำ

2.6.7 การมีส่วนย่อยตะกอน ซึ่งสร้างไว้ตอนล่างของถังปฏิกิริยาทำหน้าที่รองรับเมือกจุลชีพที่หลุดออกจากแผ่นตัวกลางเหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีอาหารเสริมไม่เพียงพอเนื่องจากจะมีการหมุนเวียนของอาหารเสริมพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากปฏิกิริยาการย่อยสลายตะกอนในส่วนย่อยตะกอนมายังน้ำเสียได้ แต่มีข้อเสียคือกาซที่เกิดขึ้นในส่วนย่อยตะกอนจะพยุงตะกอนเบาให้ลอยขึ้นและไหลออกจากระบบทำให้น้ำทิ้งมีตะกอนแขวนลอยมาก (พิพัฒน์ ภูริปัญญาคุณ, 2523)

ตารางที่ 2.2 คำแนะนำในการกำหนดจำนวนตอนของอาร์บีซีโดยผู้ผลิตในอเมริกา (ศุภมิตร จันทร์คำอ้าย, 2532)

บริษัท Autotrol (Envirex)		บริษัท Clow	บริษัท Lyco	
soluble BOD ของน้ำทิ้ง , มก./ล.	จำนวนตอนขั้นต่ำ		การลดบีโอดีรวม (%)	จำนวนตอน
> 25	1		40	1
15-25	1 หรือ 2	อย่างน้อย	35 - 65	2
10-15	2 หรือ 3	4 ตอน	60 - 85	3
< 10	3 หรือ 4		80 - 95	4

2.6.8 การหมุนเวียนของน้ำทิ้ง ในระบบโปรยกรองมีการหมุนเวียนน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วเข้าสู่ระบบอีกเพื่อ (WPCF, 1976)

- ลดความเข้มข้นของสับสเตรทของน้ำเสียดิบที่จะเข้าระบบบำบัด
- เพิ่มภาระปริมาตรเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมของมวลจุลชีพบริเวณตัวกลางชั้นบนอันเป็นสาเหตุให้เกิดการอุดตัน
- ในช่วงเวลาที่น้ำเสียมีปริมาณน้อย การหมุนเวียนน้ำทิ้งจะเป็นการลดเวลาการเก็บกักน้ำของบ่อสูบทำให้ไม่เกิดสภาวะไร้อากาศซึ่งก่อปัญหาเรื่องกลิ่น เนื่องจากระบบอาร์บีซีมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับระบบโปรยกรองจึงน่าจะใช้กับระบบอาร์บีซีได้ เพื่อวัตถุประสงค์เดียวกัน จากการทดลองของ Poon และ Chao (1979) ในการใช้ระบบอาร์บีซีในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีคลอไรด์สูง พบว่าการหมุนเวียนน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดร้อยละ 100-150 ของน้ำเสียดิบทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น

2.6.9 ปริมาณส่วนที่จมน้ำของตัวกลาง เพื่อให้ระบบอาร์บีซีมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด พื้นที่ผิวของแผ่นตัวกลางส่วนที่จมอยู่ใต้น้ำควรมีค่าประมาณ 40-50 % ของพื้นที่ผิวของแผ่นตัวกลางทั้งหมด (WPCF, 1977)

2.7 ข้อดีและข้อเสียของระบบอาร์บีซี

2.7.1 ง่ายเมื่อเริ่ม และสะดวกในการเดินระบบ การเริ่มต้นเดินระบบอาร์บีซีจะใช้เวลาประมาณ 1-2 สัปดาห์เพื่อสร้างเมือกจุลชีพบนแผ่นตัวกลางให้มากเพียงพอสำหรับการบำบัดน้ำเสียและในการเดินระบบจะไม่ต้องมีการสูบสลัดจ์กลับ ไม่ต้องควบคุมสัดส่วนของแบกทีเรียในน้ำเสียเหมือนระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ทำให้ง่าย และสะดวกต่อผู้ดูแลระบบสามารถกำจัดน้ำเสียที่มีบีโอดีไม่สม่ำเสมอได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ระยะเวลาในการ Acclimatization ของระบบอาร์บีซีสั้นเพียง 1 สัปดาห์เท่านั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้บุคคลากรที่ชำนาญงานมากเหมือนระบบอื่น ๆ (ชาญชัย วิฑูรปัญญากิจ, 2530)

2.7.2 ง่ายในการบำรุงรักษา ระบบอาร์บีซีใช้เครื่องจักรกลที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน การหมุนแผ่นตัวกลางใช้ชุดขับเคลื่อนอย่างง่าย ๆ ส่วนประกอบต่าง ๆ ถูกออกแบบให้มีอายุการใช้งานนาน การบำรุงรักษาจึงเพียงแต่ตรวจ เปลี่ยนน้ำมันเครื่องและน้ำมันหล่อลื่นเท่านั้น ดังนั้นจึงง่ายในการบำรุงรักษา

2.7.3 ต้องการพลังงานน้อย เนื่องจากแผ่นตัวกลางมีน้ำหนักเบาและหมุนช้าทำให้เกิดแรงเสียดทานบนแกนหมุนค่อนข้างต่ำ ทำให้ต้องการพลังงานเพียงเพื่อเอาชนะแรงเสียดทานที่เกิดจากการหมุนของแผ่นตัวกลางในน้ำเสียเท่านั้น จากการศึกษาพบว่าระบบอาร์บีซีต้องการพลังงานเพียง 1/5 ถึง 1/3 ของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ หรือต้องการพลังงานน้อยกว่าระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ถึง 70 % และได้มีการคำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบอาร์บีซีพบว่าการลดบีโอดีลง 95 % ต้องการพลังงานไฟฟ้าเพียง 10 กิโลวัตต์/แกลลอน/วัน และในการเกิดไนตริฟิเคชั่นพร้อมทั้งลดบีโอดีลง 95 % ต้องการพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 60 กิโลวัตต์/แกลลอน/วัน ซึ่งน้อยกว่าระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ 25-30 % แต่มากกว่าระบบโปรยกรอง ในอเมริกามีการศึกษาความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของระบบอาร์บีซีพบว่าถ้าพลังงานที่วัดได้จริงเฉลี่ยไม่เกิน 2 กิโลวัตต์/เพลา หรือประมาณ 2.64 วัตต์/ลูกบาศก์เมตร/วันคิดเป็น 30 % ของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์เท่านั้น (ชาญชัย วิฑูรปัญญากิจ, 2529, 2530)

2.7.4 ลักษณะสลัดจ์ที่เกิดขึ้น สลัดจ์ที่เกิดขึ้นจะมีมากเช่นเดียวกับระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ แต่สลัดจ์ของระบบอาร์บีซีที่เกิดจากการหลุดของเมือกจุลชีพจะมีความเข้มข้นสูง มีความหนาแน่นทำให้มีน้ำหนักมากจึงจมตัวง่าย ถังตกตะกอนจึงไม่จำเป็นต้องมีขนาดใหญ่เหมือนระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ และการกำจัดตะกอนเหล่านี้ด้วย Thickener และ Digester ก็ไม่จำเป็นต้องมีขนาดใหญ่ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนต่ำกว่าระบบอื่น ๆ และในระบบนี้มีตะกอนส่วนเกินประมาณ 0.1-0.5 กรัม/กรัมบีโอดีที่ถูกกำจัด (ชาญชัย วิฑูรปัญญากิจ,2529)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.7.5 ความสามารถในการรับปริมาณน้ำเสียและความทนทานต่อภาวะผิดปกติโดยเฉียบพลัน (shock loading) โดยที่ระบบอาร์บีซีมีจุลชีพที่เกิดเป็นแบบเมือก ดังนั้นจึงสามารถทนต่อภาวะผิดปกติโดยเฉียบพลันของน้ำเสียได้ดีกว่าระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ และระบบโปรยกรอง จากการทดลองพบว่าระบบอาร์บีซีสามารถรับภาระได้ถึง 3.4 กิโลกรัมบีโอดี/ลูกบาศก์เมตรของถังปฏิกิริยา.วัน ซึ่งมีค่าประมาณ 3-7 เท่าของความสามารถปกติของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ และประมาณ 40-60 เท่าของระบบโปรยกรอง (พิพัฒน์ ภูริปัญญาคุณ, 2523) ทั้งนี้เพราะเมือกจุลชีพที่อยู่บนตัวกลางจะสามารถย่อยสลับสเตรทในน้ำเสียได้จำนวนหนึ่งอย่างสม่ำเสมอไม่ว่าจะอยู่ในสภาพใดก็ตามทำให้การทำงานของระบบอาร์บีซีสามารถคืนตัวสู่สภาพปกติเนื่องจากภาวะผิดปกติโดยเฉียบพลันได้โดยเร็ว

2.7.6 ความประหยัดในการบำรุงรักษา ความต้องการเวลาในการดูแลรักษาระบบค่อนข้างต่ำ ระบบอาร์บีซีขนาดต่ำกว่า 15 เพลาใช้คนดูแลเพียง 1 คนชั่วโมง/เพลา/สัปดาห์เท่านั้น (ชาญชัย วิฑูรปัญญากิจ,2530)

2.7.7 อุปกรณ์ราคาแพง อาร์บีซีที่ผลิตสำเร็จรูปมักใช้แผ่นตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวมาก 2 ชนิดคือ Standard Density Media และ High Density Media ทำจากโพลีเอทธิลีน อีกทั้งยังต้องการเพลาขนาดใหญ่เพื่อที่จะสามารถรับน้ำหนักจุลชีพได้ จึงทำให้อุปกรณ์ราคาแพง

2.7.8 ต้องสร้างหลังคาป้องกันฝน ในบริเวณที่มีฝนตกชุกน้ำฝนอาจทำให้เกิดการชะล้างเมือกจุลชีพออกจากผิวของแผ่นตัวกลางทำให้ระบบล้มเหลวจึงต้องมีการสร้างหลังคาคลุมไว้ทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น

2.7.9 ขีดจำกัดในการเติมออกซิเจนให้กับน้ำเสีย ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของอาร์บีซีทำให้ต้องมีขีดจำกัดในด้านความเข้มข้นของน้ำเสีย ถ้าน้ำเสียเข้มข้นสูงเกินไปการหมุนของแผ่นตัวกลางเพียงอย่างเดียวอาจให้ออกซิเจนได้ไม่เพียงพอทำให้เกิดกลิ่นเหม็นได้(ชาญชัย วิฑูรปัญญากิจ , 2529)