บทที่ 3

ทบทวนเอกสาร

ระบบเอสบีอาร์เป็นระบบที่คล้ายคลึงกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศรุ่นแรกที่คิดค้นโดย Ardern และ Lockett ซึ่งเป็นระบบแบบเติมเข้าและถ่ายออก กล่าวคือปล่อยให้น้ำเข้าเต็มถังก่อน จากนั้นปิดวาล์วและเป่าอากาศจนความสกปรกถูกทำลายหมด แล้วทิ้งให้ตกตะกอนและปล่อยน้ำใสออกมาแล้วจึงเริ่มต้นใหม่อีก ในสมัยนั้นลักษณะการเติมอากาศเช่นนี้ไม่สะดวกที่จะใช้กับน้ำเสียที่ไหลต่อเนื่องตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้ระบบเติมเข้าและถ่ายออกจึงถูกทดแทนโดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไหลต่อเนื่องดังที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้

ระบบเอสบีอาร์ที่เรียกกันในปัจจุบันมีกำเนิดมาจาก Irvine, R.L ซึ่ง Irvine และ Davis (1971) ได้เริ่มใช้ระบบเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีการแปรเปลี่ยนของน้ำเสียทั้งในด้านชนิด ปริมาณและความเข้มข้น งานวิจัยนี้ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง มีการศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบอย่างต่อเนื่อง พอสรุปเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

1) Irvine, Richter และ Fox (1975) และ Irvine, Fox และ Richter (1977)

ได้พัฒนาสมการการทำงานของระบบเอสบีอาร์เพื่อใช้คำนวณหาความเข้มข้นของน้ำเสีย จุลชีพ และความต้องการออกซิเจนที่เวลาใด ๆ ในวัฏจักร อีกทั้งยังได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่า TOC, MLSS, OUR จากที่วัดได้จากการทดลองเทียบกับค่าที่ทำนายได้จากสมการ ปรากฏว่าผลที่ได้สอดคล้องกัน

2) Irvine และ Richter (1976)

ได้สร้าง computer simulation model เพื่อคำนวณหาปริมาตรรวมของระบบเอสบีอาร์ในกรณีที่มีการแปรเปลี่ยนของอัตราการไหลและความเข้มข้นของน้ำเสียที่ไหลเข้าระบบแตกต่างกัน 5 แบบ (มีอัตราการไหลและความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากัน) ได้แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียที่มี

ความแปรปวนสูงต้องการระบบเอสบีอาร์ที่มีขนาดใหญ่ และได้เปรียบเทียบปริมาตรรวมของระบบเอสบีอาร์ที่มีถังปฏิกิริยา 2, 3, 4, 5 ใบ แสดงให้เห็นว่าการใช้ถังปฏิกิริยา 3 ใบ สามารถลดปริมาตรรวมของระบบได้อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการใช้ถังปฏิกิริยา 4 และ 5 ใบ นั้น สามารถลดปริมาตรรวมลงอีกบ้าง แต่ไม่คุ้มกับความยุ่งยากในการควบคุมการทำงานของระบบที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังได้มีการเปรียบเทียบปริมาตรรวมของระบบเอสบีอาร์กับปริมาตรรวมของระบบไหลต่อเนื่องแบบธรรมดา (CFSTR : คิดปริมาตรของถังปรับอัตราการไหล ถังเติมอากาศและถังตกตะกอนรวมกัน) ปรากฏว่าปริมาตรรวมของระบบเอสบีอาร์น้อยกว่าในทุกกรณี

3) Dennis และ Irvine (1977) และ Dennis และ Irvine (1979)

ได้ศึกษาถึงการทำงานของระบบเอสบีอาร์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีอัตราส่วนช่วงเวลาการป้อนน้ำเสียต่อช่วงเวลาการทำปฏิกิริยา (fill:react ratio) เท่ากับ 2:4, 4:2 และ 5:1 ชม. ตามลำดับ (มีการเติมอากาศตลอดช่วงเวลาการป้อนน้ำเสีย) โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ควบคุม F:M ประมาณ 0.3 กก. บีโอดี /กก. เอ็มแอลเอสเอส-วัน จากผลการทดลองได้ค่า SVI เท่ากับ 115, 84 และ 158 ตามลำดับ ส่วนค่า SS ในน้ำทิ้งมีค่า 23, 29, 117 มก./ล. ตามลำดับ BOD_5(ละลาย) ในน้ำทิ้งมีค่าใกล้เคียงกันคือ 3, 3 และ 4 มก./ล. ตามลำดับ ความเร็วในการตกตะกอนของอัตราส่วนช่วงเวลาการป้อนน้ำเสียต่อช่วงเวลาการทำปฏิกิริยา (fill:react ratio) ที่ 2:4 มีค่าสูงสุด และ 5:1 มีค่าต่ำสุด จากผลการทดลองจะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารอาหารได้ผลใกล้เคียงกัน ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบจึงขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติในการตกตะกอนและอัดตัวของสลัดจ์ ซึ่งอัตราส่วนช่วงเวลาการป้อนน้ำเสียต่อช่วงเวลาการทำปฏิกิริยาสูง (5:1) นั้น มีแนวโน้มที่จะมีการตกตะกอนและอัดตัวของสลัดจ์ของระบบอยู่ในเกณฑ์ไม่ดี

4) Irvine, Miller และ Bhamrah (1979)

ได้ศึกษาถึงการนำระบบเอสบีอาร์แบบถังเดี่ยว (มีรอบวัฏจักร 24 ชั่วโมง เหมาะกับแหล่งชุมชนในชนบท หรือโรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่มีน้ำเสียไหลต่อเนื่องทั้งวัน) ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียจริงจากมหาวิทยาลัย Notre Dameให้มีรอบวัฏจักร 24 ชั่วโมง F:M = 0.01-0.07 กก. บีโอดี /กก. เอ็มแอลเอสเอส-วัน และเวลากักน้ำเท่ากับ 1.6 ถึง 3.5 วัน จากผลการทดลองพบว่าสามารถกำจัดบีโอดีได้ถึง 95% และน้ำทิ้งมีตะกอนแขวนลอยอยู่ระหว่าง 7

ถึง 11 มก./ล. อีกทั้งมีระดับการเกิดไนตริฟิเคชันที่ดี และหากมีขนาดและการควบคุมที่เหมาะสม ยังสามารถทำให้เกิดดีไนตริฟิเคชันอีกด้วย

5) Hoepker และ Schroeder (1979)

ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีต่อคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบเอสบีอาร์ โดยได้แบ่งการทดลองออกเป็นแบบเทและแบบกึ่งเท ทั้งคู่มีรอบวัฏจักรเป็น 24 ชั่วโมง ควบคุมอายุสลัดจ์เท่ากับ 10 วัน ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ โดยแบบเทใช้น้ำเสียที่มีความเข้มข้น TOC เท่ากับ 80 ถึง 250 มก./ล. ส่วนแบบกึ่งเทใช้ความเข้มข้น TOC เท่ากับ 160 ถึง 240 มก./ล. ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

ก) ความเข้มข้นน้ำเสียที่ต่ำลง ทั้งระบบแบบเทและกึ่งเทจะมีคุณภาพน้ำทิ้งที่ดีขึ้น

ข) ระบบแบบเทมีความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งสูงกว่าแบบกึ่งเท น่าจะเป็นเพราะ เซลล์จุลชีพในถังปฏิกิริยามีการเจริญเติบโตแบบกระจัดกระจายที่สูงกว่า

ค) ระบบแบบเทมีค่า SVI ต่ำกว่าแบบกึ่งเท ซึ่งหมายถึงสลัดจ์อัดตัวได้แน่นกว่า เป็นการช่วยให้สามารถเพิ่มปริมาตรน้ำเสียเข้าถังปฏิกิริยาได้

ง) โดยวัตถุประสงค์ในการออกแบบแล้ว ต้องการให้มีตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งต่ำ และสลัดจ์มีลักษณะสมบัติในการอัดตัวที่ดี ซึ่งผลที่ได้ดูเหมือนจะขัดแย้งกันเอง (ระบบแบบกึ่งเทมีตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งต่ำ แต่ SVI สูง ส่วนระบบแบบเทมีตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งสูง แต่ SVI ต่ำ) อย่างไรก็ดี Hoepker และ Schroeder ได้อ้างถึง Irvine (1977) ว่าได้ทดลองให้มีช่วงของแอนแอโรบิกในขณะทำการป้อนน้ำเสีย ซึ่งได้ผลดีคือคุณภาพของน้ำทิ้งและการอัดตัวของสลัดจ์ดีขึ้น คาดว่าช่วงของแอนแอโรบิคนี้ช่วยลดจุลชีพแบบเส้นใย

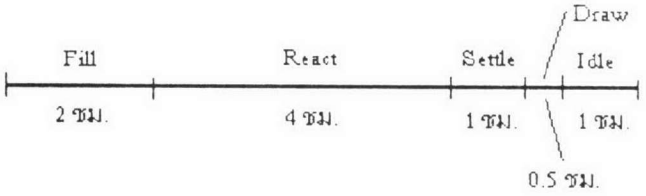
6) Irvine และ Busch (1979)

ได้รวบรวมสรุปหลักการพื้นฐาน งานวิจัยและความเข้าใจในการควบคุมระบบเอสบีอาร์ ซึ่งระบบเอสบีอาร์อาจประกอบด้วยถังปฏิกิริยาแบบถังเดี่ยว (เหมาะสำหรับรับน้ำเสียที่ไหลไม่ต่อเนื่อง) หรือแบบหลายถัง (เหมาะสำหรับรับน้ำเสียที่ไหลต่อเนื่อง) ถังปฏิกิริยาจะทำจะทำหน้าที่ตามลำดับคือ Fill, React, Settle, Draw, Idle โดยสามารถปรับเปลี่ยนช่วงเวลาของแต่ละส่วนให้ทำงานได้อย่างเหมาะสม เมื่อถังปฏิกิริยาทำหน้าที่ข้างต้นครบแล้วถือว่าระบบเอสบีอาร์ได้ทำงานครบ 1 รอบวัฏจักร (cycle) แต่ละรอบวัฏจักรอาจจะใช้เวลา 1 วัน หรือต่างจากนี้ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการไหลของน้ำเสียด้วย ในกรณีที่น้ำเสียไหลไม่ต่อเนื่อง

เช่นในโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท พบว่าระบบถังเดี่ยวมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการบำบัดโดยควบคุมให้มีการทำงาน 1 รอบวัฏจักรต่อวัน แต่หากเป็นแหล่งที่น้ำเสียไหลต่อเนื่องและค่อนข้างสม่ำเสมอแล้ว การใช้ถังปฏิกิริยา 3 ใบจะมีความเหมาะสมกว่าโดยจัดช่วงเวลาการทำงานของแต่ละถังให้สามารถรับน้ำเสียได้ตลอดเวลา การควบคุมการทำงานในช่วงต่างๆของระบบเอสบีอารที่เหมาะสมจะสามารถกำจัดสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบไนโตเจน (เกิดไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งสามารถกำจัดจุลชีพชนิดเส้นใยได้เป็นอย่างดี

7) Alleman และ Irvine (1980a)

ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงศักยภาพของระบบเอสบีอาร์ในการเกิดคาร์บอนออกซิเดชันและไนตริฟิเคชันพร้อม ๆ กัน โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่า BOD_5 (ละลาย) 400 มก./ล. สารอินทรีย์ไนโตรเจน 60 มก./ล. ถังปฏิกิริยามีปริมาตรน้ำสูงสุดหลังป้อนน้ำเสียเท่ากับ 7.2 ล. และปริมาตรต่ำสุดหลังระบายน้ำใสส่วนบนทิ้งเท่ากับ 2.4 ล. มีรอบวัฏจักรการทำงาน 8.5 ชั่วโมง ควบคุม MLSS ประมาณ 2500 มก./ล. โดยทิ้งสลัดจ์ประมาณ 1800 มก./วัน (อายุสลัดจ์ประมาณ 10 วัน) และมีช่วงเวลาการทำงานต่างๆในรอบวัฏจักรดังแสดงในภาพที่ 3.1



Fill : ป้อนน้ำเสีย มีการกวนแต่ไม่เติมอากาศเป็นเวลา 2 ชม.
React : ทำปฏิกิริยา มีการกวนและเติมอากาศเป็นเวลา 4 ชม.
Settle : ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชม.
Draw : ระบายน้ำใสเป็นเวลา 0.5 ชม.
Idle : ระยะพักเป็นเวลา 1 ชม.

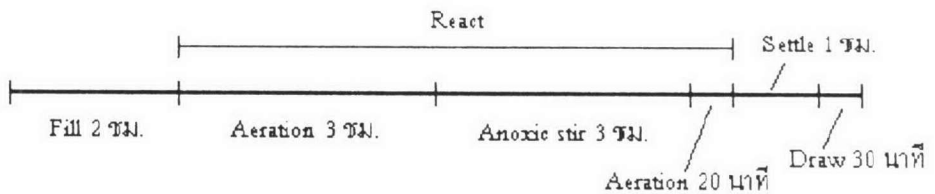
ภาพที่ 3.1 ช่วงเวลาการทำงานต่างๆในรอบวัฏจักรซึ่งแสดงใน Alleman และ Irvine (1980a)

ผลการทดลองที่ได้แสดงว่ามีการเกิดออกซิเดชันของสารอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจน (ไนตริฟิเคชัน) มากกว่า 98% ความสามารถในการตกตะกอนของสลัดจ์เป็นที่น่าพอใจ ในน้ำทิ้งมีสารแขวนลอยต่ำ อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันที่พบอยู่ในช่วง 0.17- 0.20 มก.

แอมโมเนียไนโตรเจนที่ถูกออกซิไดซ์ / มก. เอ็มแอลเอสเอส-วัน และช่วงเวลาที่ไม่มีการเติมอากาศ (Fill, Settle, Draw, Idle) ไม่มีผลที่เด่นชัดต่อกิจกรรมของไนตริไฟอิงแบคทีเรีย

8) Alleman และ Irvine (1980b)

ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการเกิดดีไนตริฟิเคชันในระบบเอสบีอาร์โดยสารอาหารที่สะสมไว้ในเซลล์ รายละเอียดการทดลองต่าง ๆ เหมือนใน Alleman และ Irvine (1980a) ยกเว้นมีรอบวัฏจักรประมาณ 10 ชั่วโมงและมีช่วงเวลาการทำงานต่างๆในรอบวัฏจักรดังแสดงในภาพที่ 3.2



Fill : ป้อนน้ำเสีย มีการกวนแต่ไม่เติมอากาศเป็นเวลา 2 ชม.

React : ทำปฏิกิริยา แบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงคือ

ช่วงแรก Aeration มีการกวนและเติมอากาศเป็นเวลา 3 ชม.

ช่วงที่สอง Anoxic stir มีการกวนแต่ไม่เติมอากาศเป็นเวลา 3 ชม.

ช่วงที่สาม Aeration มีการกวนและเติมอากาศเป็นเวลา 20 นาที

Settle : ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชม.

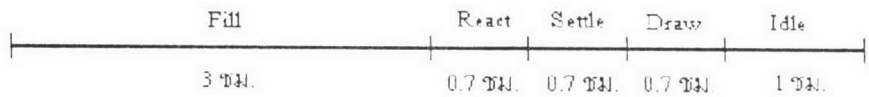
Draw : ระบายน้ำใสเป็นเวลา 30 นาที

ภาพที่ 3.2 ช่วงเวลาการทำงานต่างๆในรอบวัฏจักร ซึ่งแสดงใน Alleman และ Irvine (1980b)

จากผลการทดลองสามารถกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนได้มากกว่า 99% และกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้มากกว่า 92% จากการเกิดดีไนตริฟิเคชันโดยไม่ต้องเติมแหล่งคาร์บอนจากภายนอก และพบว่าคาร์บอนที่สะสมในรูป glycogen ในช่วงของแอโรบิกมีการลดลงในระหว่างการเกิดไนตริฟิเคชัน

9) Irvine และคณะ (1983) และ Irvine และ Ketchum (1983)

United State Environmental Protection Agency (US. EPA)ได้ตระหนักถึงศักยภาพของระบบเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนและความต้องการที่จะให้มีประสบการณ์ในการควบคุมในระดับงานจริง ดังนั้นในปี 1979 จึงได้ให้ทุนศึกษาการใช้ระบบเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนในระดับงานจริง ดังแสดงใน Irvine และคณะ (1983) และ Irvine และ Ketchum (1983) โดยทำการดัดแปลงจากระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบไหลต่อเนื่องของเมือง Culver ใน Indiana มีอัตราการไหลของน้ำเสียเฉลี่ย 1,340 ลบ.ม./วัน ภาระบรรทุกสารอินทรีย์อยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 0.4 กก. บีโอดี/กก. เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน (คิดที่ฐานเวลาในการเติมอากาศ) อายุสลัดจ์อยู่ในช่วง 15-45 วัน มีการกำจัดฟอสฟอรัสโดยวิธีทางเคมีโดยการเติมเฟอร์ริคคลอไรด์หรือสารส้ม ระบบเอสบีอาร์นี้เป็นแบบ 2 ถังสลับกัน แต่ละถังจะทำงานประมาณ 4 รอบวัฏจักรต่อวัน โดยในรอบวัฏจักรมีช่วงเวลาในการทำงานเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 3.3



Fill : การป้อนน้ำเสีย แบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ

ช่วงแรก ประมาณ 30 % ของปริมาตรทั้งหมดที่ป้อนมีเฉพาะการกวนไม่มีการเติมอากาศ

ช่วงที่สอง ประมาณ 70 % ของปริมาตรทั้งหมดที่ป้อนมีทั้งการกวนและการเติมอากาศ

ภาพที่ 3.3 ช่วงเวลาการทำงานต่างๆในรอบวัฏจักร ซึ่งแสดงใน Irvine และคณะ (1983)

น้ำทิ้งที่บำบัดได้มีคุณภาพดี โดยมีค่าบีโอดี ตะกอนแขวนลอย ฟอสฟอรัส น้อยกว่า 10, 8 และ 5 มก./ล. ตามลำดับ และโดยการเพิ่มการเติมอากาศให้เพียงพอทำให้มีแอมโมเนียและไนไตรท์บวกกับไนเตรทประมาณ 1.1 และ 1.3 มก./ล. ตามลำดับ

10) Irvine และคณะ (1985)

หลังจากนั้น Irvine และคณะ (1985) ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมจากโรงบำบัดน้ำเสียแห่งเดียวกัน (เมือง Culver, Indiana) ทำการทดลองที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่แตกต่างกันโดยควบคุมถังแรกให้มีภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำ (F:M ≈ 0.16 กก. บีโอดี/กก. เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน : ป้อนน้ำเสียรอบวัฏจักรละ 95 ลบ.ม. ควบคุม MLSS ≈ 3450 มก./ล.) และควบคุม

ถังที่สองให้มีภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูง (F:M ≈ 0.42 กก. บีโอดี/กก. เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน : ป้อนน้ำเสียรอบวัฏจักรละ 160 ลบ.ม. ควบคุม MLSS ≈ 1950 มก./ล.) โดยมีช่วงเวลาต่างๆ ในรอบวัฏจักรดังในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ช่วงเวลาทำงานในรอบวัฏจักรของระบบเอสบีอาร์ที่เมือง Culver

	เวลา (ชม.)	
	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำ	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูง
ป้อนน้ำเสีย(ไม่มีการกวน/ไม่มีการเติมอากาศ)	0.4	0.9
ป้อนน้ำเสีย (กวนโดยไม่มีการเติมอากาศ)	0.2	0.4
ป้อนน้ำเสีย (มีการเติมอากาศ)	1.2	1.7
ทำปฏิกิริยา (React)	1.0	0.4
ตกตะกอน (Settle)	1.0	0.67
ระบายน้ำใส (Draw)	0.4	0.7
ระยะพัก (Idle)	0.6	0.03
รวมเวลาของรอบวัฏจักร	4.8 ชม.	4.8 ชม..
จำนวนรอบวัฏจักรต่อวัน	5	5

ผลจากการศึกษานี้สรุปได้เป็น 2 ข้อใหญ่คือ

ก) น้ำทิ้งที่บำบัดแล้วมีคุณภาพดีมาก ถังที่มีภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำจะมีคุณภาพน้ำทิ้งดีกว่าเล็กน้อย ทั้งคู่มีการกำจัดฟอสฟอรัสอยู่ในเกณฑ์ดี

ข) ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูง ใช้พลังงานต่อหน่วยกิโลกรัมบีโอดีน้อยกว่าที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำอยู่ประมาณ 30% (ไม่รวมถึงพลังงานที่ใช้ในการย่อยสลัดจ์)

11) Irvine และคณะ (1987)

ได้ศึกษาการใช้งานระบบเอสบีอาร์ในระดับงานจริงที่ Grundy Center ใน Iowa เป็นแห่งที่สองต่อจากเมือง Culver ในช่วงแรกสามารถบำบัดน้ำเสียได้คุณภาพไม่ดีนักเนื่องจากประสบปัญหาหลายอย่างที่ต้องทำการแก้ไข รวมทั้งต้องสร้างถังย่อยสลัดจ์เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งถัง เนื่องจากเกิดสลัดจ์ส่วนเกินมากเกินกว่าที่ความจุของถังย่อยสลัดจ์เดิมจะรับได้ ค่าสลัดจ์ยิลด์ที่ใช้ออกแบบนั้นอยู่ในช่วง 0.2-0.3 กก. เอ็มแอลเอสเอส/กก. บีโอดี แต่มวลของแข็งที่เกิดขึ้นจริงอยู่ในช่วง 0.9-1.1 กก. เอ็มแอลเอสเอส/กก. บีโอดี ซึ่งค่านี้สอดคล้องกับค่ามวลของแข็งที่เกิดขึ้นจริงของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่มีการเติมอากาศแบบยืดเวลา (EAAS) ที่ไม่มีถังตกตะกอนขั้นต้น ดังที่ได้แสดงใน Schultz, Hegg และ Rakness (1982) หลังจากแก้ไขปัญหา

118103844

แล้วระบบได้ทำงานโดยมีรอบวัฏจักรโดยเฉลี่ย และมีประสิทธิภาพดังแสดงในตารางที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ ซึ่งคุณภาพน้ำทิ้งที่ได้อยู่ในเกณฑ์ดี คือค่าบีโอดี, ตะกอนแขวนลอยและแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำทิ้งประมาณ 10, 10 และ 1 มก./ล. ตามลำดับ มีลักษณะสมบัติการตกตะกอนที่เพียงพอสำหรับระบบเอสบีอาร์ (ทั้งที่มีและไม่มีช่วงเวลา React) ที่เวลากักน้ำนานประมาณ 25 ชั่วโมง (ระบบเอสบีอาร์ที่เมือง Culver ทำงานที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ใกล้เคียงกัน มีช่วงเวลา React และมีเวลากักน้ำ 15 ชั่วโมง) อีกทั้งมีสัดส่วนของเวลาในการเติมอากาศใน 1 รอบวัฏจักรสำหรับเวลากักน้ำที่ยาวนี้ต่ำถึง 0.3 ซึ่งน้อยกว่าที่เคยใช้สำหรับเวลากักน้ำที่สั้น (เมือง Culver) ถึง 20%

ตารางที่ 3.2 ช่วงเวลาทำงานในรอบวัฏจักรของระบบเอสบีอาร์ที่เมือง Grundy Center

	เวลา (นาที)	
	เอสบีอาร์ที่มี ช่วงเวลาทำปฏิกิริยา	เอสบีอาร์ที่ไม่มี ช่วงเวลาทำปฏิกิริยา
ป้อนน้ำเสีย(ไม่มีการกวน/ไม่เติมอากาศ)	170	85
ป้อนน้ำเสีย (กวนโดยไม่มีการเติมอากาศ)	0	0
ป้อนน้ำเสีย (มีการเติมอากาศ)	120 (เดินเครื่องเติมอากาศ 3 ชุด)	160 (เดินเครื่องเติมอากาศ 4 ชุด)
ทำปฏิกิริยา (React)	60 (เดินเครื่องเติมอากาศ 1-2 ชุด)	0
ตกตะกอน (Settle)	60	60
ระบายน้ำใส (Draw)	75	75
ระยะพัก (Idle)	50	155
รวมเวลาของรอบวัฏจักร	535	535
สัดส่วนเวลาการเติมอากาศใน 1 รอบวัฏจักร	0.34	0.30

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลประสิทธิภาพ (10 มิถุนายน - 10 กรกฎาคม 1985) สำหรับ Grundy Center

	น้ำเสียเข้าระบบ	เอสบีอาร์ที่มีช่วงเวลาทำปฏิกิริยา	เอสบีอาร์ที่ไม่มีช่วงเวลาทำปฏิกิริยา
อัตราการไหล , $ม^3$/วัน	2,580	-	-
บีโอดี , มก./ล.	220	8	8
เอสเอส , มก./ล.	170	12	12
แอมโมเนียไนโตรเจน , มก./ล.	17	1.1	1.0
ออกซิไดซ์ไนโตรเจน , มก./ล.	0.7	2.1	2.6
ฟอสฟอรัส , มก./ล.	8.3	3.7	4.9
เอ็มแอลเอสเอส , มก./ล.	-	1,700	1,800
ความเข้มข้นของสลัดจ์ที่ทิ้ง , %	-	1.2	1.2
เอสวีไอ , มล./ก.	-	130	160
ความเร็วจมตัวของสลัดจ์ , ซม./นาที	-	4.2	2.6
เวลากักน้ำโดยประมาณของทั้ง 2 ถัง	25 ชม.		
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์โดยประมาณของทั้งสองถัง	0.12 กก. บีโอดี/กก. เอ็มแอลเอสเอส-วัน		

12) Arora,Barth และ Umphres (1985)

ได้รวบรวมข้อมูลการออกแบบ การทำงานและผลของโรงบำบัดน้ำเสียที่ใช้ระบบเอสบีอาร์ทั้งหมด 8 แห่งใน 3 ประเทศคือ แคนาดา อเมริกา และออสเตเรีย เพื่อสรุปหามาตรฐานในการออกแบบสำหรับใช้งานจริง ดังแสดงในตารางที่ 3.4 ซึ่งพบว่าเกณฑ์การออกแบบที่ใช้แตกต่างกันมาก ไม่มีมาตรฐานที่ยอมรับและใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่นเวลากักน้ำแปรเปลี่ยนตั้งแต่ 7.6-49 ชม. ภาระบรรทุกสารอินทรีย์แปรเปลี่ยนตั้งแต่ 0.18-0.032 กก. บีโอดี/กก. เอ็มแอลเอสเอส-วัน อีกทั้งเวลาในการเติมอากาศก็แตกต่างกันมาก

13) Melcer และคณะ (1987)

ได้รวบรวมสรุปการทำงานของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนขนาดเล็กที่ถูกเปลี่ยนมาใช้เป็นระบบเอสบีอาร์จำนวน 3 แห่งคือ Glenlea, Spruce Point และ Rivercrest ซึ่งมีข้อมูลการทำงาน ประสิทธิภาพและการควบคุมระบบ ดังแสดงในตารางที่ 3.5, 3,6 และ 3.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.4 สรุปการวัดผลการทำงานของระบบเอสบีอาร์ (1984) อ้างจาก Arora, Barth และ Umphres (1985)

	Canada		USA				Australia	
	Rivercrest, Manitoba	Glenlea Manitoba	Choctaw, Oklahoma	Grundy Center, Iowa	Eldora, Iowa	Culver, Indiana (a)	Tamworth,New South Wales	Yamba,New South Wales
-รูปแบบการทำงาน	SBR	SBR	SBR	SBR	บ่อนน้ำเสียต่อเนื่อง หลังเปลี่ยนเป็น SBR	SBR	ICEAS	ICEAS
-ช่วงเวลาในการตรวจสอบการทำงาน	สิงหาคม 1983	1978	สิงหาคม 1983	มิถุนายน 1983	25 เมษายน 1984	พฤษภาคม 1980	มิถุนายน 1983	มิถุนายน 1983
-อัตราการไหลเฉลี่ยในการออกแบบ (แกลลอน/วัน)	24,000	2,000	500,000	832,000	220,000		535,000	253,000
-เกณฑ์ภาระในการออกแบบ								
--บีโอดี , มก./ล.	236(b)	251(b)	260 366(b)	200	250 120(b)	170(b,c)	260	260(c)
--เอสเอส , มก./ล.	200(b)	152(b)	260 350(b)	--	--	150(b,c)	--	--
--แอมโมเนีย , มก./ล.	37(b)	55(b)	19(b)	15	25	20(b,c)	35-40	--
-อัตราการไหลเฉลี่ยในปัจจุบัน (แกลลอน/วัน)	60,000	1,165	200,000 283,000 (equivalent)	800,000	220,000 106,000 (equivalent)	353,000	535,000	--

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) สรุปการวัดผลการทำงานของระบบเอสบีอาร์ (1984)

	Canada		USA				Australia	
	Rivercrest, Manitoba	Glenlea Manitoba	Choctaw, Oklahoma	Grundy Center, Iowa	Eldora, Iowa	Culver, Indiana (a)	Tamworth,New South Wales	Yamba,New South Wales
-คุณภาพน้ำทิ้งที่ต้องการ								
--บีโอดี , มก./ล.	TOC-40	30	20	30	30	10	30	30
--เอสเอส , มก./ล.	30	30	20	30	30	10	30	30
--แอมโมเนีย , มก./ล.	--	--	15	6 (ฤดูร้อน)	8 (ฤดูร้อน)			
				11 (ฤดูหนาว)	10 (ฤดูหนาว)			
-คุณภาพน้ำทิ้งที่ได้จริง								
--บีโอดี , มก./ล.	11	5	8	วัดไม่ได้เนื่องจาก	ข้อมูลยังใช้ไม่ได้	10	5-10	6-10
--เอสเอส , มก./ล.	15	6	18	decanter		5	5-10	10-15
--แอมโมเนีย , มก./ล.	10	2	--	ยังมีปัญหา		1.0	2.2	1.0
-เวลาการทำงานในรอบวัฏจักร ที่อัตราการไหลในการออกแบบ								
--เวลาการป้อนน้ำเสีย				40 นาที		180 นาที	ไหลต่อเนื่อง	ไหลต่อเนื่อง
				(ไม่กวน/ไม่เติมอากาศ)				
--เวลาการทำปฏิกิริยา	90 นาที	22 ชม.	18 ชม.	120 นาที	150 นาที(d)	42 นาที	120-150 นาที	150 นาที
				(กวน/เติมอากาศ)				
--เวลาการตกตะกอน	45 นาที	1 ชม.	3 ชม.	60 นาที	80 นาที	42 นาที	45 นาที	180 นาที
--เวลาการระบายน้ำใส	20-60 นาที	1 ชม.	3 ชม.	40 นาที	50 นาที	42 นาที	45 นาที	45 นาที
--ระยะพัก	--	--	--	60 นาที	45 นาที	60 นาที	--	--
						เวลาขณะป้อนน้ำเสีย		
						กวน 30 %		
						เติมอากาศ 70 %		

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) สรุปการวัดผลการทำงานของระบบเอสบีอาร์ (1984)

	Canada		USA				Australia	
	Rivercrest, Manitoba	Glenlea Manitoba	Choctaw, Oklahoma	Grundy Center, Iowa	Eldora, Iowa	Culver, Indiana (a)	Tamworth,New South Wales	Yamba,New South Wales
-ข้อมูลการออกแบบที่สำคัญ								
--เวลากักน้ำ (ชม.)	7.6	49	48	20.4	43	16.5(b)	46	36
--F/M (กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน)	0.18(b)	0.032(b)	0.037 0.028(b)	0.078 0.067(b)	0.05	0.08-0.16	0.04	0.05
--อายุสลัดจ์ (วัน)	43(b)	18.8(b)	ทิ้งสลัดจ์ 2 ครั้ง ใน 10 เดือน	25.3(b)	ยังไม่มีการทิ้งสลัดจ์ใน 2 เดือนหลัง	15.45(b)	--	--
-กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชม./กก. บีโอดี)	0.8	22.9	2.9	0.8-1.3	2.2	2.1	1.9	1.5
-Unit process								
--Trash rack	yes	--	yes (by pass)	yes (by pass)	--	--	--	yes
--Mech. screens	--	--	--	yes	yes	yes	yes	--
--Comminutor	--	--	yes	--	--	yes	yes	--
--Grit removal	--	--	--	yes	yes	--	--	yes
--Equalization	yes	lift station wet well	emergency pond	sideline equalization	--	--	--	--
--Primary treatment	--	--	--	yes	--	yes	--	yes
--Disinfection	--	--	yes	--	--	yes	yes	yes
--Sludge treatment	holding tank & land application	agiculture farm	holding pond & land application	aerated slude holding & sludge beds	anaerobic digester & sludge beds	aerobic digester & sludge beds	polishing lagoon sludge lagoon	polishing lagoon aerobic lagoon

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) สรุปการวัดผลการทำงานของระบบเอสบีอาร์ (1984)

	Canada		USA				Australia	
	Rivercrest, Manitoba	Glenlea Manitoba	Choctaw, Oklahoma	Grundy Center, Iowa	Eldora, Iowa	Culver, Indiana (a)	Tamworth,New South Wales	Yamba,New South Wales
-เหตุผลในการเลือกใช้เทคโนโลยีนี้	ลดต้นทุนโครงการ ควบคุมง่าย	ลดต้นทุนโครงการ ควบคุมง่าย	ลดค่าใช้จ่าย การทำงาน 8 %	ลดต้นทุนโครงการ บำบัดขั้นที่สอง 19 % หรือลดต้นทุนทั้งโครงการ 8 %	ลดต้นทุนโครงการ ควบคุมง่าย	ให้ทุนศึกษาโครงการโดย EPA	ลดต้นทุนโครงการ	ลดต้นทุนโครงการ

หมายเหตุ (a) ข้อมูลของ Culver ได้จาก Austgen Bioget, San Francisco, Calif., Manuf. literature (1988)

(b) ข้อมูลในการปฏิบัติงานจริง

(c) น้ำเสียดิบ (Raw wastewater)

(d) ปั๊มเจททำงานตลอดเวลา, เครื่องเติมอากาศทำงาน 40 นาที หยุดทำงาน 10 นาที สลับกันตลอดช่วงเวลา 150 นาที

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลลักษณะการทำงาน,อ้างจาก Melcer และคณะ (1987)

	Glenlea	Spruce Point	Rivercrest
อัตราการไหล , ม.^{3}/วัน			
เฉลี่ย	4.4	22.7	227
ช่วง	0.73-15.9	18.2-27.2	204-249
ปริมาตรถังปฏิกิริยา , ม^3	9.1	14.5	72.6
ระยะเวลาทำงานในรอบวัฏจักร , ชม.			
ป้อนน้ำเสียและทำปฏิกิริยา (เติมอากาศขณะป้อนน้ำเสียด้วย)	17.2	3.37	1.52
ตกตะกอน	0.83	0.83	0.75
ระบายน้ำใส	0.37	0.6	1.33
ระยะพัก	0	0	0
รวมเวลา 1 รอบวัฏจักร (ชม.)	18.4	4.8	3.6
จำนวนรอบวัฏจักร/วัน	1.3	5	6.7

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลสมรรถนะการทำงาน, อ้างจาก Melcer และคณะ (1987)

	Glenlea			Spruce Point			Rivercrest		
	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%
	มก./ล.			มก./ล.			มก./ล.		
บีโอดีทั้งหมด	268±110	5±3	98	59±26	4±2	93	235±74	14±9	94
ทีเอสเอส	171±105	6±4	96	103±91	5±3	95	262±170	19±15	93
ทีเคเอ็น	76±39	14±6	82	17±4	6±1	65	62±11	23±15	63
แอมโมเนียไนโตรเจน	55±19	3±5	95	9±3	1.8±0.1	80	36±6	16±15	55
ไนเตรตไนโตรเจน	--	31±10	--	--	4±2	--	--	6±7	--
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	11±5	5±2	55	2.5±1.3	0.2±0.1	92	9±1	6±2	33

หมายเหตุ : เข้า = น้ำเสียเข้าระบบ ออก = น้ำที่บำบัดแล้ว % = เปอร์เซ็นการกำจัด

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลการปฏิบัติการของกระบวนการ, อ้างจาก Melcer และคณะ (1987)

	Glenlea	Spruce Point	Rivercrest
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์	0.041	0.062	0.308
อัตราการเกิดไนตริฟิเคชัน	0.008	0.008	0.026
เอ็มแอลเอสเอส			
มก./ล.	3,855	2,344	2,958
% สารระเหยง่าย (VS)	82.5	63.0	80.7
เอสวีไอ, มล./ก.	117	120	120
อุณหภูมิ ,°C	10	22	20
อัตราการทิ้งสลัดจ์	0.62	0.0	0.0
อายุสลัดจ์	53.5		

หมายเหตุ : ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ = กก. บีโอดี / กก. เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน

อัตราการเกิดไนตริฟิเคชัน = กก.แอมโมเนียไนโตรเจนที่ถูกกำจัด / กก. เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน

: อัตราการทิ้งสลัดจ์ = กก. เอ็มแอลเอสเอส / วัน

: อายุสลัดจ์ = วัน

จากตารางที่ 3.7 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของทั้ง 3 แห่งเป็น 0.04, 0.06 และ 0.31 กก.บีโอดี/ กก. เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน สำหรับ Glenlea, Spruce Point และ Rivercrest ตามลำดับซึ่ง Melcer และคณะ (1987) ได้อ้างถึง Irvine และ Ketchum (1983) ที่ได้แนะนำว่า วิธีการกำหนดค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์แบบนี้ไม่เหมาะสมกับระบบเอสบีอาร์ เนื่องจากมีการออกแบบให้ระบบมีการทำงานต่างๆในรอบวัฏจักรที่แตกต่างกัน จะทำให้ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เปลี่ยนไป ควรจะคิดสัดส่วนของเวลาในการเติมอากาศของรอบวัฏจักรด้วย ซึ่งจะทำให้คิดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้เป็น 0.04, 0.09 และ 0.73 กก.บีโอดี/ กก. เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน ทั้งยังแนะนำว่าไม่เหมาะที่จะใช้ค่าอายุสลัดจ์ในการกำหนดการทำงานของระบบเอสบีอาร์ เนื่องจากปริมาตรของสลัดจ์หลังจากที่ตกตะกอน (ลักษณะสมบัติในการตกตะกอน) จะเป็นตัวควบคุมค่า MLSS สูงสุด ซึ่งจะเป็นตัวจำกัดความเป็นไปได้ของค่าอายุสลัดจ์สูงสุด แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากการควบคุมค่าอายุสลัดจ์นั้นง่ายกว่า ดังนั้นการลองหาปริมาณสลัดจ์ที่ทิ้งในแต่ละวันเพื่อควบคุม MLSS ให้ได้ตามที่ออกแบบจะช่วยให้การควบคุมง่ายขึ้น

14) Alleman, Sweeney และ Kamber (1989)

ระบบควบคุมที่ใช้ในการควบคุมอัตโนมัติสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ใช้กันนั้นมีรูปแบบอุปกรณ์แตกต่างกันเป็นช่วงกว้างมาก มีตั้งแต่แบบธรรมดาคืออีเล็คโตรเมคแคนิค

(ไทม์เมอร์-รีเลย์) ไปจนถึงเมนเฟรมคอมพิวเตอร์ ซึ่ง Alleman, Sweeney และ Kamber (1989) มองว่าโรงบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่ซึ่งเป็นขนาดเล็กและขนาดกลาง (น้อยกว่า 1-2 ล้านแกลลอนต่อวัน : มีจำนวนเป็น 85% ของระบบทั้งหมดในอเมริกา) อุปกรณ์อีเล็คโตรเมคแคนิคยังมีความซับซ้อนไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้งาน ส่วนการใช้เมนเฟรมก็มีความซับซ้อนเกินความจำเป็น เขาได้เสนอว่าการใช้ PLC (Programmable Logic Controllers) มีความเหมาะสมกว่าทั้งในแง่การใช้งานและราคา Alleman, Sweeney และ Kamber ได้นำเสนองานการใช้ PLC's เป็นระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับโรงบำบัดน้ำเสียใน Poolesville, Maryland ซึ่งออกแบบเป็นระบบเอสบีอาร์ขนาด 0.7 ล้านแกลลอนต่อวัน โดยมีถังปฏิกิริยา 3 ใบ ถังกรองแบบใช้ความดัน 3 ใบและอุปกรณ์ฆ่าเชื้อโรคโดยรังสีอุลตราไวโอเลต 2 ชุด PLC ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมด 68 ชิ้นภายในโรงบำบัดและยังมีการควบคุมการปิดเปิดในกรณีฉุกเฉินอีกด้วย ช่วงเวลา 2 ปีที่เดินระบบ สามารถควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งได้เป็นอย่างดีโดยใช้ผู้ควบคุมระบบเพียง 2 คน

15) มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ (2525)

ผู้ที่ได้ศึกษาการทำงานของระบบเอสบีอาร์จะเน้นไปที่รายละเอียดที่เกิดขึ้นภายในรอบวัฏจักรเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามได้มีวิศวกรชาวไทยได้นำระบบเอสบีอาร์มาทดลองเพื่อศึกษาถึงการที่จะนำระบบนี้ไปใช้กับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ (2525) ได้นำระบบเอสบีอาร์ที่ไม่มีการระบายสลัดจ์อย่างตั้งใจ มาใช้กับน้ำเสียจากโรงงานอาหารกระป๋องและห้องเย็น โดยใช้ถังปฏิกิริยาเดี่ยว 3 ชุด มีเวลากักน้ำ 8, 4, 2 วันตามลำดับ ใช้เวลาป้อนน้ำเสีย 12 ชม. และเวลาเติมอากาศ 20 ชม. ซึ่งจากการทดลองพบว่าระบบเอสบีอาร์ทั้ง 3 ชุดสามารถลดค่าซีโอดีในน้ำเสียได้สูงถึง 99% และตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งมีค่าต่ำใกล้เคียงกันทั้ง 3 ถัง ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลของเวลากักเก็บน้ำที่แตกต่างกันได้แก่ ความเข้มข้นของมวลจุลชีพจะมีค่าลดลงเมื่อเวลากักน้ำเพิ่มขึ้น

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ ใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งข้าวเข้ามาทดลองกับระบบเอสบีอาร์ (ไม่มีการระบายสลัดจ์) โดยใช้ถังปฏิกิริยาเดี่ยว 2 ชุดที่มีเวลากักน้ำ 3, 6 วัน จากผลการทดลองพบว่าระบบทั้งสองสามารถลดซีโอดีได้ประมาณ 99% และความเข้มข้นของมวลจุลชีพมีค่าต่ำที่เวลากักน้ำสูง

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ ยังได้ทดลองนำระบบเอสบีอาร์ (ไม่มีการระบายสลัดจ์) มาใช้กับน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำตาลเด็กโตรสและน้ำเชื่อมเซอร์ปีทอล (ซีโอดี = 3000 มก./ล.) พบ

ว่าสามารถลดค่าซีโอดีได้ 90%-96% แต่มีตะกอนแขวนลอยออกมากับน้ำทิ้งระหว่าง 50-200 มก./ล.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ ได้สรุปว่าเวลากักน้ำของระบบเอสบีอาร์มีอิทธิพลโดยตรงต่อความเข้มข้นของ MLSS แต่การลดความสกปรก(ซีโอดี)ของระบบเอสบีอาร์ (ไม่มีการระบายสลัดจ์) อยู่นอกเหนือการควบคุมของผู้ควบคุมระบบ ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะมีค่าสูงสุดอยู่แล้ว และยังให้คำแนะนำว่าระบบเอสบีอาร์นั้นเหมาะที่จะนำไปใช้กับแหล่งน้ำที่มีขนาดไม่ใหญ่นัก และไม่ควรมีค่าซีโอดีเกิน 5000 มก./ล.

16) ศักดิ์ชัย สุริยจันทราทอง (2525)

ได้ทำการทดลองหาอิทธิพลของเวลากักน้ำที่มีต่อการทำงานของระบบเอสบีอาร์แบบไม่มีการทิ้งสลัดจ์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุด ๆ ละ 6 การทดลองย่อย น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดี = 1000, 2000 และ 3000 มก./ล. ตามลำดับ ถังปฏิกิริยามีเวลากักน้ำ 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 วันตามลำดับ มีช่วงเวลาในการเติมอากาศและป้อนน้ำเสียพร้อมกันเท่ากับ 24 ชม. ทิ้งให้ตกตะกอนและระบายน้ำที่บำบัดเท่ากับ 4 ชม. ผลการทดลองทั้ง 3 ชุดปรากฏว่าสามารถกำจัด COD ได้ถึง 98% น้ำทิ้งที่บำบัดแล้วมีตะกอนแขวนลอยต่ำและสามารถสรุปได้ว่า

ก) ที่เวลากักน้ำเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของสลัดจ์จะลดลง

ข) เวลากักน้ำไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้ง แต่ในถังที่มีเวลากักน้ำนานกว่าจะมีความสะดวกในการระบายน้ำทิ้งมากกว่า

ค) เวลากักน้ำไม่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีภายใต้ระบบเอสบีอาร์ที่ไม่มีการระบายสลัดจ์ทิ้ง

ง) ค่า SVI สูงขึ้นเมื่อเวลากักน้ำนานขึ้น และพบว่าเมื่อทดลองป้อนน้ำเสียแบบเทจะให้ค่า SVI ที่ต่ำกว่าการป้อนน้ำเสียแบบต่อเนื่อง (20 ชม. ต่อวัน)