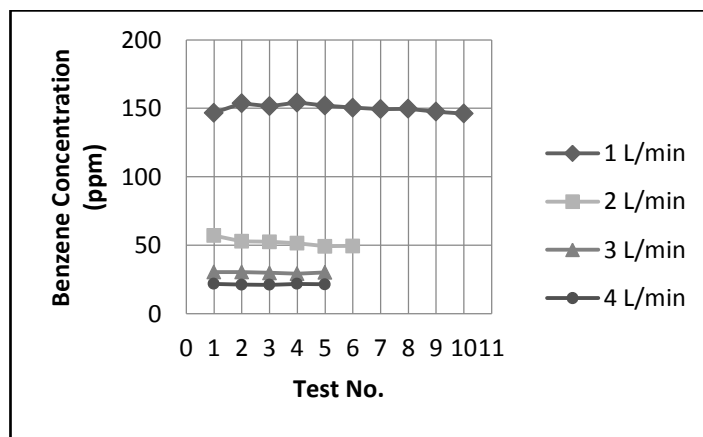


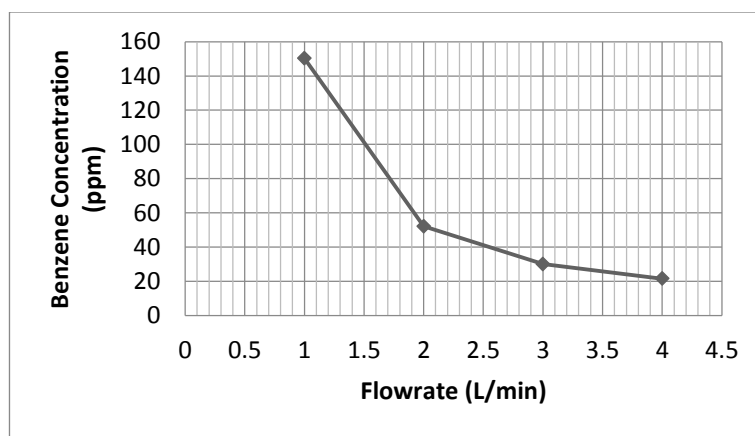
บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบชุดกำเนิดไอระเหยเบนซีน

การทดสอบชุดกำเนิดไอระเหยเบนซีน โดยใช้ขวด Duran ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยภายในขวดจะมีขวดซีรัมขนาด 10 มิลลิลิตรที่มีการบรรจุสารเบนซีนบริสุทธิ์ที่มีความเข้มข้น 99.8%, CARLO ERBA อยู่ปริมาณ 9 มิลลิลิตร โดยเซรัมจุกขวดมีการเจาะรูตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร เพื่อให้เป็นช่องทางการระเหยของสารเบนซีน จากการทดสอบพบว่า เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านชุดกำเนิดไอระเหยที่สร้างขึ้น จะให้ความเข้มข้นของไอระเหยเบนซีนที่แตกต่างกัน เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ผ่านชุดไอระเหยสูงขึ้น จะได้ความเข้มข้นที่ต่ำลง ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 (หมายเหตุ Test No. หมายถึง จำนวนครั้งในการวัดความคงที่ของชุดไอระเหยที่ปล่อยออกมาอย่างต่อเนื่อง โดย 1 ครั้งห่างกันประมาณ 4-5 นาที)



รูปที่ 4.1 การทดสอบอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านชุดไอระเหยกับความเข้มข้นที่ผลิตได้



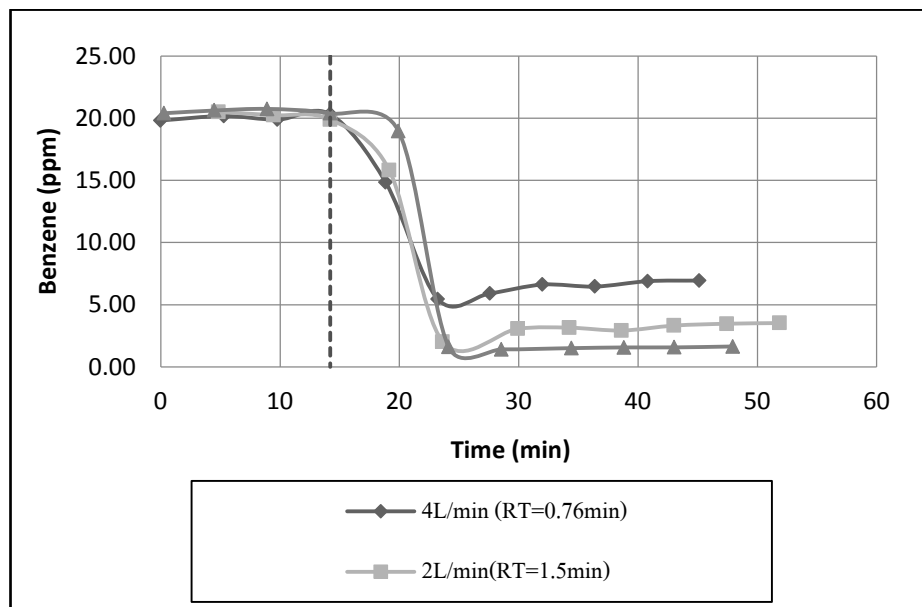
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านชุดไอระเหยกับความเข้มข้นที่ผลิตได้

4.2 การบำบัดเบนซินด้วยแสงเวกค์มัลตราไวโอเล็ต

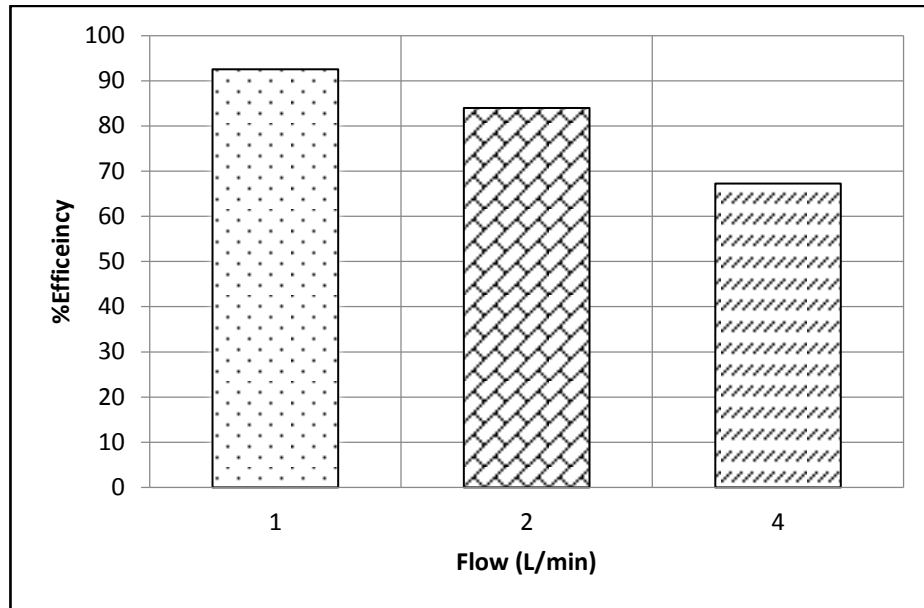
การทดลองการย่อยสลายของไอระเหยเบนซิน จะใช้ความเข้มข้นอยู่ในช่วง 20 – 150 ppm และค่าอัตราการไหลของไอระเหยอยู่ที่ 1-4 ลิตรต่อนาที ซึ่งจะทำการทดลอง 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะควบคุมความเข้มข้นให้คงที่และทำการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาพัก (เปลี่ยนแปลงอัตราการไหล) ส่วนที่สองจะควบคุมค่าอัตราการไหลของไอระเหยให้คงที่และทำการเพิ่มความเข้มข้นของไอระเหย

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาพัก

การทดลองนี้เป็นการควบคุมความเข้มข้นของไอระเหยเบนซินให้มีค่าคงที่ที่ 20 ppm โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาพัก ใช้อัตราการไหลของไอระเหยเท่ากับ 1, 2 และ 4 ลิตรต่อนาที (ระยะเวลาพัก 3.03, 1.5 และ 0.76 นาที ตามลำดับ) การทดลองเป็นการเดินระบบแบบต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อค่าความเข้มข้นจากชุดกำเนิดไอระเหยที่ได้กำหนดไว้ที่ 20 ppm เริ่มนิ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลง จากนั้นจะเริ่มทำการเปิดระบบการบำบัดไอระเหยเบนซินด้วยแสงเวกค์มัลตราไวโอเล็ต โดยสังเกตได้ว่าความเข้มข้นของไอระเหยเบนซินมีค่าลดลงภายในระยะเวลาประมาณ 10 นาทีและจากนั้นจะเริ่มมีค่าความเข้มข้นที่คงที่ ไม่ลดลงไปอีก และพบว่าเมื่อระยะเวลาพักไอระเหยเบนซินในปฏิกรณ์มีค่าสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดไอระเหยเบนซินจะสูงขึ้นดังรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบการย่อยสลายเบนซิน เมื่อความเข้มข้นคงที่ 20 ppm ในอัตราการไหลของไอระเหยเบนซินต่างๆ (ระยะเวลาพัก 3.03 – 0.76 นาที)



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยสลายเบนซีน เมื่อความเข้มข้นคงที่ 20 ppm อัตราการไหลของไอระเหยเบนซีน 1, 2 และ 4 ลิตรต่อนาที (ระยะเวลาพัก 3.03, 1.52 และ 0.76 นาที)

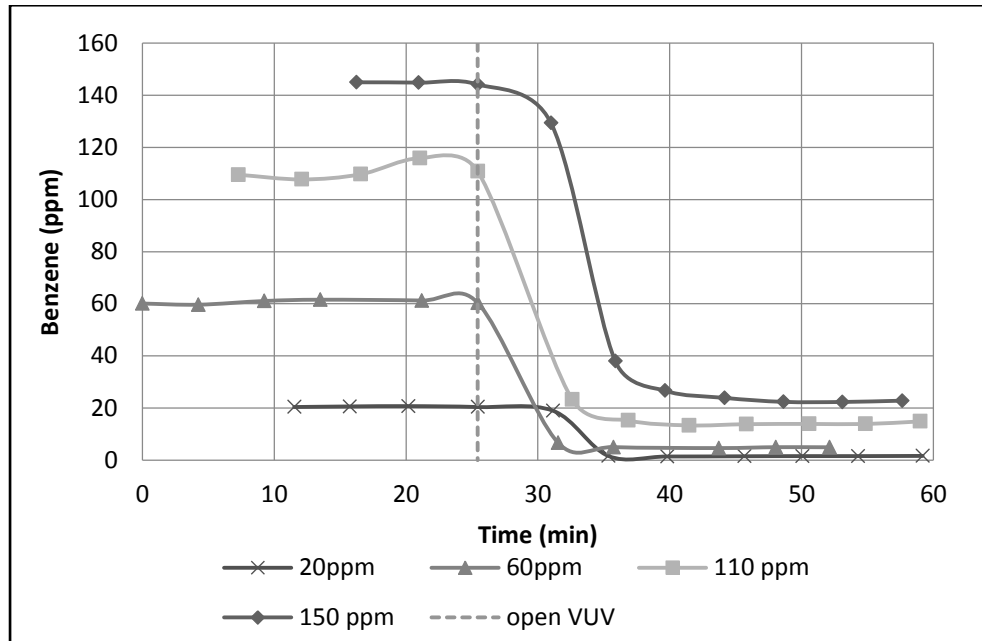
จากที่กล่าวมาข้างต้นว่าเมื่อระยะเวลาพักไอระเหยเบนซีนมีค่าสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดไอระเหยเบนซีนจะมีค่าสูงขึ้น เป็นเพราะค่าการสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบมีค่าแตกต่างกัน โดยคำนวณค่าการสารอินทรีย์จาก

$$\text{Loading} = (Q \times C) / V$$

ซึ่งที่อัตราการไหล 1, 2 และ 4 ลิตรต่อนาที (RT = 3.03, 1.5 และ 0.76 นาที) คิดเป็นค่า Loading rate ได้เท่ากับ 1.276, 2.552 และ 5.104 g/m³-h จะเห็นว่าเมื่อระยะเวลาพักมีค่าสูงขึ้นค่าการสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบมีค่าน้อยลง ระบบจึงมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น โดยที่ระยะเวลาพัก 0.76, 1.5 และ 3.03 นาที ให้ประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 67.26, 83.96 และ 92.52% ตามลำดับดังรูปที่ 4.4

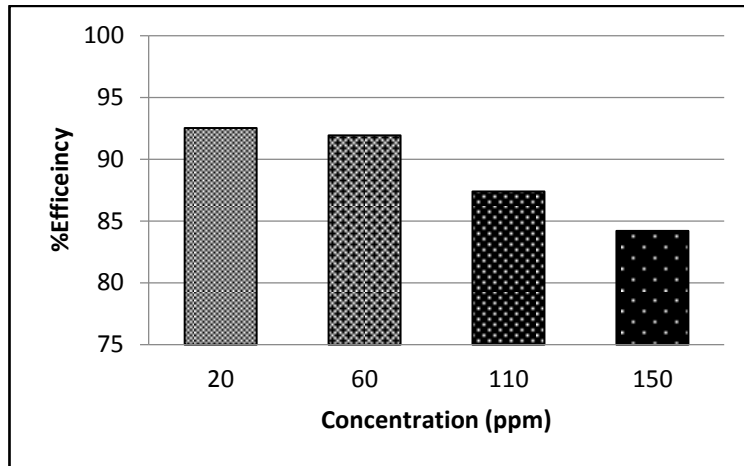
4.2.2 การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นโดยระยะเวลาพักกักที่

การทดลองในส่วนนี้จะเป็นการควบคุมระยะเวลาให้คงที่ที่ 3.03 นาที (อัตราการไหลของไอระเหยเบนซีนเท่ากับ 1 ลิตรต่อนาที) โดยทำการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของไอระเหยเบนซีนตั้งแต่ 20 – 150 ppm การทดลองจะรอให้ความเข้มข้นที่ชุดไอระเหยสร้างได้ตามที่กำหนดหนึ่งเสี้ยวก่อน จึงเริ่มทำการเปิดระบบแวกคัมอัลตราไวโอเลต



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบการย่อยสลายเบนซีนที่ความเข้มข้นของไอระเหยเบนซีน 20-150 ppm และอัตราการไหลคงที่ 1 ลิตรต่อนาที (ระยะเวลาพักกัก 3.03 นาที)

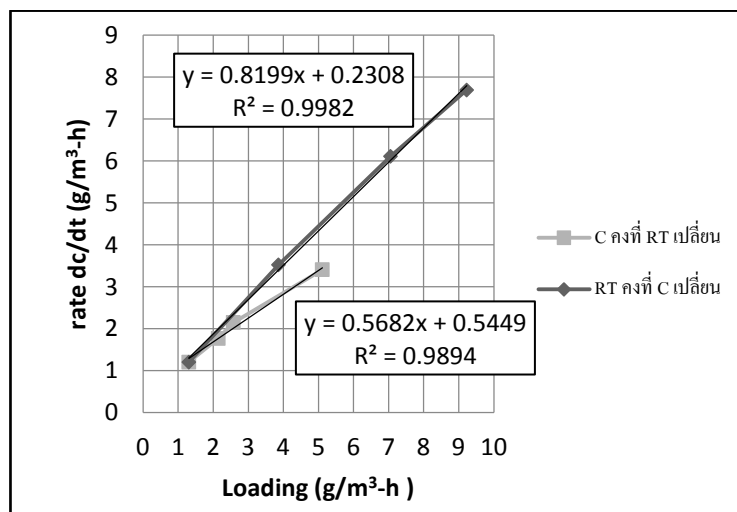
จากการทดลองในส่วนนี้พบว่าเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของไอระเหยเบนซีนแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงโดยที่ความเข้มข้น 20, 60, 110 และ 150 ppm ได้ประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 92.52, 91.92, 87.39 และ 84.20% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของค่าการระเหยอินทรีย์ในระบบที่สูงขึ้นทำให้ระบบบำบัดมีประสิทธิภาพลดลง โดยคิดเป็นค่าการระเหยอินทรีย์ที่เข้าเท่ากับ 1.310, 3.871, 7.064 และ 9.230 g/m^3 -h ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยสลายเบนซีน เมื่ออัตราการไหลของไอระเหยเบนซีนคงที่ 1 ลิตรต่อนาทีในช่วงความเข้มข้นไอระเหยเบนซีน 20-150 ppm

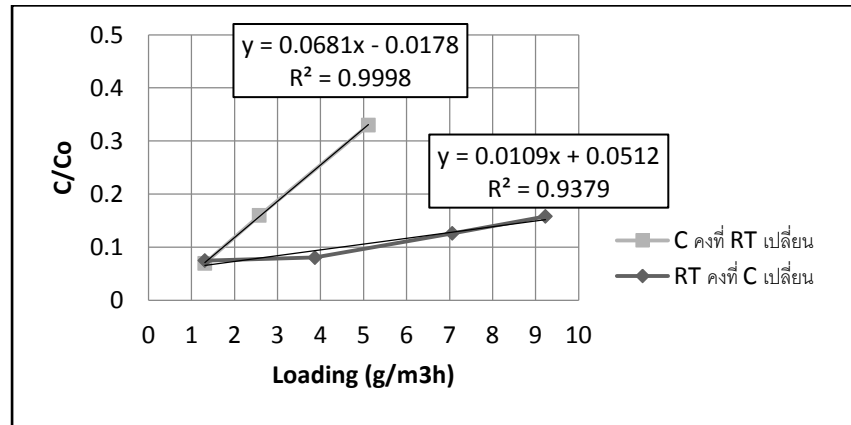
4.2.3 การเปรียบเทียบอิทธิพลของระยะเวลาพักและระดับความเข้มข้น

จากรูปที่ 4.7 แสดงถึงอัตราการย่อยสลายเบนซีนของการเปลี่ยนแปลงตัวแปร 2 ชนิด (ระยะเวลาพักพักและระดับความเข้มข้น) เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าภาระสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบจะพบว่าที่ค่าภาระสารอินทรีย์ที่เท่ากัน การทดลอง โดยการเปลี่ยนความเข้มข้นจะประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงกว่า โดยสามารถสามารถสังเกตได้จากเส้นกราฟที่มีความชันมากกว่า หรือสังเกตจากค่าภาระสารอินทรีย์ในช่วง 4 หรือ 5 $\text{g/m}^3\text{-h}$ จะเห็นได้ชัดว่า เส้นกราฟที่ทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นนั้นอยู่สูงกว่าเส้นกราฟที่ทำการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาพักพัก และที่ค่าภาระสารอินทรีย์สูงสุดที่ $9.23 \text{ g/m}^3\text{-h}$ (RT=3.03 นาที, 144.7 ppm) มีอัตราการย่อยสลายเบนซีนเท่ากับ $7.69 \text{ g/m}^3\text{-h}$ หรือคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 84.20%



รูปที่ 4.7 อัตราการย่อยสลายเบนซีนของกระบวนการแวกคัมอัลตราไวโอเล็ต

ถึงแม้การบำบัดโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นจะให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงกว่า แต่รูปที่ 4.8 จะแสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่กักจะส่งผลต่อประสิทธิภาพบำบัดมากกว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น โดยสามารถสังเกตได้จากเส้นกราฟที่มีความชันมากกว่า จึงกล่าวได้ว่าอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงความระะยะเวลาการกักมีมากกว่าอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของไอระเหยเบนซิน

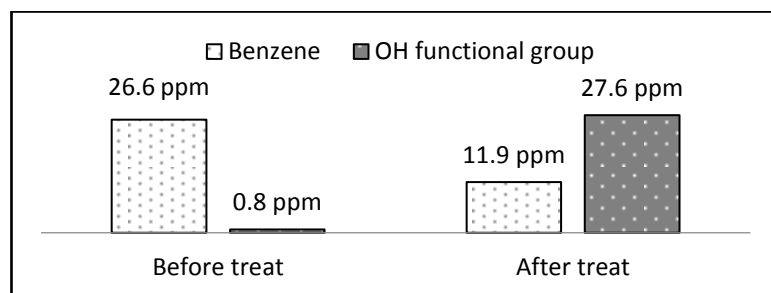


รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบการย่อยสลายระหว่างระยะเวลาการกักและระดับความเข้มข้น

4.2.4 การเปลี่ยนรูปของเบนซินหลังผ่านการบำบัด

เมื่อทำการบำบัดไอระเหยเบนซินแล้วได้ทำการทดสอบการเปลี่ยนรูปของเบนซินโดยใช้เครื่อง FTIR ตรวจสอบสารประกอบอื่นๆ เมื่อทำการบำบัดด้วยแสงเวคัลัมอัลตราไวโอเล็ตแล้วพบว่ามีการประกอบกลุ่มแอลกอฮอล์ ที่มี Hydroxyl Group ติดอยู่เกิดขึ้นภายหลังการบำบัด โดยมีความเข้มข้น 27.6 ppm ดังรูปที่ 4.9

ตามทฤษฎีแล้วเมื่อเบนซินทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลเรดดิคอลแล้วจะเปลี่ยนรูปไปเป็น Phenol และ Nitrobenzene เป็นหลัก ตามหัวข้อที่ 2.6 และจะมีสารตัวกลาง (intermediate) ได้แก่ 1,4-benzoquinone and hydroquinone. (Hennezel et al., 1998)



รูปที่ 4.9 สัดส่วนของเบนซินและหมู่ไฮดรอกซิลก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธี

4.3 การบำบัดด้วยกระบวนการกรองชีวภาพ

4.3.1 การหาขนาดของรูพรุนและพื้นที่ผิวของ Ceramic ring และ Kaolinite silica

ตัวกลางทั้ง 2 ชนิดที่นำมาใช้ในการตรึงฟิล์มชีวภาพครั้งนี้ มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน โดยจะทำการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและรูพรุน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดโอโรเซเหเบนซินว่าเมื่อตรึงฟิล์มลักษณะเดียวกันแล้ว ตัวกลางชนิดใดจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดโอโรเซเหเบนซินได้ดีกว่ากัน โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.1

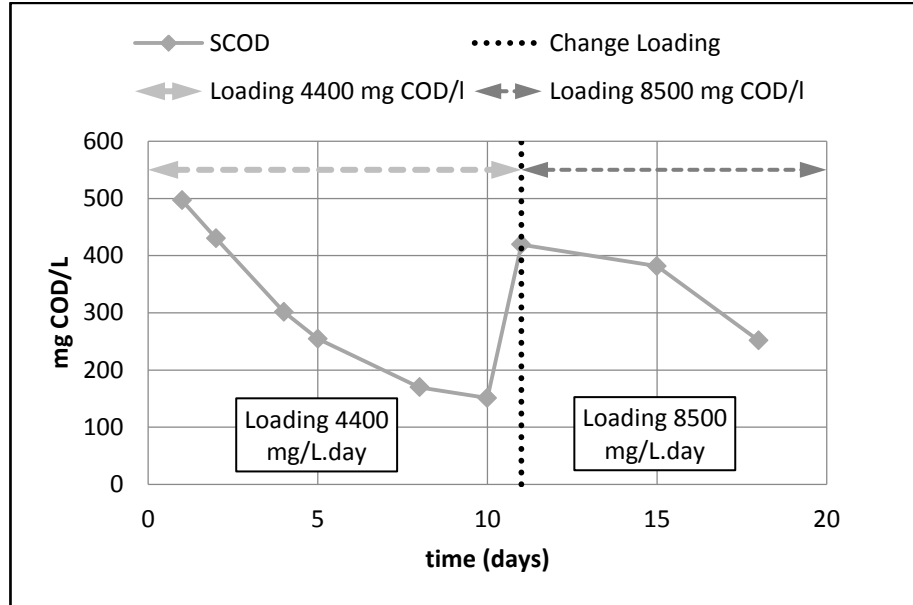
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ขนาดของรูพรุนและพื้นที่ผิว

Type	Surface Area (m ² /g)	Total Pore Volume (cc/g)	Pore Diameter (Å)	Micro Pore Volume (cc/g)	Mesopore Volume + Macropore Volume (cc/g)
Ceramic ring	1.23	0.0029	93.00	0.00019	0.0027
Kaolinite silica	14.22	0.1582	444.90	0.00580	0.1524

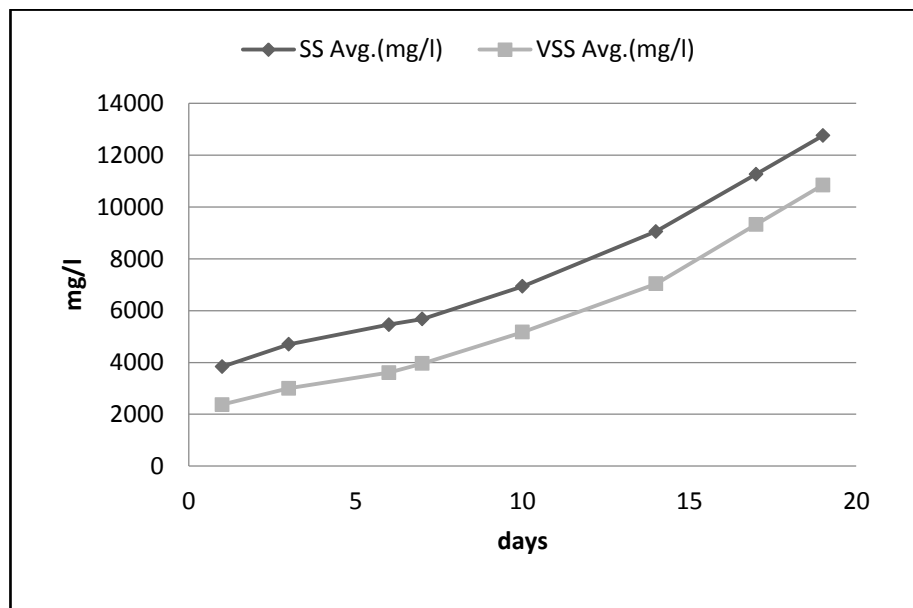
จากผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าพื้นที่ผิวในงานวิจัยอื่นๆ เช่น พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์อยู่ที่ 500-1500 m²/g (บุญรักษา กาญจนวรวณิชย์, 2552) และพื้นที่ผิวของของดินเผามวลเบาอยู่ที่ 164.90 m²/g (ชลันดา กุ่มวงษ์, 2554) จะเห็นว่าตัวกลางทั้ง 2 ตัวที่นำมาใช้มีพื้นที่ผิวที่น้อยมากเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น

4.3.2 การเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์

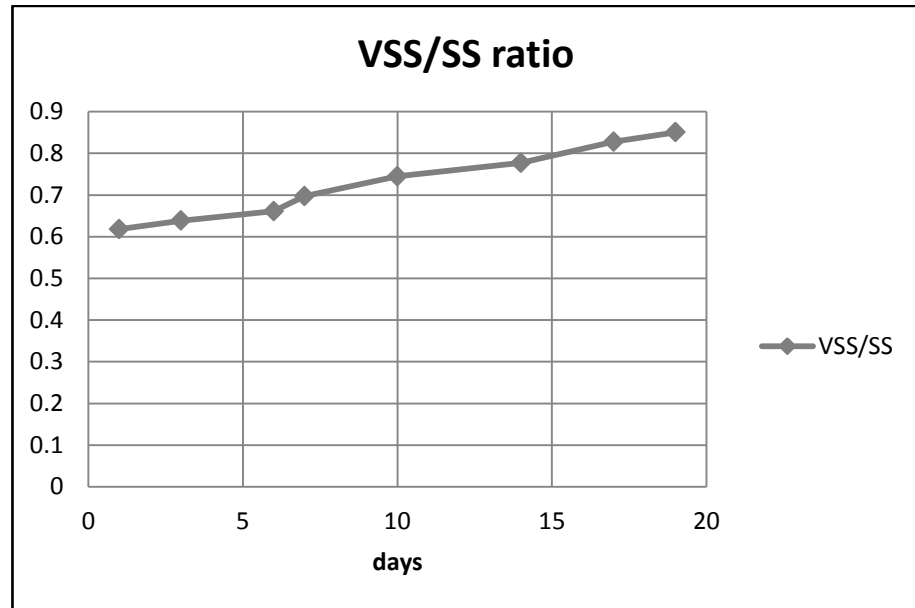
การเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์จะใช้เชื้อจุลินทรีย์จากระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ ของโรงบำบัดน้ำทุ่งครุ โดยนำมาเลี้ยงโดยใช้น้ำตาลซูโครส (C₁₂H₂₂O₁₁) เป็นแหล่งคาร์บอน แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH₄Cl) เป็นแหล่งไนโตรเจน โดยควบคุมค่า COD:N เท่ากับ 20 : 1 การใช้น้ำตาลซูโครสแทนที่การใช้เบนซินนั้น เนื่องจากเบนซินเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้น้อย ระบายได้ง่ายและเป็นสารก่อมะเร็ง จึงต้องทำการปรับสภาพของจุลินทรีย์โดยใช้โอโรเซเหเบนซินในหอกรองชีวภาพแทน หลังจากการเลี้ยงเชื้อและตรึงฟิล์มชีวภาพเรียบร้อยแล้ว โดยผลการย่อยสลายอินทรีย์ละลายน้ำของเชื้อจุลินทรีย์ และปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.10 - 4.12



รูปที่ 4.10 ปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำขาออกของถังเลี้ยงเชื้อ



รูปที่ 4.11 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อ



รูปที่ 4.12 อัตราส่วน VSS/SS

4.3.3 การตรึงฟิล์มชีวภาพ

หลังจากทำการทดสอบการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์เป็นเวลา 20 วันในปฏิกรณ์ขนาด 20 ลิตรพบว่า เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีตามสูตรอาหารหลักและอาหารรองดังกล่าว จึงได้ทำการย้ายปฏิกรณ์เป็นขนาด 60 ลิตร เพื่อให้มีพื้นที่เพียงพอต่อการใส่ตัวกลางเพื่อเริ่มทำการตรึงฟิล์ม ดังรูปที่ 4.4 โดยแบ่งเชื้อจุลินทรีย์จากปฏิกรณ์ขนาด 20 ลิตร จำนวน 10 ลิตร โดยควบคุมค่า COD : N ให้เท่ากับ 20 : 1 เช่นเดิม ภายหลังจากการตรึงฟิล์มเป็นเวลา 3 สัปดาห์ สังเกตได้ว่าบนผิวของตัวกลางทั้ง 2 ชนิดเริ่มมีไบโอฟิล์มเกิดขึ้น ดังรูปที่ 4.13 - 4.14





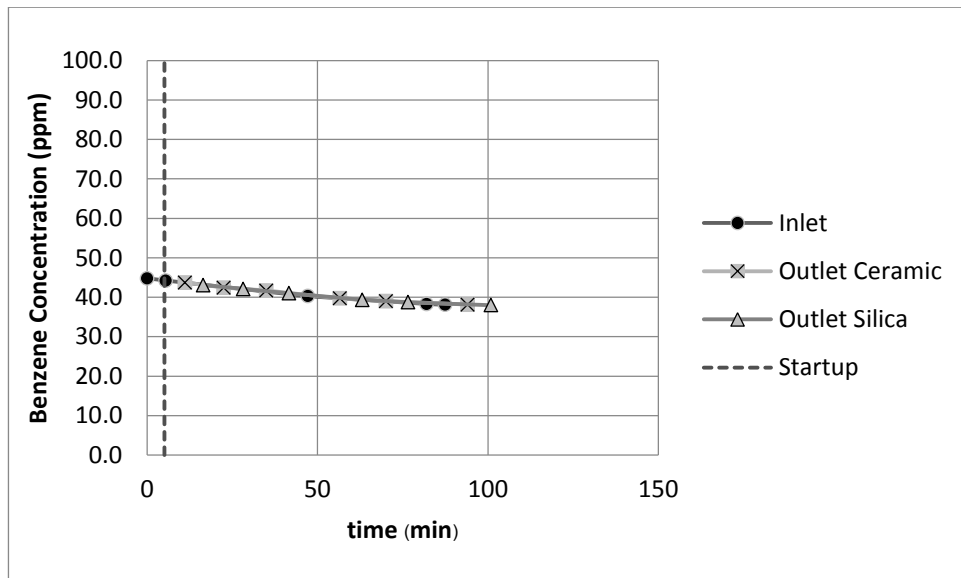
รูปที่ 4.13 (A.) ปฏิกรณ์ที่ใช้ตรึงฟิล์มขนาด 60 ลิตร (B.) ตัวกลางที่ใช้ในการตรึงฟิล์ม (ซ่าย Kaolinite silica, ขาว Ceramic ring)



รูปที่ 4.14 การเกิดฟิล์มชีวภาพบนตัวกลาง (ซ่าย Kaolinite Silica, ขาว Ceramic ring)

4.3.4 การทดสอบการดูดซับทางกายภาพของตัวกลางทั้ง 2 ชนิด

เนื่องจากการบำบัดทางชีวภาพในกระบวนการกรองชีวภาพนั้น มีการใช้ตัวกลางที่มีรูพรุนเพื่อเป็นที่อยู่อาศัยของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งตามทฤษฎีแล้วการบำบัดมลพิษในช่วงแรกของการเริ่มระบบนั้น จะเป็นผลมาจากกระบวนการดูดซับทางกายภาพของตัวกลางร่วมกับการบำบัดที่เป็นผลมาจากการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ จนกระทั่งผ่านไประยะเวลาหนึ่งเมื่อตัวกลางอิ่มตัวด้วยสารมลพิษจนไม่สามารถดูดซับทางกายภาพได้อีก ระบบจึงจะเข้าสู่การบำบัดโดยเชื้อจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียว โดยการทดสอบทางกายภาพนั้นจะใช้ตัวกลางเปล่าที่ไม่ได้ทำการตรึงด้วยเชื้อจุลินทรีย์และให้ความชื้นเหมือนกันกับชุดทดลองที่มีการตรึงเชื้อจุลินทรีย์

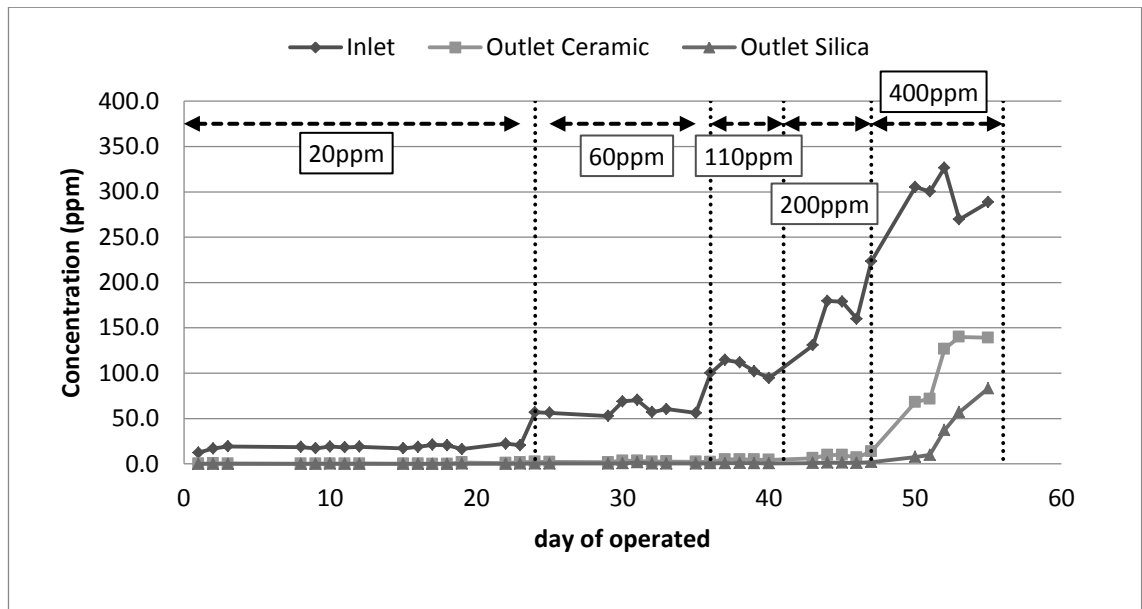


รูปที่ 4.15 การทดสอบการบำบัดทางกายภาพของตัวกลางทั้ง 2 ชนิด

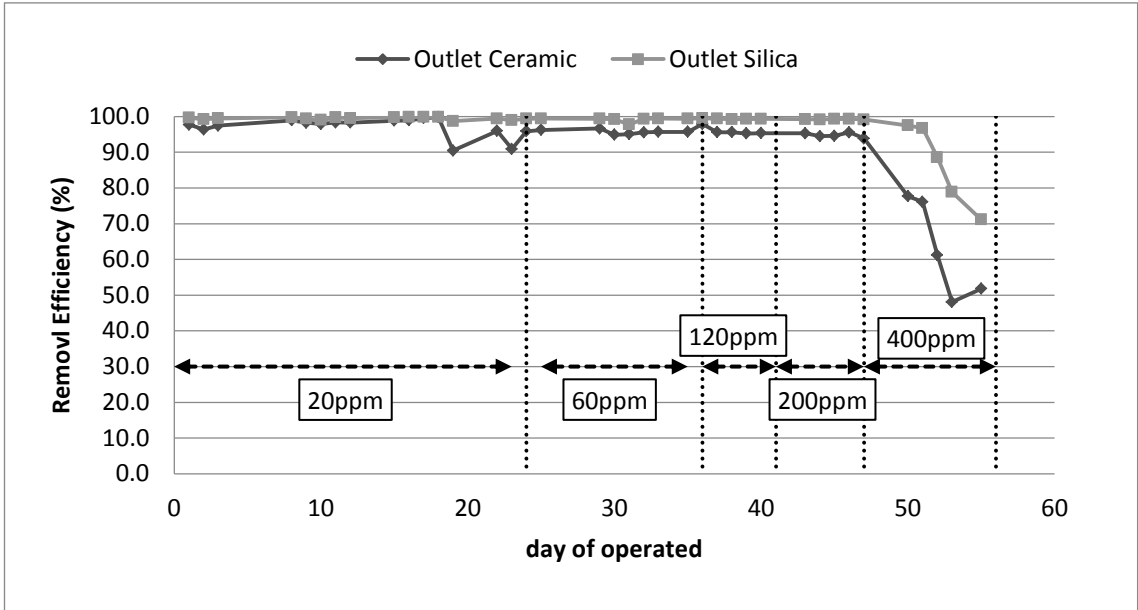
ผลการทดลองพบว่าเมื่อเริ่มทำการปล่อยไอระเหยเบนซีน (ความเข้มข้น 40 ppm อัตราการไหลของไอระเหย 1.5 ลิตร/นาที) เข้าสู่ชุดทดสอบการดูดซับทางกายภาพ จนกระทั่งเต็มไอระเหยเต็มปฏิกรณ์แล้ววัดความเข้มข้นขาออกทันทีพบว่า ความเข้มข้นขาออกของตัวกลางทั้ง 2 ชนิด มีค่าเท่ากับความเข้มข้นขาเข้าภายในเวลาไม่กี่นาที ไม่สามารถดูดซับไอระเหยเบนซีนต่อไปได้อีกดังรูปที่ 4.15 แสดงว่าตัวกลางทั้ง 2 ชนิด เซรามิกริง (Ceramic ring) และ kaolinite activated silica (KAS) อิ่มตัวด้วยไอระเหยเบนซีนในระยะเวลาสั้นๆหรือดูดซับได้น้อยเนื่องจากพื้นที่ผิวที่น้อยมากเพียง 1.23 m³/g (Ceramic ring) และ 14.22 m²/g (KAS) กล่าวได้ว่าการบำบัดด้วยกระบวนการกรองชีวภาพ (ชุดที่มีการตรึงฟิล์มจุลินทรีย์) นั้น เป็นการบำบัดด้วยเชื้อจุลินทรีย์ตั้งแต่ช่วงการเริ่มต้นการทดลอง

4.3.5 การบำบัดไอระเหยเบนซีนด้วยกระบวนการกรองชีวภาพ

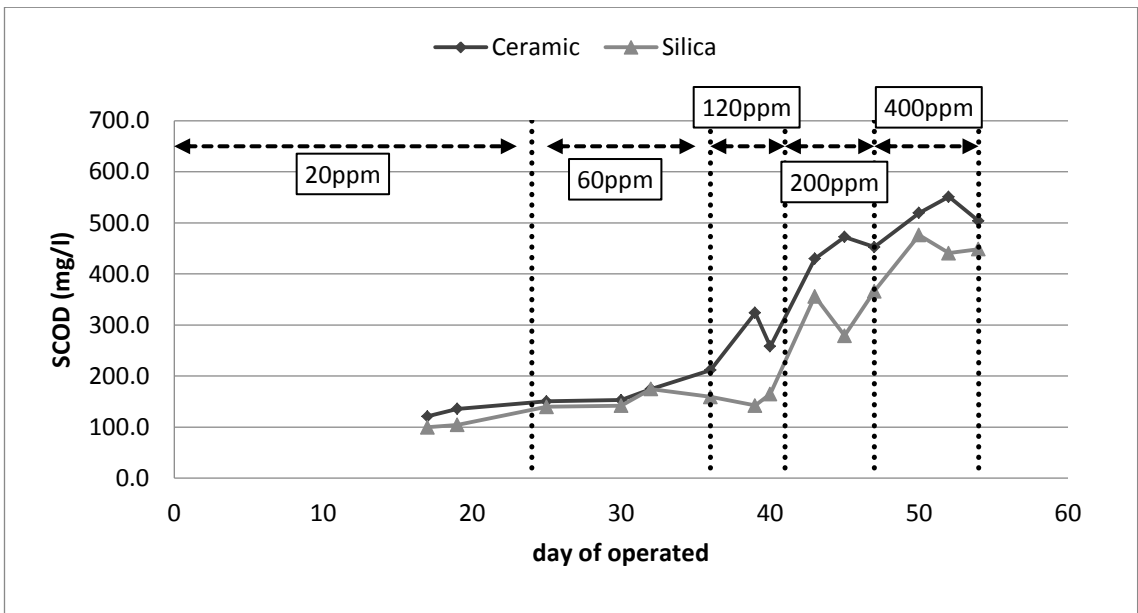
จากรูปที่ 4.16 - 4.19 พบว่าการบำบัดไอระเหยเบนซีนในช่วงความเข้มข้นของไอระเหยเบนซีนในช่วง 20 ไปจนถึง 200 ppm หอกรองชีวภาพจากตัวกลางทั้ง 2 ชนิด สามารถบำบัดไอระเหยเบนซีนได้โดยให้ประสิทธิภาพในการบำบัดมากกว่า 95% โดยหอกรองที่บรรจุ KAS จะมีค่าสูงกว่าเล็กน้อยและจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดในช่วงความเข้มข้น 400 ppm จากค่าภาระสารอินทรีย์ที่สูงมากเกินทำให้ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็วโดยกระบวนการกรองชีวภาพที่ใช้ Ceramic ring ลดลงถึง 48.1% และ KAS ลดลงถึง 71.1% ดังรูปที่ 4.16



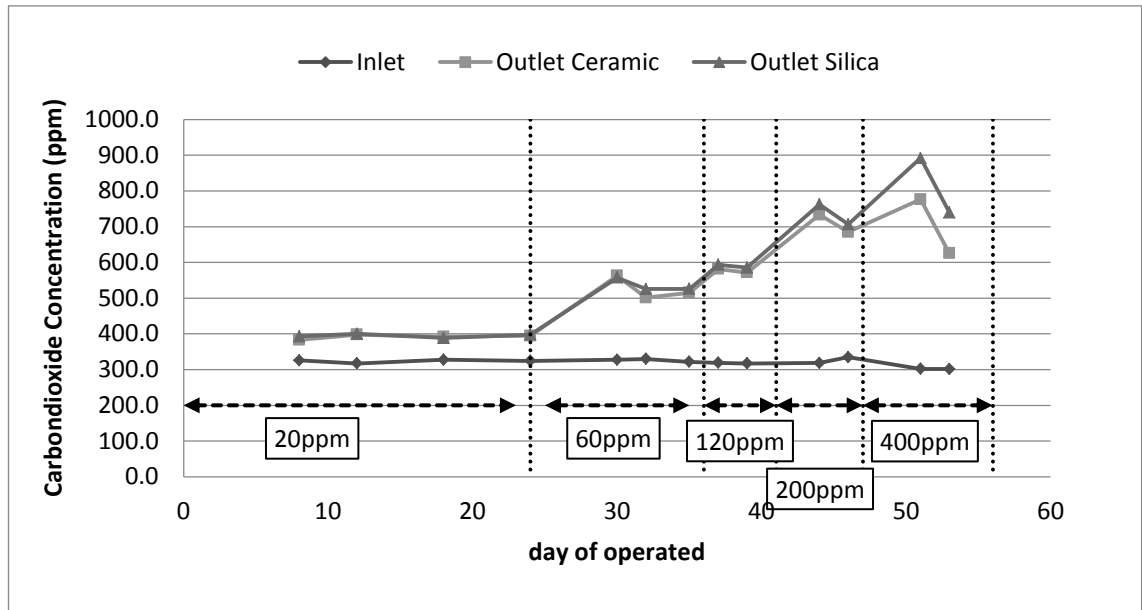
รูปที่ 4.16 การบำบัดไอระเหยเบนซีนที่ค่าภาระสารอินทรีย์ต่างๆ



รูปที่ 4.17 ประสิทธิภาพในการบำบัดไอระเหยเบนซีนที่ค่าภาระสารอินทรีย์ต่างๆ



รูปที่ 4.18 ปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำของน้ำชะจากกระบวนการกรองชีวภาพ



รูปที่ 4.19 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตได้จากกระบวนการกรองชีวภาพ

นอกจากนี้การตรวจสอบปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำชะหดรองยังพบว่าปริมาณค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำในระบบมีค่าสูงขึ้นตามค่าการระสารอินทรีย์หรือความเข้มข้นที่สูงขึ้น เป็นผลมาจากการละลายน้ำบางส่วนของเบนซินและกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ โดยจากความเข้มข้น 20, 60, 120, 200 และ 400 ppm มีค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำของน้ำชะหดรองเฉลี่ยของ Ceramic ring เท่ากับ 128.27, 159.24, 264.27, 451.47 และ 524.59 mg/l ตามลำดับ และ KAS เท่ากับ 101.96, 152.02, 155.35, 333.58 และ 455.08 mg/l ตามลำดับดังรูปที่ 4.18

เมื่อจุลินทรีย์ในระบบกรองชีวภาพย่อยสลายเบนซินแล้วจะเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปของสารชีวมวล ในที่นี้คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งตามทฤษฎีแล้วการย่อยสลายสารอินทรีย์จะเป็นไปตามสมการ

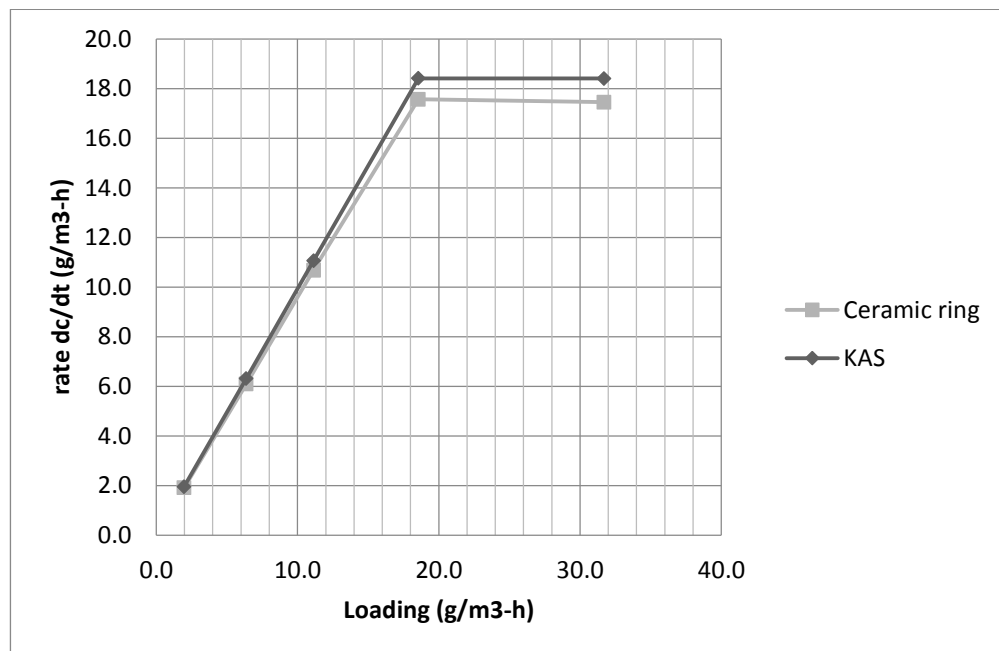


ค่า Yield ของ CO_2 จะมีค่าเท่ากับ 0.56 g CO_2 /g Benzene ในช่วงการระสารอินทรีย์ 20, 60, 120, 200 และ 400 ppm จะคิดเป็นปริมาณ Benzene ได้เท่ากับ 91.87, 275.62, 551.23, 918.72 และ 1837.44 mg benzene/day ดังนั้นจะค่า CO_2 ตามทฤษฎีจะได้เท่ากับ 51.45, 154.34, 308.69, 514.48 และ 1028.97 mg CO_2 /day หรือ 28.6, 85.8, 171.5, 285.9 และ 571.8 ppm ตามลำดับ โดยปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระบบผลิตได้นั้นมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น เป็นไปตามค่าการระสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น โดยจากความเข้มข้นของเบนซินที่ 20, 60, 120, 200 และ 400 มีค่าการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

เฉลี่ยของ Ceramic ring เท่ากับ 68.4, 199.9, 258.5, 382.4 และ 399.0 ppm ตามลำดับ และ KAS เท่ากับ 71.2, 209.8, 271.3, 407.7 และ 513.9 ppm ตามลำดับดังรูปที่ 4.19

4.3.6 อัตราการย่อยสลายเบนซีนของกระบวนการกรองชีวภาพจากตัวกลาง 2 ชนิด

อัตราการย่อยสลายเบนซีนด้วยกระบวนการกรองชีวภาพ โดยการใช้ตัวกลาง 2 ชนิด คือ Ceramic ring และ KAS (Kaolinite Activted Silica) จากรูปที่ 4.20 พบว่าอัตราการย่อยสลายจากตัวกลางทั้ง 2 ชนิดมีความใกล้เคียงกัน โดยระบบกรองที่ใช้ KAS เป็นตัวกลางจะใช้ประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงกว่าระบบกรองที่ใช้ Ceramic ring เป็นตัวกลางเล็กน้อย โดยจะสังเกตเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าภาระสารอินทรีย์ไปจนถึง ประมาณ $18 \text{ g/m}^3\text{-h}$ ระบบจะไม่สามารถบำบัดโอโรเซเหยเบนซีนได้สูงกวานี้ กล่าวได้ว่าเป็นค่าภาระสารอินทรีย์สูงสุดที่ระบบสามารถบำบัดได้ (Maximun Loading) หรือที่เรียกว่าค่า Elimination capacity (EC) ซึ่งระบบกรองที่ใช้ KAS เป็นตัวกลางในระบบมีค่า EC เท่ากับ $18.41 \text{ g/m}^3\text{-h}$ และระบบกรองที่ใช้ Ceramic ring เป็นตัวกลางมีค่า EC เท่ากับ $17.56 \text{ g/m}^3\text{-h}$



รูปที่ 4.20 อัตราการย่อยสลายเบนซีนของกระบวนการกรองชีวภาพ

4.3.7 ลักษณะของตัวกลางทั้ง 2 ชนิดก่อนและหลังการบำบัด

จากตารางที่ 4.2 จะแสดงให้เห็นถึงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ก่อนและหลังการบำบัดไอรยะเบนซีน โดยจะพบว่า KAS จะสามารถเก็บความชื้นได้ดีกว่าโดยมีความชื้นอยู่ที่ 38-40 % ซึ่งมีค่ามากกว่า Ceramic ring ที่มีความชื้นอยู่ที่ 27-29 % อยู่ประมาณ 10%

ตารางที่ 4.2 น้ำหนักของตัวกลาง ความชื้น และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ก่อนและหลังการบำบัด

ชนิดตัวกลาง	การบำบัด	รอบ	บอหนอกแห้ง (กรัม) (ปกติ)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (กรัม)	พื้นที่แห้ง (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ความชื้น (%)	สัดส่วน (กรัม เซลล์/กรัม ตัวกลาง)
ceramic ring	ก่อนบำบัด			1.8999	0.5530	28.97	0.0075	1.3393	0.39	0.00395
		หลังบำบัด	3	1.8556	0.5027	27.10	0.0150	1.3380	0.81	0.00808
	หลังบำบัด	2	1.9088	0.5226	27.34	0.0173	1.3690	0.90	0.00906	
		1	1.8321	0.5016	27.54	0.0166	1.3139	0.91	0.00906	
KAS	ก่อนบำบัด			0.4506	0.1747	38.76	0.0035	0.2725	0.78	0.00777
		หลังบำบัด	3	0.4506	0.1792	39.76	0.0036	0.2678	0.80	0.00799
	หลังบำบัด	2	0.4581	0.1776	38.76	0.0049	0.2757	1.06	0.01070	
		1	0.4550	0.1784	39.26	0.0059	0.2707	1.29	0.01297	

หมายเหตุ น้ำหนักของตัวกลางเป็นค่าเฉลี่ยจาก 10 ตัวอย่าง

ชั้น 1 ขอหออกรองนับจากชั้นล่างสุด (การไหลของไอรยะเบนซีนเป็นแบบ Upflow)

ส่วนปริมาณเชื้อจุลินทรีย์บนตัวกลางก่อนการบำบัดพบว่า KAS สามารถกักเก็บเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่าโดยมีค่าอยู่ที่ 0.00777 กรัมเซลล์/กรัม KAS ส่วน Ceramic ring มีค่าอยู่ที่ 0.00395 กรัมเซลล์/กรัม Ceramic ring และภายหลังการบำบัดยังพบอีกว่าการเจริญเติบโตของเซลล์จุลินทรีย์ในแต่ละชั้นของหออกรองมีค่าเพิ่มขึ้นที่แตกต่างกัน ซึ่งชั้นที่หนึ่งของหออกรองเซลล์ของจุลินทรีย์มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากที่สุดและลดหลั่นลงมา เมื่อชั้นขออกรองสูงขึ้น โดย Ceramic ring เพิ่มขึ้นจากเดิม 57%, 56% และ 51% ตามลำดับ และ KAS เพิ่มขึ้นจากเดิม 40%, 26% และ 2.6% ตามลำดับ ซึ่งปริมาณเชื้อในชั้นแรกจะเพิ่มมากที่สุดเหมือนกันกับตัวกลางทั้ง 2 ชนิด ซึ่งปริมาณเชื้อที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดที่ชั้นที่ 1 เกิดจากการได้รับสารอาหาร (เบนซีน) เป็นชั้นแรก เบนซีนบางส่วนถูกย่อยสลายไปในชั้นกรองแรกทำให้ใน

ชั้นกรองต่อไปจึงได้รับสารอาหารในปริมาณที่น้อยกว่าจึงมีอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่าจากการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์จะเห็นว่าถึงแม้ Ceramic ring จะมีความสามารถในการกักเก็บเชื้อจุลินทรีย์และความชื้นได้น้อยกว่า KAS แต่ Ceramic กลับมีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่สูงกว่า

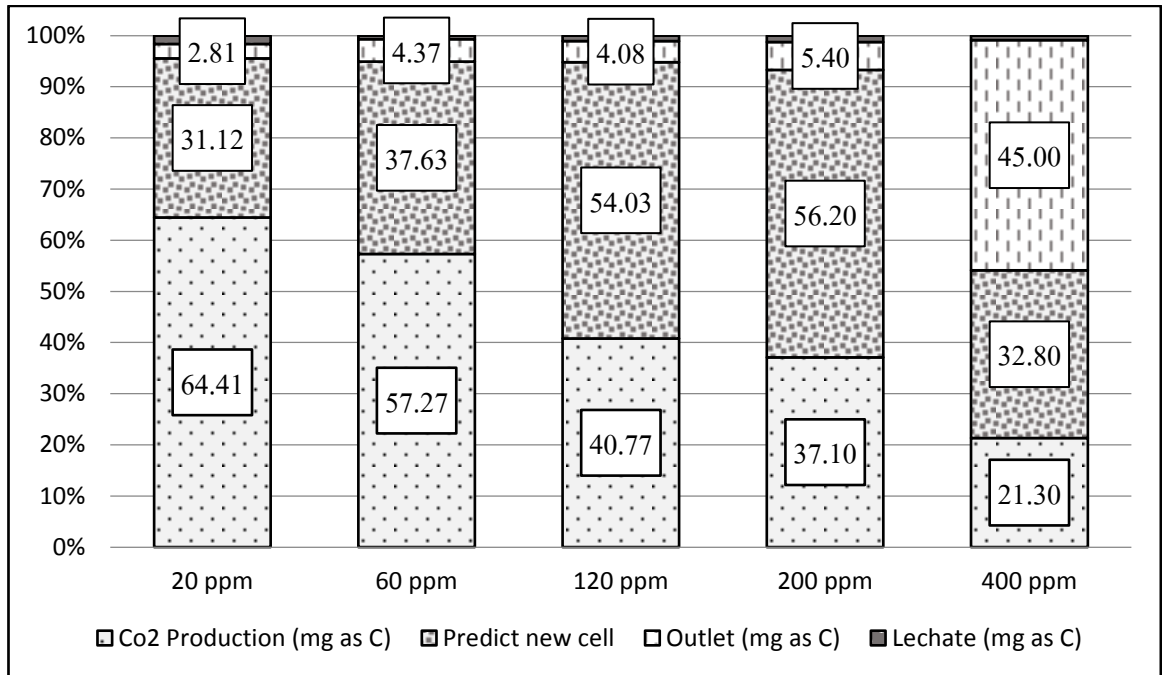
ในการทดลองนี้การติดตามการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในหอกรองทำได้แต่ก่อนและหลังการบำบัด เนื่องจากมีข้อจำกัดของระบบบำบัดหลายข้อด้วยกัน เช่น ตัวกลางที่นำมาวิเคราะห์ด้วยการเผา จะไม่สามารถนำกลับไปใช้ต่อในระบบได้อีก และการนำตัวกลางไปวิเคราะห์ในแต่ละครั้งจะทำให้ปริมาณตัวกลางลดน้อยลง อีกทั้งการประกอบเข้าออกอุปกรณ์มีความยุ่งยากและใช้เวลานาน จึงทำให้การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของเซลล์ในตัวกลางทำได้ยาก

4.3.8 สมดุลมวลภายในระบบ

เมื่อกระบวนการบำบัดเกิดขึ้นในระบบการกรองชีวภาพ ปริมาณสารอินทรีย์ (โอะระเหยเบนซีน) จะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้สำหรับกิจกรรมภายในเซลล์เพื่อการเจริญเติบโตของเชื้อในหอกรองและเปลี่ยนรูปแบบเบนซีนให้กลายเป็นสารชีวมวล (Biomass) ซึ่งในที่นี้ก็คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ตารางที่ 4.3 จะแสดงให้เห็นถึงสมดุลมวลโดยถูกจัดทำให้อยู่ในรูปแบบของมวลคาร์บอน โดยจากการทดลองในแต่ละช่วงความเข้มข้นต่างๆ มีสัดส่วนของคาร์บอนแตกต่างกันไป โดยการเปลี่ยนรูปไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 21.30-64.41% การระลายนํ้าของเบนซีน 0.90-1.66 % และการเกิดเป็นเซลล์ใหม่ 31.12-56.20% (ค่าจากการคำนวณ) ดังรูปที่ 4.21

ตารางที่ 4.3 สมดุลปริมาณคาร์บอนในระบบกรองชีวภาพ

Test No.	20 ppm	60 ppm	120 ppm	200 ppm	400 ppm
Inlet (mg as C)	78.3	253.9	443.9	740.1	1264
Outlet (mg as C)	2.2	11.1	18.1	39.6	568.2
CO ₂ Production (mg as C)	50.5	145.4	181	274.6	268.8
Lechate (mg as C)	1.3	1.86	4.95	10	12
Predict new cell (mg as C)	24.3	95.54	239.85	415.9	415



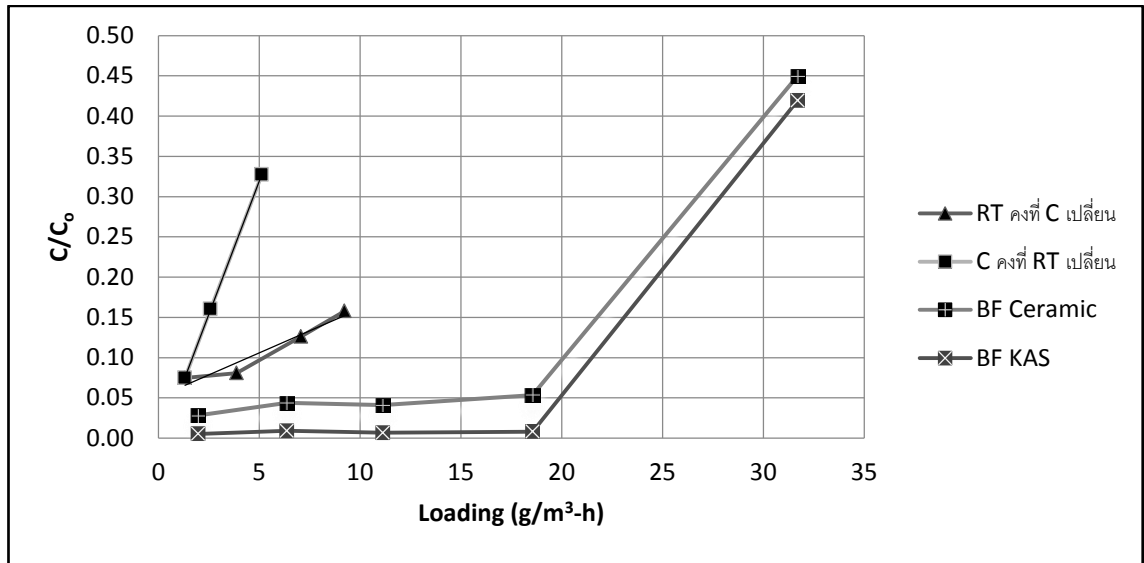
รูปที่ 4.21 สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงสารเบนซีนไปในรูปแบบต่างๆ

4.3.9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดจากทั้ง 2 ระบบ

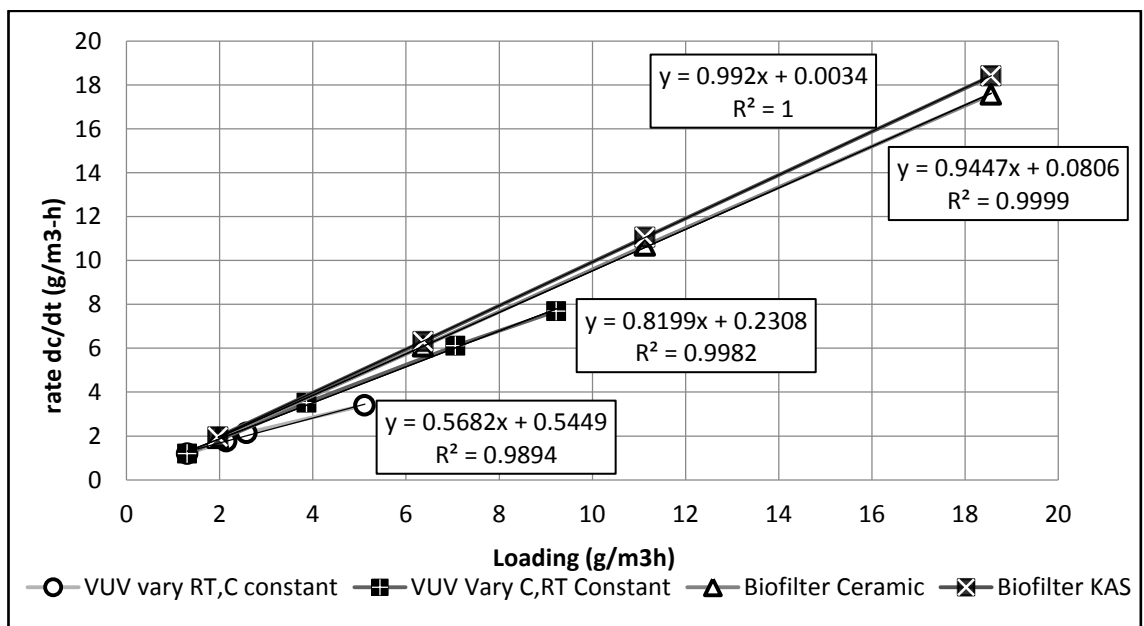
เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการระเหยอินทรีย์ของการบำบัดด้วยกระบวนการแวกคัมอัตราไวโอเลตพบว่า อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาพักในขณะที่ระยะเวลาพักคงที่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดดีกว่าการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นในขณะที่ความเข้มข้นคงที่

ส่วนการบำบัดด้วยกระบวนการกรองชีวภาพพบว่า ตัวกลางทั้ง 2 ชนิดสามารถให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่มากกว่า 90% ในช่วงความค่าการระเหยอินทรีย์ประมาณ 0 - 21 g/m³-h และประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลงต่ำกว่า 90% เมื่อค่าการระเหยอินทรีย์สูงขึ้น โดยตัวกลาง KAS ที่มีความพรุน พื้นที่ผิว และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่สูงกว่า Ceramic ring จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่กว่าเพียง 4.6% โดยสามารถแบกรับค่าสารอินทรีย์สูงสุดเท่ากับ 17.56 g/m³-h (Ceramic ring) และ 18.41 g/m³-h (KAS)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของทั้ง 2 ระบบพบว่า การบำบัดด้วยกระบวนการกรองชีวภาพสามารถแบกรับค่าการระเหยอินทรีย์ของไอระเหยเบนซีนได้สูงกว่าการบำบัดด้วยกระบวนการแวกคัมอัตราไวโอเลต ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบค่าการสารอินทรีย์และประสิทธิภาพการบำบัด



รูปที่ 4.23 อัตราการย่อยสลายเบนซีนด้วยแสงและกระบวนการกรองชีวภาพ

จากรูปที่ 4.22 สำหรับกระบวนการบำบัดด้วยแสงแควคัมอัลตราไวโอเลตจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่พิกนั้นมีส่งผลต่อการบำบัดมากกว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอระเหยเบนซีน และเมื่อทำการเปรียบเทียบระบบบำบัดทั้ง 2 ระบบที่ระยะเวลาที่พิกและความเข้มข้นที่เท่ากัน (1.8 นาที, 20 ppm) พบว่า ระบบบำบัดด้วยกระบวนการแควคัมอัลตราไวโอเลตให้อัตราการย่อยสลายเบนซีนเท่ากับ 1.77 g/m³-h (ค่าจากการคำนวณ) ระบบบำบัดเบนซีนด้วยกระบวนการกรองชีวภาพให้อัตราการย่อยสลายสารเบนซีนอยู่ที่ 1.91g/m³-h Ceramic-BF และ 1.96 g/m³-h KAS-BF ซึ่งมากกว่าระบบวิยวอยู่ 7.3 % และ 9.7 % ตามลำดับดังรูปที่ 4.23

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆการบำบัดด้วยกระบวนการกรองชีวภาพ ยังมีค่า Elimination Capacity ที่ต่ำกว่าหลายๆงานวิจัยอยู่ 8.41-46.01% ส่วนกระบวนการบำบัดด้วยแสงยังคงมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 4.4 และ 4.5

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบการบำบัดเบนซีนด้วยกระบวนการกรองชีวภาพและVUVกับงานวิจัยอื่นๆ

Medium	Elimination capacity (g/m ³ -h)	ชนิดของระบบ	reference
Ceramic ring & KAS	18.41	Biofilter	งานวิจัยนี้
Sucarcane	3.8	Biofilter	L.sene etal.(2002)
Activated carbon	20.1	Biofilter	Jong-O Kim (2003)
Powdered compost	24.8	Biofilter	Zilli et al.(2005)
polyurethane	30-40	Biofilter	Eun-lee etal.(2009)
LECA (soil)	34.1	Biofilter	ชลันดา คุ่มวงษ์(2011)

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบการการบำบัดเบนซีนด้วยแสงในงานวิจัยอื่นๆ

Concentration (ppm)	RT (min)	Conversion (%)	ชนิดของ ระบบ	reference
20 - 150	0.76 – 3.03	67.3 – 92.52	VUV	งานวิจัยนี้
15.7	0.08	30 - 80	UV	Olga d’Hennezel et al. (1998)
50 - 160	2.94	>95%	UV	Wen Wang et al. (2003)
60	6.34	95%	Fluorescent	Norman N. Lichtin (1998)