บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาสมรรถนะการทำงานของกระบวนการตะกอนเร่งที่ใช้ตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เติมลงในถังปฏิกริยาเป็นจำนวนร้อยละ 5, 10 และ 15 ของปริมาตรถังปฏิกริยาและทำการเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำลงในถังปฏิกริยาในช่วง 7 วัน หลังจากที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่โดยสังเกตุจากค่า COD ในรูปของสารอินทรีย์ละลายในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบและค่าความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบมีค่าแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 5 และในการดำเนินระบบต้องใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 2 เท่าของค่าอายุตะกอนที่ทำการศึกษาในแต่ละระบบ โดยผลที่ได้จากการทดลองภายหลังจากที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว สามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อต่าง ๆ สำหรับการแสดงผลและวิจารณ์ผลได้ดังต่อไปนี้

4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนในรูป COD

ผลการทดลองแสดงการทำงานของระบบตลอดช่วง 7 วัน ภายหลังจากการที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ของค่า COD ของน้ำที่เข้าและออกจากระบบที่ดำเนินการทดลอง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยพบว่าค่า COD ที่ได้จากการทดลองของระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ น้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 5.2 วัน มีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูปของ COD อยู่ในช่วง 286-334 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 308 มก./ล. ภายหลังจากผ่านการบำบัดมีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ทั้งหมด (TCOD) อยู่ในช่วง 102-116 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 108 มก./ล. และค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลาย (FCOD) อยู่ในช่วง 64-72 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 68 มก./ล. หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า TCOD และ FCOD เท่ากับร้อยละ 64.9 และ 77.8 ตามลำดับ น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 7.6 วัน มีค่า COD อยู่ในช่วง 288-324 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 306 มก./ล. ภายหลังจากผ่านการบำบัดมีค่า TCOD และ FCOD เหลืออยู่ในช่วง 84-92 มก./ล. และ 54-56 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 88 มก./ล. และ 55 มก./ล. ตามลำดับ หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า TCOD และ FCOD เท่ากับร้อยละ 71.2 และ 82.0 ตามลำดับ ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 12.8 วัน มีค่า COD ของน้ำเสียอยู่ในช่วง 286-324

ตารางที่ 4.1 ค่า COD ของน้ำที่เข้าและออกจากระบบที่ดำเนินการทดลอง

ผลการทดลอง	หน่วย	ระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลาง				ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลาง 5%			
		SRT = 5.2 d	SRT = 7.6 d	SRT = 12.8 d	SRT = 17.6 d	SRT = 4.8 d	SRT = 7.5. d	SRT = 13.3 d	SRT = 18.3 d
ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูป COD									
น้ำเสียที่เข้าระบบ	มก./ล.	308	306	307	308	305	306	307	313
น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ	มก./ล.	108	88	73	62	94	79	67	50
น้ำทิ้งที่ออกจากระบบผ่านการกรอง	มก./ล.	68	55	49	41	59	52	44	36
ประสิทธิภาพการลด TCOD	%	64.9	71.2	76.3	79.8	69.3	74.2	78.0	83.9
ประสิทธิภาพการลด FCOD	%	77.8	82.0	83.9	86.5	80.7	83.0	85.6	88.4

ผลการทดลอง	หน่วย	ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลาง 10%				ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลาง 15%			
		SRT = 4.7 d	SRT = 7.4. d	SRT = 13.4 d	SRT = 18.1 d	SRT = 4.7 d	SRT = 7.3. d	SRT = 13.0 d	SRT = 17.3 d
ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูป COD									
น้ำเสียที่เข้าระบบ	มก./ล.	305	307	303	313	308	307	303	308
น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ	มก./ล.	85	68	55	38	91	79	66	55
น้ำทิ้งที่ออกจากระบบผ่านการกรอง	มก./ล.	52	48	33	29	57	50	43	35
ประสิทธิภาพการลด TCOD	%	72.2	77.9	81.7	87.8	70.6	74.3	78.1	82.3
ประสิทธิภาพการลด FCOD	%	82.9	84.4	89.0	90.7	81.5	83.7	85.7	88.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

มก./ล. ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 307 มก./ล. หลังจากผ่านการบำบัดมีค่า TCOD อยู่ในช่วง 68-78 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 73 มก./ล. และค่า FCOD อยู่ในช่วง 48-50 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 49 มก./ล. หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า TCOD และ FCOD เท่ากับร้อยละ 76.3 และ 83.9 ตามลำดับ และระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 17.6 วันมีค่า COD ของน้ำเสียอยู่ในช่วง 298-320 มก./ล. ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 308 มก./ล. ภายหลังจากผ่านการบำบัดมีค่า TCOD และ FCOD เหลืออยู่ในช่วง 60-64 มก./ล. และ 40-44 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 62 และ 41 มก./ล. ตามลำดับ หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า TCOD และ FCOD เท่ากับร้อยละ 79.8 และ 86.5 ตามลำดับ

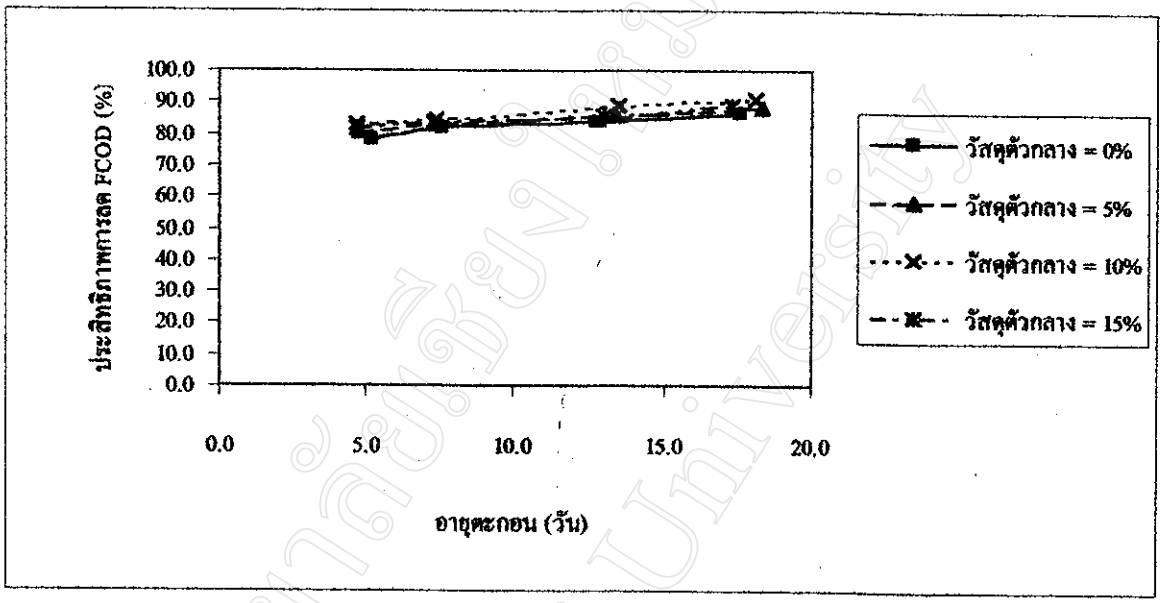
จากการทดลองของระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.8 วัน มีค่า COD อยู่ในช่วง 286-324 มก./ล. มีเฉลี่ยเท่ากับ 305 มก./ล. หลังจากผ่านการบำบัดมีค่า TCOD อยู่ในช่วง 88-100 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 94 มก./ล. และค่า FCOD อยู่ในช่วง 56-60 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 59 มก./ล. หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า TCOD และ FCOD เท่ากับร้อยละ 69.3 และ 80.7 ตามลำดับ น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 7.5 วัน มีค่า COD อยู่ในช่วง 288-324 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 306 มก./ล. โดยภายหลังจากผ่านการบำบัดมีค่า TCOD และ FCOD เหลืออยู่ในช่วง 76-84 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 79 มก./ล. และ 50-54 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 52 มก./ล. ตามลำดับ หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า TCOD และ FCOD เท่ากับร้อยละ 74.2 และ 83.0 ตามลำดับสำหรับระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 13.3 วัน มีค่า COD ของน้ำเสียอยู่ในช่วง 286-324 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 307 มก./ล. ภายหลังจากผ่านการบำบัดมีค่า TCOD อยู่ในช่วง 64-70 มก./ล. ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 67 มก./ล. และค่า FCOD อยู่ในช่วง 42-46 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 44 มก./ล. หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า TCOD และ FCOD เท่ากับร้อยละ 78.0 และ 85.6 ตามลำดับ และระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 18.3 วัน มีค่า COD ของน้ำเสียอยู่ในช่วง 290-330 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 313 มก./ล. ภายหลังจากผ่านการบำบัด มีค่า TCOD และ FCOD เหลืออยู่ในช่วง 48-54 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 50 มก./ล. และ 32-38 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36 มก./ล. ตามลำดับ หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า TCOD และ FCOD เท่ากับร้อยละ 83.9 และ 88.4 ตามลำดับ

ค่า COD ที่ได้จากการทดลองของระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 10 น้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7 วัน มีค่า COD อยู่ในช่วง 286-324 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 305 มก./ล. ภายหลังจากผ่านการบำบัดมีค่า TCOD อยู่ในช่วง 82-88 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 85 มก./ล. และค่า FCOD อยู่ในช่วง 50-54 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 52 มก./ล. หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า TCOD และ FCOD เท่ากับร้อยละ 72.2 และ 82.9 ตามลำดับ น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 7.4 วัน มีค่า COD อยู่ในช่วง 294-336 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 307 มก./ล. โดยภายหลังจากผ่านการบำบัดมีค่า TCOD และ FCOD เหลืออยู่ในช่วง 64-70 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 68 มก./ล. และ 44-50 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 48 มก./ล. ตามลำดับ หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า TCOD และ FCOD เท่ากับร้อยละ 77.9 และ 84.4 ตามลำดับ สำหรับระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 13.4 วัน มีค่า COD ของน้ำเสียอยู่ในช่วง 284-324 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 303 มก./ล. ภายหลังจากผ่านการบำบัดมีค่า TCOD อยู่ในช่วง 52-60 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 55 มก./ล. และค่า FCOD อยู่ในช่วง 30-38 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 33 มก./ล. หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า TCOD และ FCOD เท่ากับร้อยละ 81.7 และ 89.0 ตามลำดับ และระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 18.1 วันมีค่า COD ของน้ำเสียอยู่ในช่วง 290-330 มก./ล. ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 313 มก./ล. ภายหลังจากผ่านการบำบัดมีค่า TCOD และ FCOD เหลืออยู่ในช่วง 36-40 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 38 มก./ล. และ 28-30 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 29 มก./ล. ตามลำดับ หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า TCOD และ FCOD เท่ากับร้อยละ 87.8 และ 90.7 ตามลำดับ

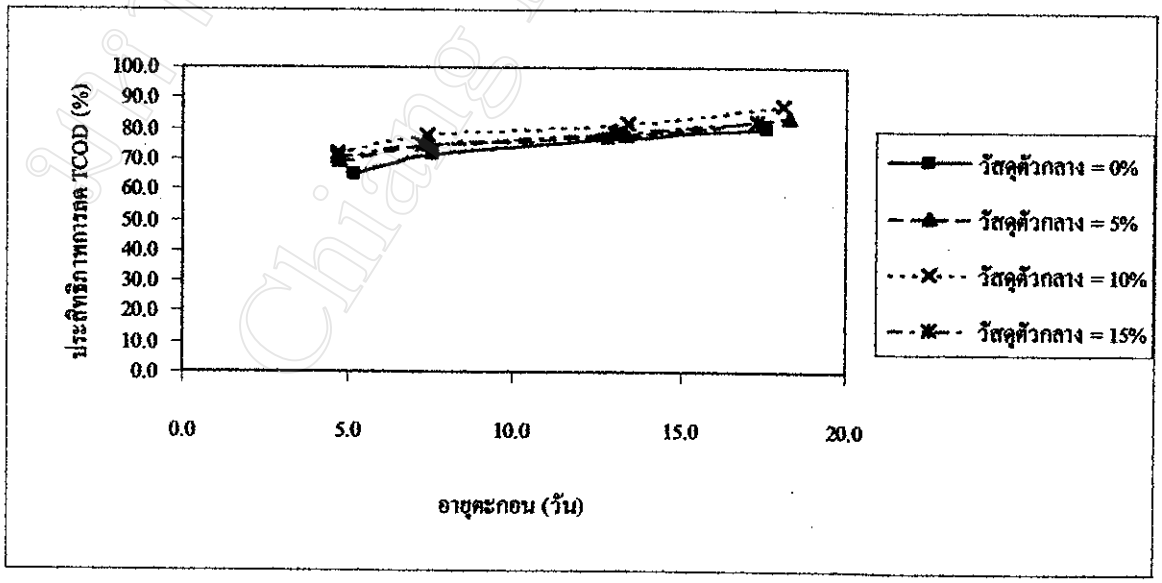
ค่า COD ที่ได้จากการทดลองของระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 15 ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7 วัน มีค่า COD ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบอยู่ในช่วง 286-334 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 308 มก./ล. หลังจากผ่านระบบมีค่า TCOD อยู่ในช่วง 86-94 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 91 มก./ล. และค่า FCOD อยู่ในช่วง 54-60 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 57 มก./ล. หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า TCOD และ FCOD เท่ากับร้อยละ 70.6 และ 81.5 ตามลำดับ น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 7.3 วัน มีค่า COD อยู่ในช่วง 294-336 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 307 มก./ล. หลังจากผ่านระบบมีค่า TCOD และ FCOD เหลืออยู่ในช่วง 74-82 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 79 มก./ล. และ 46-52 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 50 มก./ล. ตามลำดับ หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า TCOD และ FCOD เท่ากับร้อยละ 74.3 และ 83.7 ตามลำดับ สำหรับระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 13.0 วัน มีค่า COD ของน้ำเสียอยู่ในช่วง 284-324 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 303 มก./ล. ภายหลังจากผ่านการบำบัดมีค่า TCOD อยู่ในช่วง 62-70 มก./ล.

เฉลี่ยเท่ากับ 66 มก./ล. และค่า FCOD อยู่ในช่วง 40-46 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 43 มก./ล. หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า TCOD และ FCOD เท่ากับร้อยละ 78.1 และ 85.7 ตามลำดับ และระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 17.3 วันมีค่า COD ของน้ำเสียอยู่ในช่วง 298-320 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 308 มก./ล. ภายหลังจากผ่านการบำบัดมีค่า TCOD และ FCOD เหลืออยู่ในช่วง 52-56 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 55 มก./ล. และ 30-42 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 35 มก./ล. ตามลำดับ หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า TCOD และ FCOD เท่ากับร้อยละ 82.3 และ 88.6 ตามลำดับ

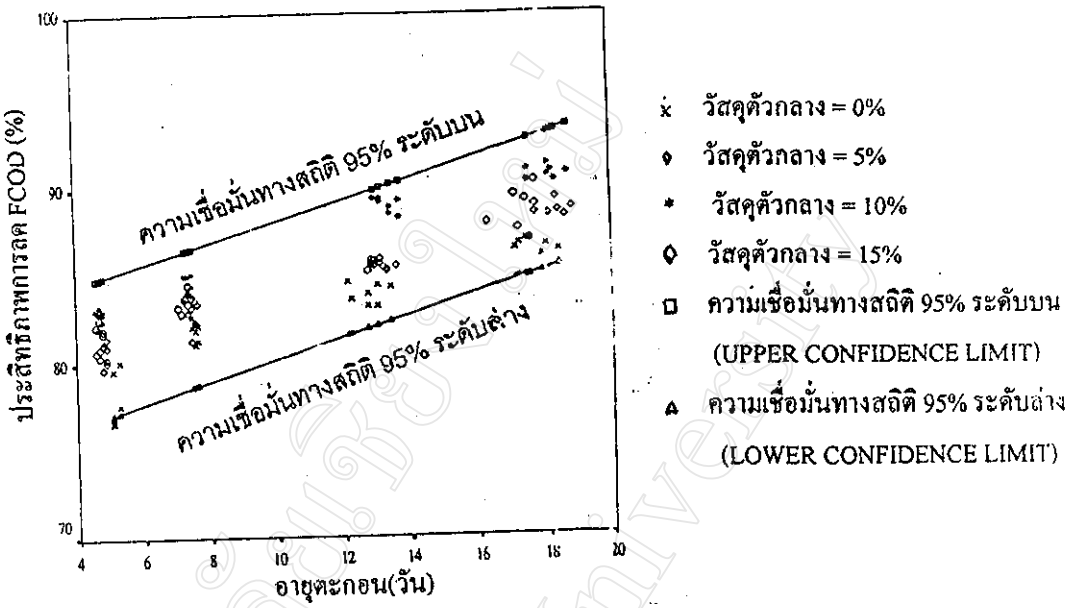
จากผลของการทดลองของระบบทั้งที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์และระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางสังเคราะห์ในถังปฏิกริยาเท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 ที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด FCOD และ TCOD โดยเฉลี่ยตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด FCOD และ TCOD ของระบบที่ดำเนินการศึกษาทั้งหมด ได้แก่ ระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำและระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 พบว่าระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการลดค่า TCOD และ FCOD ได้ใกล้เคียงกัน และจากการวิเคราะห์ทางสถิติของการทดสอบการซ้อนทับของสมการโดยวิธีการสร้างสมการถดถอยพหุโดยใช้ตัวแปรหุ่นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าที่ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สามารถสรุปได้ว่าในการทดลองทั้ง 4 ระบบมีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งได้แสดงรายละเอียดของการวิเคราะห์บางส่วนไว้ในภาคผนวก ง ท้ายเล่ม นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มค่าอายุตะกอนให้สูงขึ้น ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด FCOD และ TCOD สูงขึ้น โดยระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำมีค่า TCOD และ FCOD เพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 14.9 และ 8.7 ตามลำดับ ในช่วงค่าอายุตะกอนระหว่าง 5.2-17.6 วัน ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5 มีค่า TCOD และ FCOD เพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 14.6 และ 7.7 ตามลำดับ ในช่วงค่าอายุตะกอนระหว่าง 4.8-18.3 วัน ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 10 มีค่า TCOD และ FCOD เพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 15.6 และ 7.8 ตามลำดับ ในช่วงค่าอายุตะกอนระหว่าง 4.7-18.1 วัน และระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 15 มีค่า TCOD และ FCOD เพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 11.7 และ 7.1 ตามลำดับ ในช่วงค่าอายุตะกอนระหว่าง 4.7-17.3 วัน ประสิทธิภาพในการลดค่า FCOD ให้ค่าสูงกว่าประสิทธิภาพในการลดค่า TCOD ทั้งนี้เนื่องจาก น้ำที่ผ่านการบำบัดและตกตะกอนแล้วมีสารแขวนลอยติดปะปนออกมาด้วย



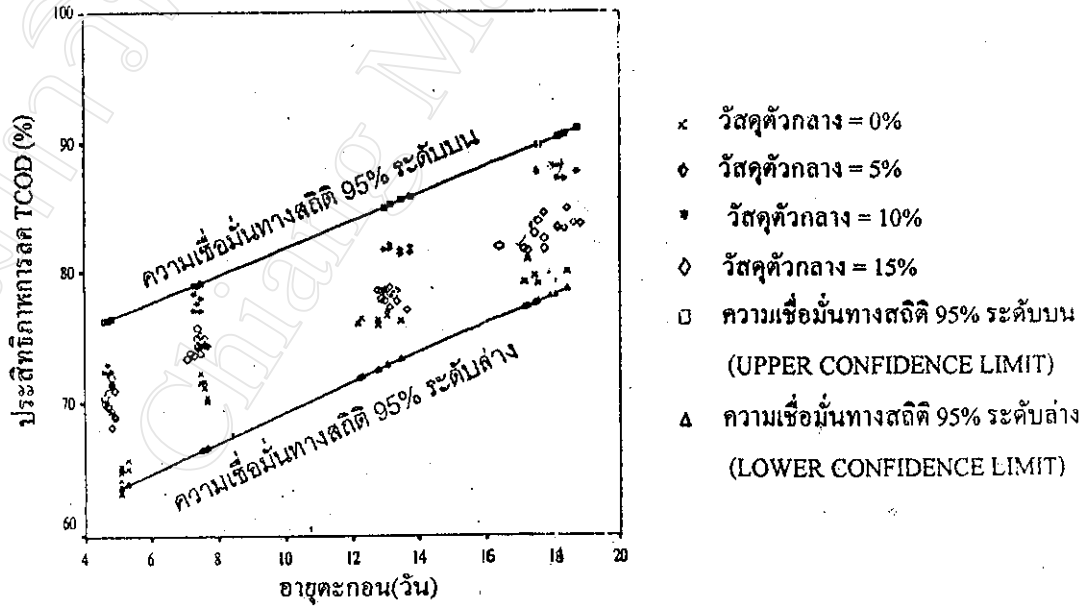
รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพการบำบัด FCOD ที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ กันของระบบ



รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ กันของระบบ



รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัด FCOD ที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ กันของระบบภายในช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของการวิเคราะห์ทางสถิติ



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ กันของระบบภายในช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของการวิเคราะห์ทางสถิติ

4.2 จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระบบ

4.2.1 ปริมาณตะกอนอินทรีย์ในระบบ

จากผลการทดลองของระบบที่ทำการศึกษาภายหลังจากที่เข้าสู่สภาวะคงที่ตลอดช่วง 7 วัน ค่าความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์ในระบบได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 สำหรับระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 5.2, 7.6, 12.8 และ 17.6 วัน มีค่าความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์ส่วนที่แขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 1251, 1574, 1868 และ 2064 มก./ล. ตามลำดับ ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5 ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.8, 7.5, 13.3 และ 18.3 วัน มีค่าความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์ส่วนที่แขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 1346, 1656, 2006 และ 2279 มก./ล. ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์ส่วนที่เกาะติดวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เฉลี่ยเท่ากับ 64, 154, 170 และ 197 มก./ล. ตามลำดับ ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 10 ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7, 7.4, 13.4 และ 18.1 วัน มีค่าความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์ส่วนที่แขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 1416, 1769, 2137 และ 2403 มก./ล. ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์ส่วนที่เกาะติดวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เฉลี่ยเท่ากับ 120, 149, 177 และ 184 มก./ล. ตามลำดับ และระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 15 ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7, 7.3, 13.0 และ 17.3 วัน มีค่าความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์ส่วนที่แขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 1493, 1863, 2243 และ 2390 มก./ล. ตามลำดับ และมีค่าความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์ส่วนที่เกาะติดวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เฉลี่ยเท่ากับ 185, 220, 263 และ 306 มก./ล. ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักตะกอนอินทรีย์ในระบบของการทดลองภายหลังจากที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่แล้วเป็นเวลา 7 วันต่อเนื่องกัน และในรูปที่ 4.5 แสดงน้ำหนักตะกอนอินทรีย์รวมในระบบ พบว่าระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์และระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ในระบบเท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ มีน้ำหนักตะกอนอินทรีย์รวมในระบบใกล้เคียงกัน นอกจากนั้นจะสังเกตุได้ว่าน้ำหนักตะกอนอินทรีย์รวมในระบบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าอายุตะกอนสูงขึ้น โดยระบบที่มีค่าอายุตะกอนประมาณระหว่าง 4.7-5.2 วัน มีค่าน้ำหนักตะกอนอินทรีย์

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์ในถังปฏิกริยาที่ดำเนินการทดลอง

ผลการทดลอง	หน่วย	ระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลาง				ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลาง 5%			
		SRT = 5.2 d	SRT = 7.6 d	SRT = 12.8 d	SRT = 17.6 d	SRT = 4.8 d	SRT = 7.5. d	SRT = 13.3 d	SRT = 18.3 d
ความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์									
$MLVSS_S$	มก./ล.	1251	1574	1868	2064	1346	1656	2006	2279
$MLVSS_F$	มก./ล.	-	-	-	-	64	154	170	197
VSS ของน้ำทิ้ง	มก./ล.	20.9	18.0	13.8	12.7	22.9	17.7	13.0	12.5
SVI	มล./ก.-ล	137	115	91	79	141	99	78	77

ผลการทดลอง	หน่วย	ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลาง 10%				ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลาง 15%			
		SRT = 4.7 d	SRT = 7.4. d	SRT = 13.4 d	SRT = 18.1 d	SRT = 4.7 d	SRT = 7.3. d	SRT = 13.0 d	SRT = 17.3 d
ความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์									
$MLVSS_S$	มก./ล.	1416	1769	2137	2403	1493	1863	2243	2390
$MLVSS_F$	มก./ล.	120	149	177	184	185	220	263	306
VSS ของน้ำทิ้ง	มก./ล.	23.0	17.7	12.6	12.5	22.3	17.4	12.6	12.2
SVI	มล./ก.-ล	120	89	69	63	116	82	65	58

หมายเหตุ $MLVSS_S$ = ความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์ส่วนที่แขวนลอยอยู่ในถังปฏิกริยา

$MLVSS_F$ = ความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์ส่วนที่อยู่ในตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์

รวมในระบบอยู่ในช่วงระหว่าง 10006-10374 มก. มีปริมาณตะกอนอินทรีย์รวมในระบบโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด ในขณะที่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนประมาณ 17.3-18.3 วัน มีค่าน้ำหนักตะกอนอินทรีย์รวมในระบบอยู่ในช่วงระหว่าง 16514-16618 มก. มีน้ำหนักตะกอนอินทรีย์รวมในระบบโดยเฉลี่ยสูงที่สุดในทุก ๆ การทดลอง โดยมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตะกอนอินทรีย์รวมในระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เพิ่มสูงขึ้น 6508 มก. หรือคิดเป็นร้อยละ 65.0 ที่ค่าอายุตะกอนช่วงระหว่าง 5.2-17.6 วัน น้ำหนักตะกอนอินทรีย์รวมโดยเฉลี่ยในระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5 เพิ่มสูงขึ้น 7147 มก. หรือคิดเป็นร้อยละ 69.7 ที่ค่าอายุตะกอนช่วงระหว่าง 4.8-18.3 วัน น้ำหนักตะกอนอินทรีย์รวมโดยเฉลี่ยในระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 10 เพิ่มสูงขึ้น 7159 มก. หรือคิดเป็นร้อยละ 69.6 ที่ค่าอายุตะกอนช่วงระหว่าง 4.7-18.1 วัน และน้ำหนักตะกอนอินทรีย์รวมโดยเฉลี่ยในระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 15 เพิ่มสูงขึ้น 6244 มก. หรือคิดเป็นร้อยละ 60.2 ที่ค่าอายุตะกอนช่วงระหว่าง 4.7-17.3 วัน ตามลำดับ

4.2.2 ตะกอนอินทรีย์ (VSS) ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด

หากพิจารณาผลของการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เข้าไปในระบบต่อคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านออกจากระบบแล้ว โดยการพิจารณาค่าตะกอนอินทรีย์ (VSS) ที่ปะปนอยู่ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของระบบที่ทำการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 สำหรับระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 5.2, 7.6, 12.8 และ 17.6 วัน มีค่าตะกอนอินทรีย์ในน้ำทิ้งเฉลี่ยเท่ากับ 20.9, 18.0, 13.8 และ 12.7 มก./ล. ตามลำดับ ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5 ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.8, 7.5, 13.3 และ 18.3 วัน มีค่าตะกอนอินทรีย์ในน้ำทิ้งเฉลี่ยเท่ากับ 22.9, 17.7, 13.0 และ 12.5 มก./ล. ตามลำดับ ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 10 ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7, 7.4, 13.4 และ 18.1 วัน มีค่าตะกอนอินทรีย์ในน้ำทิ้งเฉลี่ยเท่ากับ 23.0, 17.7, 12.6 และ 12.5 มก./ล. ตามลำดับ และระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 15 ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7, 7.3, 13.0 และ 17.3 วัน มีค่าตะกอนอินทรีย์ในน้ำทิ้งเฉลี่ยเท่ากับ 22.3, 17.4, 12.6 และ 12.2 มก./ล. ตามลำดับ

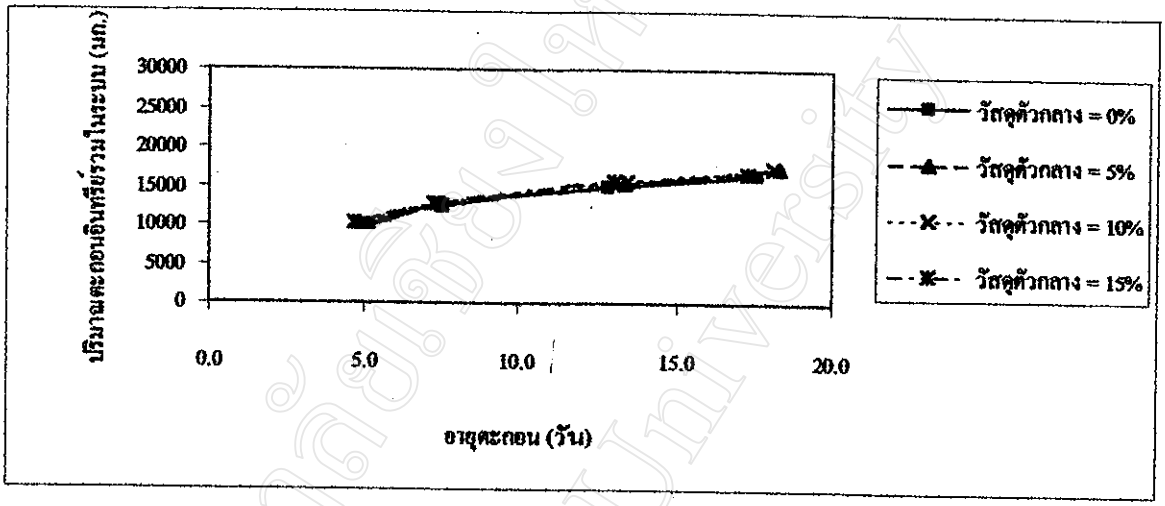
ตะกอนอินทรีย์ (VSS) ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์และระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.6 โดยจะพบว่า ระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์และระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 มีค่าตะกอนอินทรีย์ในน้ำทิ้งใกล้เคียงกัน และนอกจากนั้นจะเห็นได้ว่าในการเปลี่ยนแปลงค่าอายุตะกอนของจุลินทรีย์ในระบบมีผลทำให้ค่าตะกอนอินทรีย์ในน้ำทิ้งมีการเปลี่ยนแปลง โดยเมื่อเพิ่มอายุของตะกอนในระบบให้สูงขึ้นทำให้ค่าตะกอนอินทรีย์ในน้ำทิ้งมีค่าลดลงในทุกการทดลอง โดยระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์มีค่า VSS ในน้ำทิ้งลดลง 8.2 มก./ล. หรือคิดเป็นร้อยละ 39.2 ที่ค่าอายุตะกอนช่วงระหว่าง 5.2-17.6 วัน ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5 มีค่า VSS ในน้ำทิ้งลดลง 10.4 มก./ล. หรือคิดเป็นร้อยละ 45.4 ที่ค่าอายุตะกอนช่วงระหว่าง 4.8-18.3 วัน ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 10 มีค่า VSS ในน้ำทิ้งลดลง 10.5 มก./ล. หรือคิดเป็นร้อยละ 45.6 ที่ค่าอายุตะกอนช่วงระหว่าง 4.7-18.1 วัน และระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 15 มีค่า VSS ในน้ำทิ้งลดลง 10.1 มก./ล. หรือคิดเป็นร้อยละ 45.3 ที่ค่าอายุตะกอนช่วงระหว่าง 4.7-17.3 วัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ปริมาณตะกอนอินทรีย์ในระบบของการทดลองภายหลังที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่แล้วเป็นเวลา 7 วันต่อเนื่อง

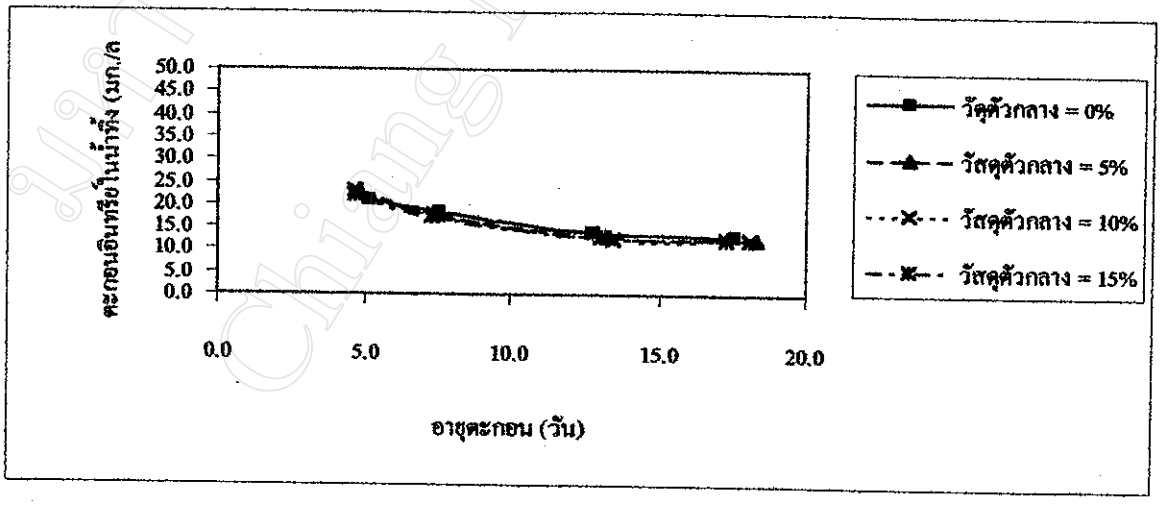
ปริมาณวัสดุตัวกลาง (ร้อยละของถังปฏิกริยา)	ค่าอายุตะกอน (วัน)	ปริมาตรส่วนแขวนลอย (ล.)	ปริมาตรตัวกลาง (ล.)	$MLVSS_S$ (มก./ล.)	$MLVSS_F$ (มก./ล.)	นน.ตะกอนอินทรีย์ในส่วนแขวนลอย (มก.)	นน.ตะกอนอินทรีย์ในตัวกลาง (มก.)	นน.ตะกอนอินทรีย์รวมในระบบ (มก.)
0	5.2	8.0	-	1251	-	10006	-	10006
0	7.6	8.0	-	1574	-	12591	-	12591
0	12.8	8.0	-	1868	-	14945	-	14945
0	17.6	8.0	-	2064	-	16514	-	16514
5	4.8	7.6	0.4	1346	64	10228	26	10254
5	7.5	7.6	0.4	1656	154	12583	62	12645
5	13.3	7.6	0.4	2006	170	15246	68	15314
5	18.3	7.6	0.4	2279	197	17323	79	17401
10	4.7	7.2	0.8	1416	120	10196	96	10292
10	7.4	7.2	0.8	1769	149	12737	119	12856
10	13.4	7.2	0.8	2137	177	15388	141	15529
10	18.1	7.2	0.8	2403	184	17304	147	17451
15	4.7	6.8	1.2	1493	185	10152	222	10374
15	7.3	6.8	1.2	1863	220	12667	263	12930
15	13.0	6.8	1.2	2243	263	15253	316	15569
15	17.3	6.8	1.2	2390	306	16251	367	16618

หมายเหตุ $MLVSS_S$ = ความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์ในส่วนแขวนลอย

$MLVSS_F$ = ความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์ในส่วนที่อยู่ในตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์



รูปที่ 4.5 น้ำหนักตะกอนอินทรีย์รวมในระบบ



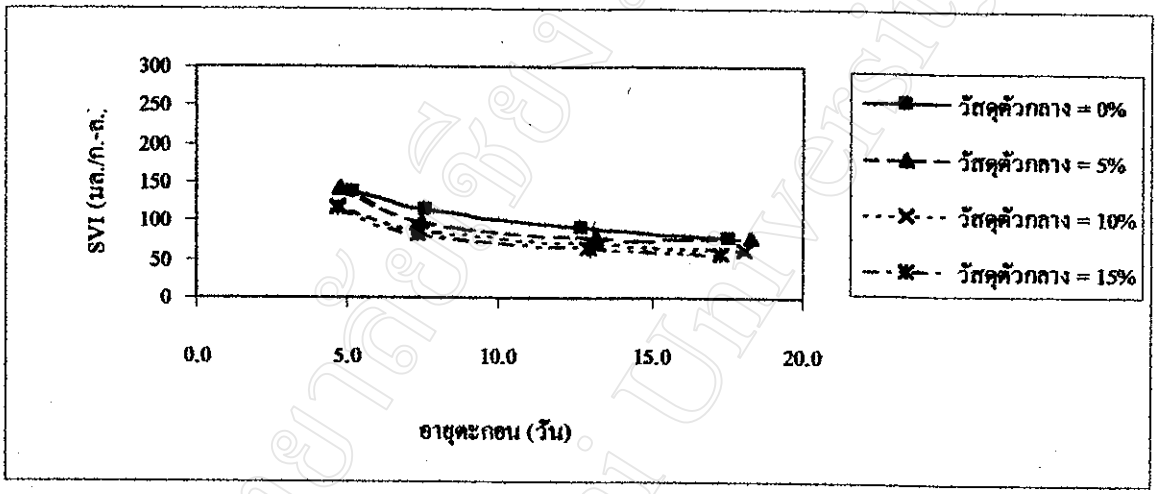
รูปที่ 4.6 ตะกอนอินทรีย์ในน้ำทิ้ง (VSS) ที่ผ่านการบำบัดจากระบบ

4.2.3 ดัชนีปริมาตรของตะกอน (SVI)

จากการพิจารณาค่าของดัชนีปริมาตรของตะกอน (SVI) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการพิจารณาลักษณะสมบัติของการตกตะกอนในถังปฏิริยาได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 สำหรับระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 5.2, 7.6, 12.8 และ 17.6 วัน มีค่า SVI เฉลี่ยเท่ากับ 137, 115, 91 และ 79 มล./ก.-ล. ตามลำดับ ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5 ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.8, 7.5, 13.3 และ 18.3 วัน มีค่า SVI เฉลี่ยเท่ากับ 141, 99, 78 และ 77 มล./ก.-ล. ตามลำดับ ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 10 ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7, 7.4, 13.4 และ 18.1 วัน มีค่า SVI เฉลี่ยเท่ากับ 120, 89, 69 และ 63 มล./ก.-ล. ตามลำดับ และระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 15 ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7, 7.3, 13.0 และ 17.3 วัน มีค่า SVI เฉลี่ยเท่ากับ 116, 82, 65 และ 58 มล./ก.-ล. ตามลำดับ

จากผลการทดลองทั้งหมดของระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของระบบหลังจากที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ในถังปฏิกริยาเท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 มีผลทำให้ค่า SVI มีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกับระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ แต่ไม่มีผลทำให้ค่า VSS ในน้ำทิ้งลดลงแตกต่างกันอย่างชัดเจนที่ค่าอายุตะกอนใกล้เคียงกัน นอกจากนี้พบว่าเมื่อมีการเพิ่มค่าอายุตะกอนมีผลทำให้ค่า SVI ลดลง ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.7 โดยระบบที่มีการควบคุมค่าอายุตะกอนระหว่างประมาณ 4.7-5.2 วัน ให้ค่า SVI โดยเฉลี่ยสูงที่สุด และระบบที่มีการควบคุมค่าอายุตะกอนประมาณ 17.3-18.3 วัน ให้ค่า SVI โดยเฉลี่ยต่ำที่สุดในทุกการทดลอง แสดงว่าการตกตะกอนของจุลินทรีย์ในระบบที่ทำการศึกษาเกิดได้ดีที่ค่าอายุตะกอนสูงขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ค่า VSS ของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่อค่าอายุตะกอนในระบบเพิ่มขึ้นโดยระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์มีค่า SVI ลดลง 58 มล./ก.-ล. หรือคิดเป็นร้อยละ 42.3 ที่ค่าอายุตะกอนช่วงระหว่าง 5.2-17.6 วัน ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5 มีค่า SVI ลดลง 64 มล./ก.-ล. หรือคิดเป็นร้อยละ 45.4 ที่ค่าอายุตะกอนช่วงระหว่าง 4.8-18.3 วัน ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 10 มีค่า SVI ลดลง 57 มล./ก.-ล. หรือคิดเป็นร้อยละ 47.5 ที่ค่าอายุตะกอนช่วงระหว่าง 4.7-18.1 วัน และระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำ

สังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 15 มีค่า SVI ลดลง 58 มล./ก.-ล. หรือคิดเป็นร้อยละ 50.0 ที่ค่าอายุตะกอนช่วงระหว่าง 4.7-17.3 วัน ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 ค่า SVI ของตะกอนที่แขวนลอยในถังปฏิกริยา

4.3 การเปลี่ยนแปลงของค่าไนโตรเจน ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบ

การเปลี่ยนแปลงของค่าไนโตรเจนในน้ำที่เข้าและออกจากระบบที่ได้จากการศึกษาทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 สำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงของ NH_3-N ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 5.2 วัน มีค่า NH_3-N อยู่ในช่วงระหว่าง 12.0-14.2 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 12.7 มก./ล. ภายหลังจากผ่านการบำบัดลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 3.4-3.5 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.5 มก./ล. น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 7.6 วัน มีค่า NH_3-N อยู่ในช่วงระหว่าง 11.8-14.0 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 12.6 มก./ล. หลังจากผ่านระบบมีค่าลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 3.2-3.3 มก./ล. ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.2 มก./ล. สำหรับระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 12.8 วัน มีค่า NH_3-N ในน้ำเสียอยู่ในช่วงระหว่าง 11.8-14.4 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 12.7 มก./ล. หลังจากผ่านระบบบำบัดมีค่าเฉลี่ยลดลงเหลือเท่ากับ 2.7 มก./ล. และระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 17.6 วันมีค่า NH_3-N ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบอยู่ในช่วงระหว่าง 11.9-13.1 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 12.4

มก./ล. หลังจากผ่านการบำบัดมีค่าลดลง เหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 2.0-2.2 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.1 มก./ล สำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงของ NO_x-N พบว่าน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบที่มีค่าอายุตะกอนต่าง ๆ มีค่า NO_x-N น้อยมาก หลังจากที่ผ่านระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระบบที่ควบคุมค่าอายุตะกอนเท่ากับ 5.2, 7.6, 12.8 และ 17.6 วัน มีค่า NO_x-N ในน้ำทิ้งเพิ่มสูงขึ้นอยู่ในช่วง 6.3-6.7, 7.2-7.5, 8.0-8.4 และ 8.4-8.9 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.4, 7.3, 8.2 และ 8.7 มก./ล. ตามลำดับ

ค่าการเปลี่ยนแปลงของ NH_3-N ที่ได้จากการศึกษาทดลองของระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.8 วัน มีค่า NH_3-N อยู่ในช่วงระหว่าง 12.3-14.6 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 13.5 มก./ล. หลังจากผ่านการบำบัดมีค่าลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 3.3-3.6 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 3.5 มก./ล. น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 7.5 วัน มีค่า NH_3-N อยู่ในช่วงระหว่าง 11.8-14.0 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 12.6 มก./ล. และหลังจากผ่านระบบมีค่าลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 2.9-3.0 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 3.0 มก./ล. สำหรับระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 13.3 วัน มีค่า NH_3-N ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบอยู่ในช่วงระหว่าง 11.8-14.4 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 12.7 มก./ล. โดยหลังจากที่ผ่านระบบบำบัดมีค่าลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 2.5-2.6 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 2.6 มก./ล. และระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 18.3 วัน มีค่า NH_3-N ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบอยู่ในช่วงระหว่าง 11.8-14.5 มก./ล.เฉลี่ยเท่ากับ 12.9 มก./ล. หลังจากผ่านการบำบัดมีค่าลดลง เหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 2.1-2.2 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.2 มก./ล. สำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงของ NO_x-N ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบ พบว่าน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีค่า NO_x-N น้อยมาก และเพิ่มสูงขึ้นเป็น 6.3-6.8, 7.4-7.6, 8.0-8.4 และ 9.0-9.3 มก./ล. ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.8, 7.5, 13.3 และ 18.3 วัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.6, 7.5, 8.2 และ 9.2 มก./ล. ตามลำดับ

ผลการทดลองของระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 10 โดยน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7 วัน มีค่า NH_3-N ในช่วงระหว่าง 12.3-14.6 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 13.5 มก./ล. หลังจากผ่านการระบบบำบัดลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 3.3-3.6 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 3.5 มก./ล. น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 7.4 วัน มีค่า NH_3-N อยู่ในช่วงระหว่าง 12.2-14.4 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 13.2 มก./ล. และหลังจากผ่านระบบมีค่าลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 2.9-3.1

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในน้ำที่เข้าและออกจากระบบบที่ดำเนินการทดลอง

ผลการทดลอง	หน่วย	ระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลาง				ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลาง 5%			
		SRT = 5.2 d	SRT = 7.6 d	SRT = 12.8 d	SRT = 17.6 d	SRT = 4.8 d	SRT = 7.5. d	SRT = 13.3 d	SRT = 18.3 d
TKN									
น้ำเสียที่เข้าระบบ	มก./ล.	20.8	20.7	20.4	19.7	21.1	20.7	20.4	20.4
น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ	มก./ล.	9.24	8.8	8.4	8.0	9.1	8.4	8.1	8.0
NH_3-N									
น้ำเสียที่เข้าระบบ	มก./ล.	12.7	12.6	12.7	12.4	13.5	12.6	12.7	12.9
น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ	มก./ล.	3.5	3.2	2.7	2.1	3.5	3.0	2.6	2.2
NO_X-N									
น้ำเสียที่เข้าระบบ	มก./ล.	nil	nil	nil	nil	nil	nil	nil	nil
น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ	มก./ล.	6.4	7.3	8.2	8.7	6.6	7.5	8.2	9.2
Org-N									
น้ำเสียที่เข้าระบบ	มก./ล.	8.1	8.1	7.7	7.2	7.6	8.1	7.7	7.5
น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ	มก./ล.	5.8	5.5	5.7	5.9	5.7	5.5	5.5	5.8
TN									
น้ำเสียที่เข้าระบบ	มก./ล.	20.8	20.7	20.5	19.7	21.1	20.7	20.5	20.4
น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ	มก./ล.	15.7	16.1	16.6	16.7	15.7	16.0	16.2	17.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในน้ำที่เข้าและออกจากระบบบที่ดำเนินการทดลอง (ต่อ)

ผลการทดลอง	หน่วย	ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลาง 10%				ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลาง 15%			
		SRT = 4.7 d	SRT = 7.4. d	SRT = 13.4 d	SRT = 18.1 d	SRT = 4.7 d	SRT = 7.3. d	SRT = 13.0 d	SRT = 17.3 d
TKN									
น้ำเสียที่เข้าระบบ	มก./ล.	21.1	21.2	20.8	20.4	20.8	21.2	20.8	19.7
น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ	มก./ล.	9.0	8.5	8.1	7.9	8.5	8.3	8.1	7.6
NH_3-N									
น้ำเสียที่เข้าระบบ	มก./ล.	13.5	13.2	13.2	12.9	12.7	13.2	13.2	12.4
น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ	มก./ล.	3.5	3.0	2.3	2.2	3.4	2.9	2.4	2.0
NO_x-N									
น้ำเสียที่เข้าระบบ	มก./ล.	nil	nil	nil	nil	nil	nil	nil	nil
น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ	มก./ล.	6.6	7.8	9.1	9.2	6.7	7.8	9.2	9.3
Org-N									
น้ำเสียที่เข้าระบบ	มก./ล.	7.6	8.0	7.6	7.5	8.1	8.0	7.6	7.2
น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ	มก./ล.	5.5	5.5	5.7	5.8	5.2	5.4	5.7	5.6
TN									
น้ำเสียที่เข้าระบบ	มก./ล.	21.1	21.2	20.8	20.4	20.8	21.2	20.8	19.7
น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ	มก./ล.	15.6	16.2	17.1	17.1	15.3	16.1	17.3	16.9

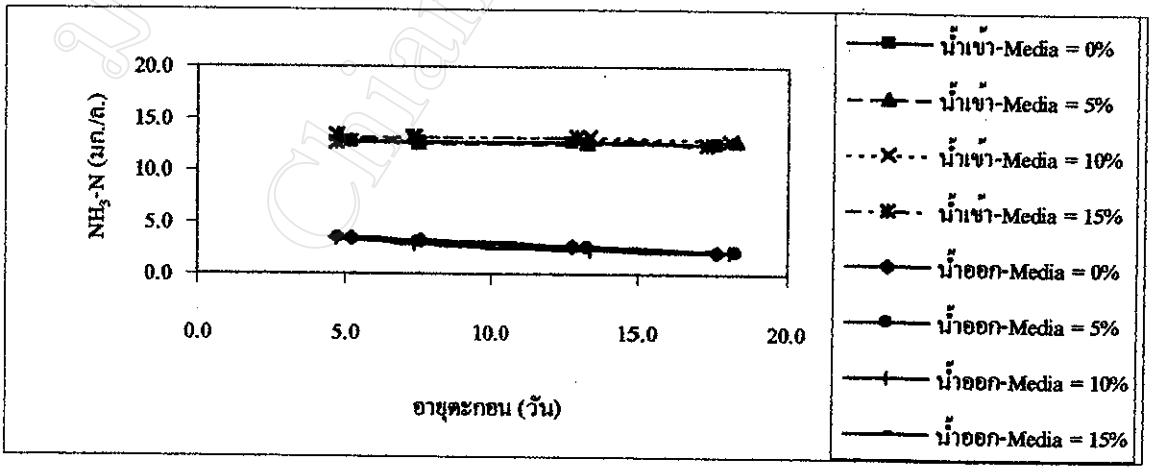
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 3.0 มก./ล. สำหรับระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 13.4 วัน มีค่า NH_3-N ในน้ำเสียอยู่ในช่วงระหว่าง 12.0-14.3 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.2 มก./ล. หลังจากผ่านระบบบำบัดมีค่าลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 2.3-2.4 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 2.3 มก./ล. และระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 18.1 วัน มีค่า NH_3-N ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบอยู่ในช่วงระหว่าง 11.8-14.5 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 12.9 มก./ล. และภายหลังจากผ่านระบบการบำบัดมีค่าลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 2.1-2.2 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.2 มก./ล. สำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงของ NO_x-N ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีค่า NO_x-N น้อยมาก พบว่าระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7 วัน หลังจากผ่านระบบบำบัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.4-7.0 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 6.6 มก./ล. ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 7.4 วัน หลังจากผ่านระบบมีค่ามีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงระหว่าง 7.7-7.9 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 7.8 มก./ล. สำหรับระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 13.4 วัน มีค่าอยู่ในช่วง 9.0-9.3 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 9.1 มก./ล. และระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 18.1 วัน มีค่า NO_x-N ภายหลังจากผ่านระบบการบำบัดมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงระหว่าง 9.1-9.4 มก./ล. ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.2 มก./ล.

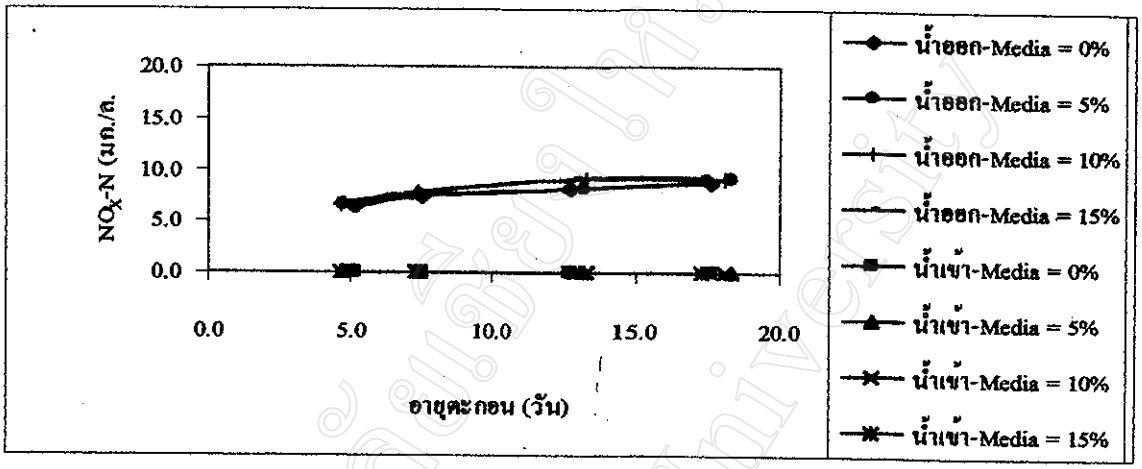
ผลการทดลองของระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 15 น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7, 7.3, 13.0 และ 17.3 วัน ที่มีค่า NH_3-N ในช่วงระหว่าง 12.0-14.2, 12.2-14.4, 12.0-14.3 และ 11.9-13.1 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.7, 13.2, 13.2 และ 12.4 มก./ล. ตามลำดับ และภายหลังจากที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 3.3-3.5, 2.9, 2.3-2.4 และ 2.0-2.1 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.4, 2.9, 2.4 และ 2.0 มก./ล. ตามลำดับ สำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงของ NO_x-N ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบ พบว่าน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบภายหลังจากที่ผ่านกระบวนการบำบัดแบบตะกอนเร่งมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเป็น 6.6-6.9, 7.7-8.0, 9.1-9.3 และ 9.0-9.7 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.7, 7.8, 9.2 และ 9.3 มก./ล. ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7, 7.3, 13.0 และ 17.3 วัน ตามลำดับ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า NH_3-N ในน้ำที่เข้าและออกระบบนั้น จากรูปที่ 4.8 พบว่า ระบบที่ไม่มีและมีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 มีค่าการเปลี่ยนแปลงของ NH_3-N ในระบบใกล้เคียงกันโดยระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์มีค่า NH_3-N ลดลงในช่วงระหว่าง 9.2-10.0 มก./ล. ที่ค่าอายุตะกอนช่วงระหว่าง 5.2-17.6 วัน ระบบที่มีการ

เติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5 มีค่า NH_3-N ลดลงในช่วงระหว่าง 9.6-10.7 มก./ล. ที่ค่าอายุตะกอนช่วงระหว่าง 4.8-18.3 วัน ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 10 มีค่า NH_3-N ลดลงในช่วงระหว่าง 10.0-10.9 มก./ล. ที่ค่าอายุตะกอนช่วงระหว่าง 4.7-18.1 วัน และระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 15 มีค่า NH_3-N ลดลงในช่วงระหว่าง 9.3-10.8 มก./ล. ที่ค่าอายุตะกอนช่วงระหว่าง 4.7-18.3 วัน แต่เห็นได้ว่าค่า NH_3-N โดยเฉลี่ยในน้ำทิ้งมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อมีการเพิ่มค่าอายุของตะกอนของระบบ โดย NH_3-N ที่ลดลงภายในระบบเนื่องจากมีปฏิกริยา Nitrification เกิดขึ้น ทำให้ NH_3-N ถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรต์ (NO_2) และไนเตรต (NO_3) ตามลำดับ การลดลงของค่า NH_3-N ที่ค่าอายุตะกอนสูงเกิดขึ้นได้ดีกว่าระบบที่มีค่าอายุตะกอนต่ำเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าจากผลการทดลองในรูปที่ 4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า NO_x-N ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบ โดยที่ค่า NO_x-N ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีค่าน้อยมาก หลังจากผ่านระบบแล้วมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นไปตามปฏิกริยา Nitrification ที่เกิดขึ้นในระบบ เมื่อพิจารณาถึงการเพิ่มของ NO_x-N ในระบบที่ไม่มีและมีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และจะเห็นว่าค่า NO_x-N มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อค่าอายุตะกอนในระบบเพิ่มสูงขึ้น โดยระบบที่มีค่าอายุตะกอนระหว่างประมาณ 4.7-5.2 วัน มีค่า NO_x-N ในน้ำทิ้งต่ำกว่าระบบที่มีค่าอายุตะกอนระหว่างประมาณ 17.3-18.3 วัน



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า NH_3-N ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบ



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงของค่า NO_x-N ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบ

ผลการศึกษาค่าการเปลี่ยนแปลงของ Org-N ในระบบที่ไม่มีและมีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 จากผลการทดลองของระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 5.2 วัน มีค่า Org-N ในช่วงระหว่าง 6.0-9.3 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 8.1 มก./ล. หลังจากผ่านการบำบัดมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 5.7-6.6 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 5.8 มก./ล. โดยมีค่าลดลงเล็กน้อย น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 7.6 วัน มีค่า Org-N อยู่ในช่วงระหว่าง 6.8-8.8 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 8.1 มก./ล. และหลังจากผ่านระบบมีค่าลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 4.7-6.2 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 5.5 มก./ล. สำหรับระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 12.8 วัน มีค่า Org-N ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบอยู่ในช่วงระหว่าง 7.0-8.4 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 7.7 มก./ล. หลังจากผ่านการบำบัดมีค่าลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 5.1-6.4 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 5.7 มก./ล. และระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 17.6 วัน มีค่า Org-N ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบอยู่ในช่วงระหว่าง 7.0-8.1 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 7.2 มก./ล. และภายหลังจากผ่านระบบการบำบัดมีค่าลดลงเล็กน้อยเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 5.4-6.3 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 5.9 มก./ล.

ผลการศึกษาค่าการเปลี่ยนแปลงของ Org-N ในระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5 โดยจะเห็นได้ว่าน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.8 วัน มีค่า

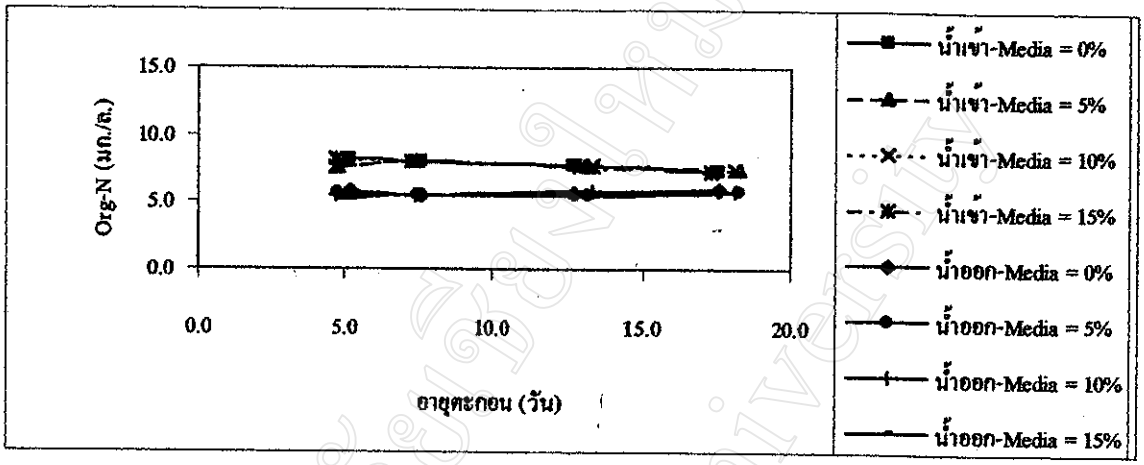
Org-N ในช่วงระหว่าง 6.5-8.6 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 7.6 มก./ล. หลังจากผ่านระบบบำบัดมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยมีค่าเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 5.3-6.3 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 5.7 มก./ล. น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 7.5 วัน มีค่า Org-N อยู่ในช่วงระหว่าง 6.8-8.6 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 8.1 มก./ล. และหลังจากผ่านระบบมีค่าลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 4.6-6.0 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 5.5 มก./ล. สำหรับระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 13.3 วัน มีค่า Org-N ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบอยู่ในช่วงระหว่าง 7.0-8.4 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 7.7 มก./ล. หลังจากผ่านการบำบัดมีค่าลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 5.0-6.3 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 5.5 มก./ล. และระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 18.3 วัน มีค่า Org-N ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบอยู่ในช่วงระหว่าง 6.8-8.1 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 7.5 มก./ล. และภายหลังจากผ่านระบบการบำบัดมีค่าลดลงเล็กน้อยเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 5.2-6.5 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 5.8 มก./ล.

ผลการศึกษาค่าการเปลี่ยนแปลงของ Org-N ในระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 10 โดยน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7 วัน มีค่า Org-N ในช่วงระหว่าง 6.5-8.6 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 7.6 มก./ล. หลังจากผ่านการบำบัดมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยมีค่าเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 4.9-6.1 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 5.5 มก./ล. น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 7.4 วัน มีค่า Org-N อยู่ในช่วงระหว่าง 6.6-8.6 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 8.0 มก./ล. และหลังจากผ่านระบบมีค่าลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 4.7-6.0 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 5.5 มก./ล. สำหรับระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 13.4 วัน มีค่า Org-N ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบอยู่ในช่วงระหว่าง 6.9-8.2 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 7.6 มก./ล. หลังจากผ่านการบำบัดมีค่าลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 5.1-6.4 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 5.7 มก./ล. และระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 18.1 วัน มีค่า Org-N ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบอยู่ในช่วงระหว่าง 6.8-8.1 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 7.5 มก./ล. และภายหลังจากผ่านระบบการบำบัดมีค่าลดลงเล็กน้อยเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 5.2-6.4 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.8 มก./ล.

ผลการศึกษาค่าการเปลี่ยนแปลงของ Org-N ในระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 15 โดยจะสังเกตุได้ว่าน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7 วัน มีค่า Org-N ในช่วงระหว่าง 6.0-9.3 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 8.1 มก./ล. หลังจากผ่านระบบบำบัดมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยมีค่าเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 4.1-5.8 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 5.2 มก./ล. น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 7.3 วัน มีค่า Org-N อยู่ในช่วงระหว่าง 6.6-8.6 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 8.0 มก./ล. และ

หลังจากผ่านระบบมีค่าลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 4.6-5.9 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 5.4 มก./ล. สำหรับระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 13.0 วัน มีค่า Org-N ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบอยู่ในช่วงระหว่าง 6.9-8.2 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 7.6 มก./ล. หลังจากผ่านการบำบัดมีค่าลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 4.9-6.4 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 5.7 มก./ล. และระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 17.3 วัน มีค่า Org-N ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบอยู่ในช่วงระหว่าง 6.6-8.1 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 7.2 มก./ล. และภายหลังจากผ่านระบบการบำบัดมีค่าลดลงเล็กน้อยเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 5.3-5.8 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.6 มก./ล.

สำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงของ Org-N ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบที่ทำการศึกษาที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.10 พบว่าค่า Org-N ในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีค่าต่ำกว่าน้ำเสียที่เข้าระบบเพียงเล็กน้อย โดยเมื่อเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีและมีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 การเปลี่ยนแปลงของค่า Org-N ในระบบมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าอายุตะกอนในระบบ โดยระบบที่มีค่าอายุตะกอนต่ำมีค่าการเปลี่ยนแปลงของ Org-N ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบสูงกว่าระบบที่มีค่าอายุตะกอนที่มากขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งระบบที่มีค่าอายุตะกอนระหว่างประมาณ 4.7-5.2 วัน มีค่าความแตกต่างของ Org-N ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบในช่วง 1.9-2.9 มก./ล. และระบบที่มีค่าอายุตะกอนระหว่างประมาณ 17.3-18.3 วัน มีค่าความแตกต่างของ Org-N ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบในช่วงระหว่าง 1.3-1.7 มก./ล.



รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงของค่า Org-N ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบ

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า TN ที่ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 ระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ น้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 5.2 วัน มีค่า TN อยู่ในช่วง 18.0-22.8 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.8 มก./ล. ภายหลังจากผ่านการบำบัดมีค่า TN ลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 14.4-16.4 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 15.7 มก./ล. น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 7.6 วัน มีค่า TN อยู่ในช่วงระหว่าง 18.5-22.3 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.7 มก./ล. โดยภายหลังจากผ่านการบำบัดมีค่า TN เหลืออยู่ในช่วง 15.3-16.6 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 16.1 มก./ล. สำหรับระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 12.8 วัน มีค่า TN ของน้ำเสียอยู่ในช่วงระหว่าง 18.8-22.3 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 20.5 มก./ล. ภายหลังจากผ่านการบำบัดมีค่า TN อยู่ในช่วงระหว่าง 15.9-17.3 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 16.6 มก./ล. และระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 17.6 วัน มีค่า TN ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบอยู่ในช่วงระหว่าง 18.9-20.5 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 19.7 มก./ล. ภายหลังจากผ่านการบำบัดมีค่า TN เหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 16.0-17.2 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.7 มก./ล.

ค่าการเปลี่ยนแปลงของ TN ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5 น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.8 วัน มีค่า TN อยู่ในช่วงระหว่าง 19.6-22.3 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.1 มก./ล. หลังจากผ่านการบำบัดมีค่า TN ลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 15.2-16.6 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 15.7 มก./ล. น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่า

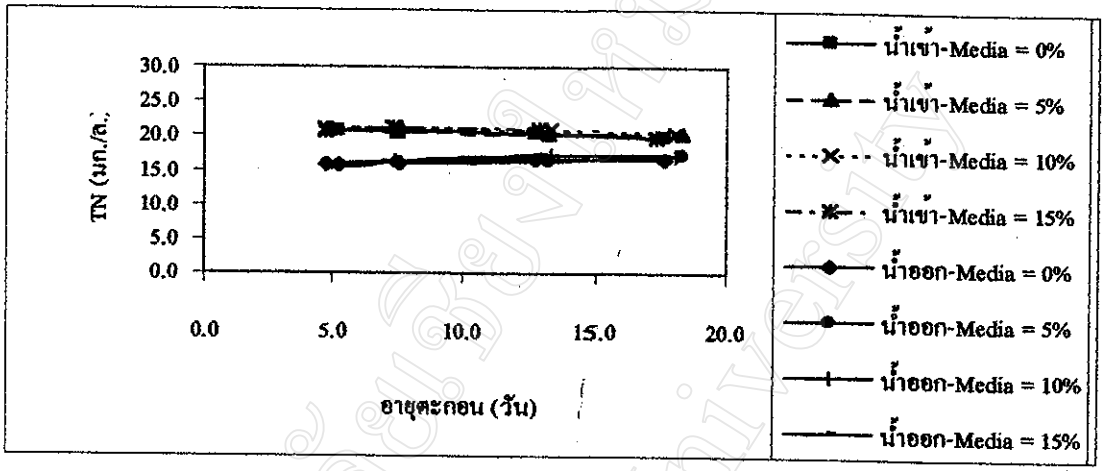
กับ 7.5 วัน มีค่า TN อยู่ในช่วงระหว่าง 18.5-22.2 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 20.7 มก./ล. หลังจากผ่านระบบมีค่า TN เหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 15.1-16.5 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 16.0 มก./ล. สำหรับระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 13.3 วัน มีค่า TN ของน้ำเสียอยู่ในช่วงระหว่าง 18.8-22.3 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 20.5 มก./ล. หลังจากผ่านระบบบำบัดมีค่า TN เหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 15.7-16.9 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 16.2 มก./ล. และระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 18.3 วันมีค่า TN ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบอยู่ในช่วงระหว่าง 19.0-22.3 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 20.4 มก./ล. ภายหลังจากผ่านการบำบัดมีค่า TN เหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 16.5-17.8 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.1 มก./ล.

การเปลี่ยนแปลงของค่า TN ของน้ำที่เข้าและออกจากการทดลองของระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 10 โดยน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7 วัน มีค่า TN อยู่ในช่วงระหว่าง 19.6-22.3 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 21.1 มก./ล. หลังจากที่ผ่านการบำบัดแล้วมีลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 15.0-16.6 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 15.6 มก./ล. น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 7.4 วัน มีค่า TN อยู่ในช่วงระหว่าง 18.8-22.6 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 21.2 มก./ล. หลังจากผ่านระบบมีค่าเหลืออยู่ในช่วง 15.4-16.8 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 16.2 มก./ล. ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 13.4 วัน มีค่าTN ของน้ำเสียอยู่ในช่วงระหว่าง 18.9-22.5 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 20.8 มก./ล. หลังจากผ่านระบบบำบัดมีค่า TN เหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 16.4-18.0 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 17.1 มก./ล. และระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 18.1 วันมีค่า TN ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบอยู่ในช่วงระหว่าง 19.0-22.3 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 20.4 มก./ล. ภายหลังจากผ่านการบำบัดมีค่าเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 16.6-17.7 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.1 มก./ล.

สำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงของ TN ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบที่ได้จากการศึกษาทดลองของระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 15 น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7 วัน มีค่า TN อยู่ในช่วงระหว่าง 18.0-22.8 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 20.8 มก./ล. หลังจากผ่านการบำบัดมีค่าลดลงเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 14.2-16.2 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 15.3 มก./ล. น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 7.3 วัน มีค่า TN อยู่ในช่วงระหว่าง 18.8-22.6 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 21.2 มก./ล. หลังจากผ่านระบบมีค่าเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 15.5-16.8 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 16.1 มก./ล. สำหรับระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 13.0 วัน มีค่า TN ของน้ำเสียอยู่ในช่วงระหว่าง 18.9-22.5 มก./

ล. ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.8 มก./ล.หลังจากผ่านระบบบำบัดมีค่าเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 16.5-17.9 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 17.3 มก./ล. และระบบที่มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 17.3 วัน มีค่า TN ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบอยู่ในช่วงระหว่าง 18.8-20.5 มก./ล. ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.7 มก./ล. ภายหลังจากผ่านการบำบัดมีค่าเหลืออยู่ในช่วงระหว่าง 16.6-17.4 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.9 มก./ล.

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า TN ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ โดยค่า TN ในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีค่าต่ำกว่าค่า TN ในน้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่ระบบเพียงเล็กน้อย และจะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงของ TN ในน้ำที่เข้าและออกของระบบที่ทำการทดลองระหว่างระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์และระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 ของปริมาตรถังปฏิกริยา พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และค่าการเปลี่ยนแปลงของ TN ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าอายุตะกอนในระบบ พบว่าระบบที่มีค่าอายุตะกอนต่ำมีการเปลี่ยนแปลงของค่า TN สูงกว่าระบบที่มีค่าอายุตะกอนมากขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งระบบที่มีค่าอายุตะกอนระหว่างประมาณ 4.7-5.2 วัน มีค่าความแตกต่างของ TN ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบในช่วงระหว่าง 5.1-5.5 มก./ล. และระบบที่มีค่าอายุตะกอนประมาณ 17.3-18.3 วัน มีค่าความแตกต่างของ TN ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบในช่วงระหว่าง 2.8-3.3 มก./ล. โดยค่า TN ที่เปลี่ยนแปลงในระบบอาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากการสูญเสียของไนโตรเจนออกจากระบบ



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงของค่า TN ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบ

4.4 ค่าจลน์ศาสตร์ (Y, k_d และ Y_{obs}) ของระบบที่ได้จากการทดลอง

การหาค่าคงที่จลน์ศาสตร์ของจุลินทรีย์ของกระบวนการตะกอนเร่งโดยการใช้แบบจำลอง Bench-Scale Continuous-Flow Stirred Tank Reactor with Internal Cell Recycle System เปรียบเทียบกับกระบวนการตะกอนเร่งที่ใช้ตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์

ในการหาค่าคงที่จลน์ศาสตร์ของจุลินทรีย์ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตสูงสุดของจุลินทรีย์ (Y) สัมประสิทธิ์การสลายตัว (k_d) ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตปรากฏ (Y_{obs}) และอัตราการผลิตเซลล์ (P_x) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตสูงสุดของจุลินทรีย์ใช้ในการแสดงความสัมพันธ์ทางปริมาณระหว่างสารอาหารที่ใช้ไปและมวลชีวะที่เกิดขึ้นในระบบ โดยขึ้นอยู่กับตัวจุลินทรีย์และสภาพแวดล้อมรอบ ๆ ตัวจุลินทรีย์ หากมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมทำให้จุลินทรีย์มีความสามารถใช้สารอาหารเพื่อการดำรงชีวิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีปริมาณของจุลินทรีย์ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่ป้อนให้แก่จุลินทรีย์ ขนาดของถังบำบัดน้ำเสียและสภาพแวดล้อมอื่น ๆ จุลินทรีย์ที่มีอายุสูงต้องการพลังงานสำหรับใช้ในการบำรุงรักษาเซลล์และจุลินทรีย์บางตัวตายลงหรือลดลง จากสมการที่ 2.25

$$1/\theta c = YU - k_d = Y(So-S)/(X\theta) - k_d$$

สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็นสมการที่ 4.1

$$1/\theta c = Y(So-S)Q/(XV) - k_d \qquad (4.1)$$

โดยที่

U	=	อัตราการใช้สารอาหารจำเพาะ (ต่อเวลา)
S_0	=	ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ (มก./ล.)
S	=	ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ออกจากระบบ (มก./ล.)
XV	=	ปริมาณของจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยา (มก.)
Q	=	อัตราการป้อนน้ำเสียเข้าระบบ (ล./วัน)

สำหรับในกรณีการศึกษาทดลองครั้งนี้มีจุลินทรีย์สองประเภท ได้แก่ จุลินทรีย์ประเภทที่แขวนลอยในน้ำเสียและจุลินทรีย์ประเภทที่เกาะติดวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ ในการหาค่าจลน์ศาสตร์ของจุลินทรีย์ภายใต้สมมุติฐานที่เป็นจุลินทรีย์ประเภทเดียวกันและมีการทำงานแบบเดียวกัน โดยจุลินทรีย์ประเภทที่เกาะติดวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ถือว่าเป็นจุลินทรีย์ประเภทที่แขวนลอยพวกหนึ่ง

โดยเมื่อนำค่า $1/\theta_c$ และ U มาเขียนกราฟ และลากเส้นแนวโน้มของข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นเส้นตรง (Linear) โดยใช้วิธี Least Square Method ฉะนั้นความลาดชันของเส้นตรงคือ ค่า Y และระยะตัดแกนตั้งคือ ค่า k_d นั่นเอง

สำหรับค่าอายุตะกอนในระบบ (θ_c) สามารถหาได้โดยการคำนวณจากปริมาณตะกอนที่มีในระบบต่อปริมาณตะกอนที่ต้องระบายออกจากระบบ สำหรับระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์สามารถหาได้จากสมการที่ 4.2

$$\theta_c = VX / (Q_w X + Q_e S_e) \qquad (4.2)$$

โดยที่

Q_w = ปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ระบายออกจากระบบ (ลิตร/วัน)

Q_e = ปริมาณน้ำทิ้งที่ไหลออกจากระบบ (ลิตร/วัน)

= $Q - Q_w$

S_e = ค่า VSS. ของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (มก./ล.)

สำหรับการหาค่าอายุตะกอนในระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 มีวิธีการคำนวณซับซ้อนมากกว่าระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ เนื่องจากปริมาณตะกอนที่ต้องระบายออกจากระบบประกอบด้วยตะกอน 2 ส่วน คือ ส่วนของตะกอนที่แขวนลอยในถังเติมอากาศและตะกอนส่วนที่เกาะติดอยู่บนวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ ตามความสัมพันธ์ดังที่แสดงไว้ในสมการที่ 4.3 โดยสามารถดูตัวอย่างรายการคำนวณค่าอายุตะกอนในระบบสำหรับระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำในถังปฏิกริยาเท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 ได้ในภาคผนวกท้ายเล่ม

$$\theta_c = (V_{SUS}MLVSS_S + V_{MEDIA}MLVSS_F) / (Q_{WS}MLVSS_S + Q_{WF}MLVSS_F + Q_eS_e) \qquad (4.3)$$

โดยที่

V_{SUS} = ปริมาตรส่วนที่แขวนลอย (ลิตร)

V_{MEDIA} = ปริมาตรส่วนวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ (ลิตร)

Q_{WS} = ปริมาตรตะกอนที่ระบายจากถังปฏิกริยาแต่ละวัน (ลิตร)

$MLVSS_S$ = ค่า MLVSS ของส่วนตะกอนแขวนลอย ในถังปฏิกริยา (มก./ล.)

Q_{WF} = ปริมาตรชิ้นตัวกลางที่ระบายในแต่ละวัน (ลิตร)

= 2.50x2.50x1.00xN / 1000 ; N = จำนวนชิ้นฟองน้ำที่ดึงออกในแต่ละวัน (ชิ้น)

$MLVSS_F$ = ค่า MLVSS ของส่วนตะกอนที่เกาะผิววัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ (มก./ล.)

Q_e = ปริมาณน้ำทิ้งที่ไหลออกจากระบบ (ลิตร/วัน)

= $Q - Q_{WS} - Q_{WF}$

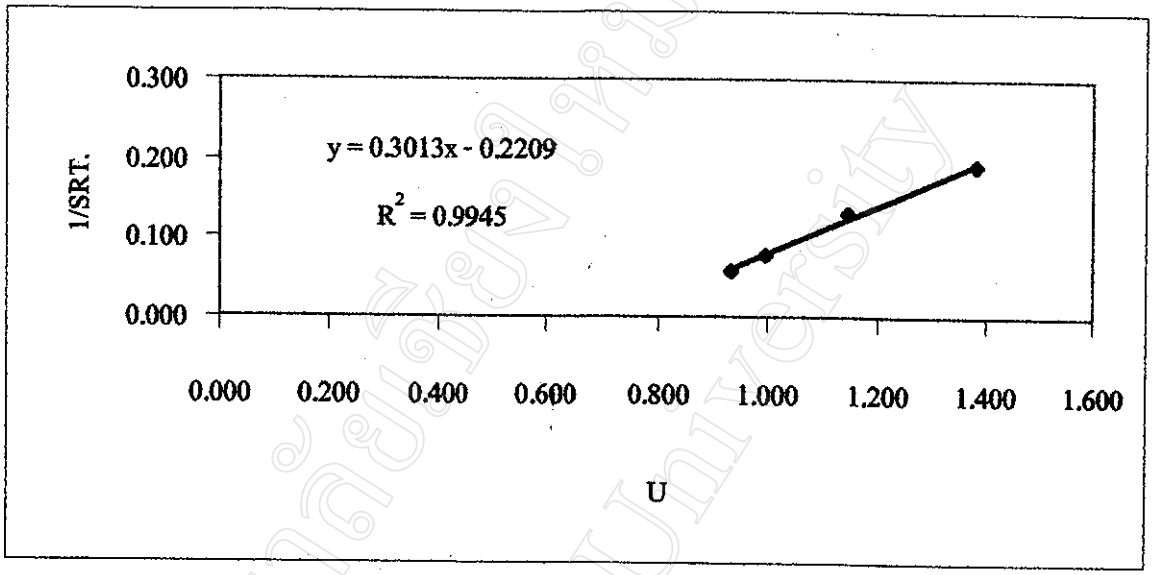
S_e = ค่า VSS. ของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (มก./ล.)

ในตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการหาค่าคงที่จลน์ศาสตร์ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตสูงสุดของจุลินทรีย์ (Y) สัมประสิทธิ์การสลายตัว (k_d) และในรูปที่ 4.12-4.15 แสดงการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตสูงสุดของจุลินทรีย์ (Y) และสัมประสิทธิ์การสลายตัว (k_d) และได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.6 ซึ่ง พบว่าระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์และระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 มีค่า Y และ k_d เท่ากับ 0.30, 0.33, 0.33 และ 0.33 มก./มก. และ 0.22, 0.25, 0.26 และ 0.25 วัน$^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า Y และ k_d ที่ได้จากการทดลองของระบบทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกัน

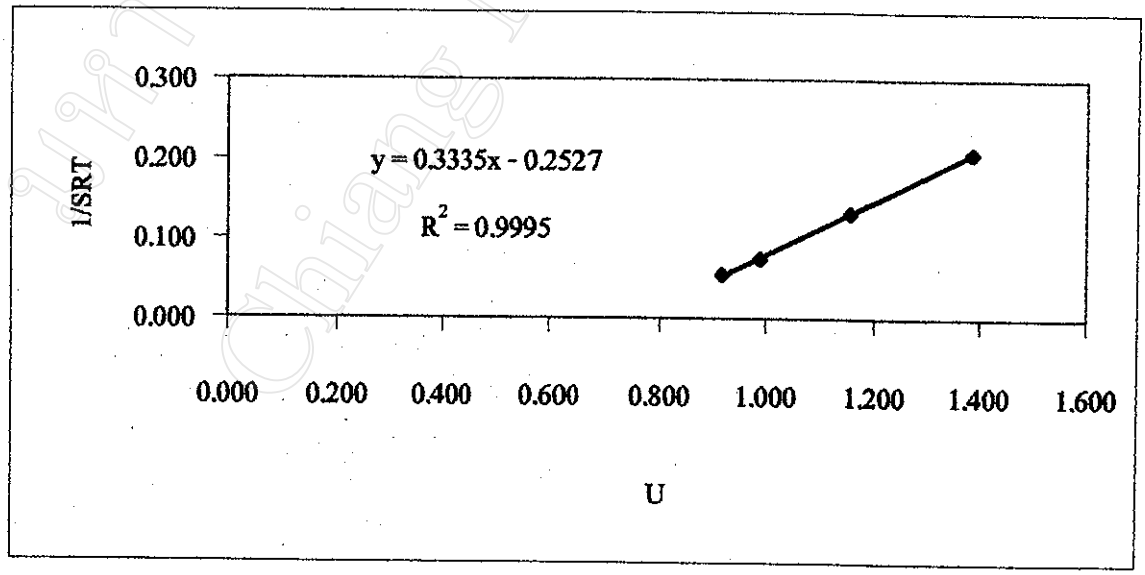
ตารางที่ 4.5 ข้อมูลที่ใช้ในการหาค่าคงที่จลน์ศาสตร์ Y และ k_d

No.	Media (ร้อยละ)	Q (l/d)	θ_c (วัน)	So (mg/l)	S (mg/l)	XV (mg)	(So-S)Q/XV ($วัน^{-1}$)	$1/\theta_c$ ($วัน^{-1}$)
1	0	57.6	5.2	308	68	10006	1.382	0.192
2	0	57.6	7.6	306	55	12591	1.148	0.132
3	0	57.6	12.8	307	49	14945	0.994	0.078
4	0	57.6	17.6	308	41	16514	0.931	0.057
5	5	57.6	4.8	305	59	10254	1.382	0.208
6	5	57.6	7.5	306	52	12645	1.157	0.133
7	5	57.6	13.3	307	44	15314	0.989	0.075
8	5	57.6	18.3	313	36	17401	0.917	0.055
9	10	57.6	4.7	305	52	10292	1.416	0.213
10	10	57.6	7.4	307	48	12856	1.160	0.135
11	10	57.6	13.4	303	33	15529	1.001	0.075
12	10	57.6	18.1	313	29	17451	0.937	0.055
13	15	57.6	4.7	308	57	10374	1.394	0.213
14	15	57.6	7.3	307	50	12930	1.145	0.137
15	15	57.6	13.0	303	43	15569	0.962	0.077
16	15	57.6	17.3	308	35	16618	0.946	0.058

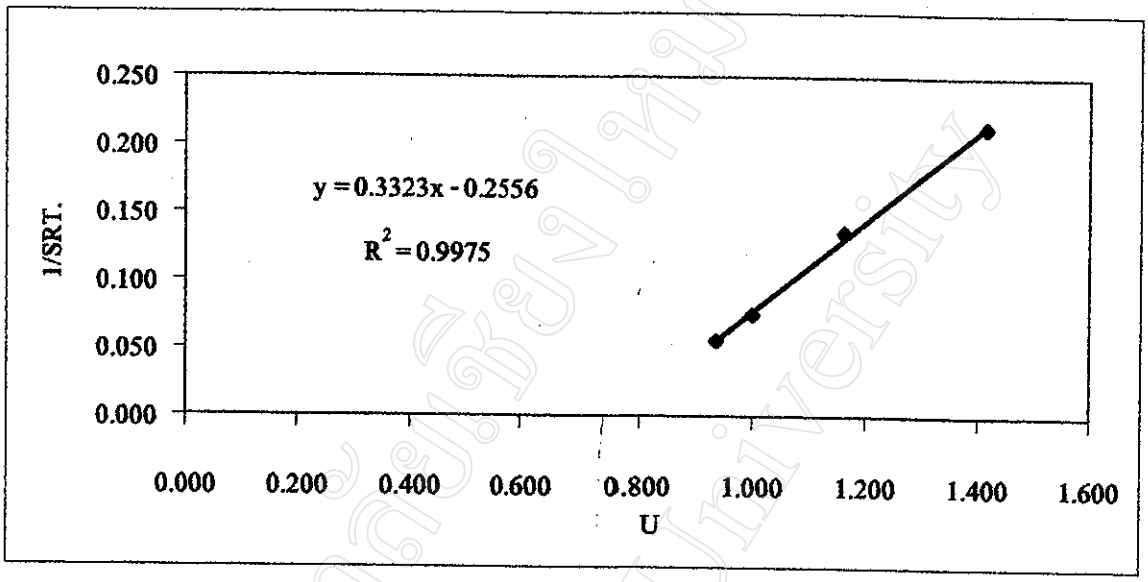
หมายเหตุ XV = น้ำหนักตะกอนอินทรีย์ในระบบทั้งหมด (มก.)



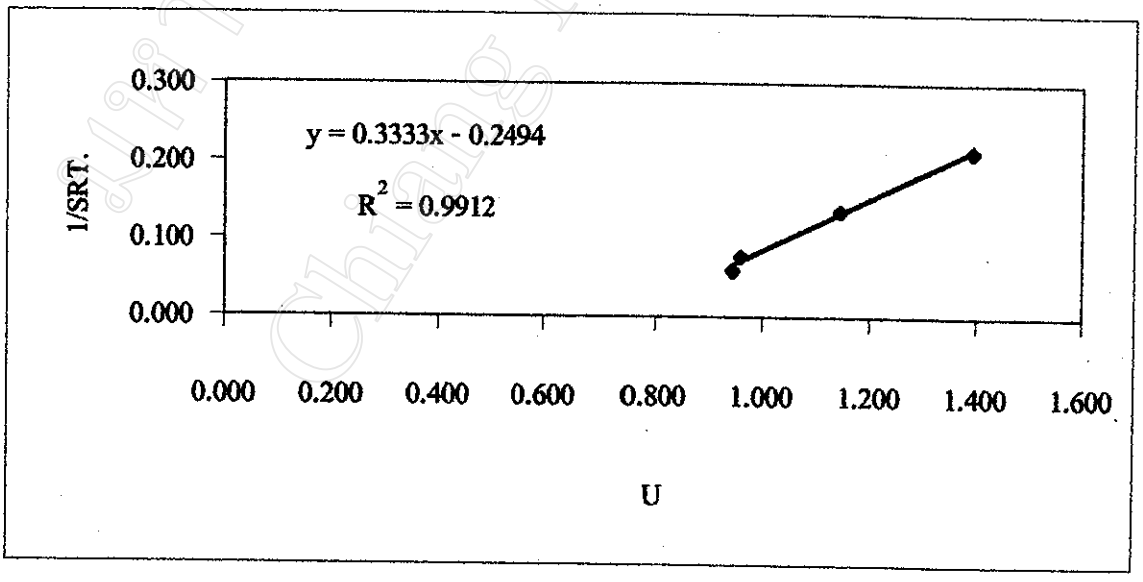
รูปที่ 4.12 การวิเคราะห์หาค่า Y และ k_d ของระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำ สังเคราะห์ในระบบ



รูปที่ 4.13 การวิเคราะห์หาค่า Y และ k_d ของระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำ สังเคราะห์ในระบบเท่ากับร้อยละ 5



รูปที่ 4.14 การวิเคราะห์หาค่า Y และ k_d ของระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ในระบบเท่ากับร้อยละ 10



รูปที่ 4.15 การวิเคราะห์หาค่า Y และ k_d ของระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ในระบบเท่ากับร้อยละ 15

ตารางที่ 4.6 ค่าคงที่จลน์ศาสตร์ Y และ k_d ที่ได้จากการศึกษา

MEDIA(ร้อยละ)	Y	k_d	R^2
0	0.30	0.22	0.9945
5	0.33	0.25	0.9995
10	0.33	0.26	0.9975
15	0.33	0.25	0.9912

ค่า Y ที่ได้จากการทดลองดังกล่าวสามารถนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตปรากฏ (Y_{obs}) ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในสภาวะของระบบที่ทำการทดลองได้จากสมการที่ 4.4

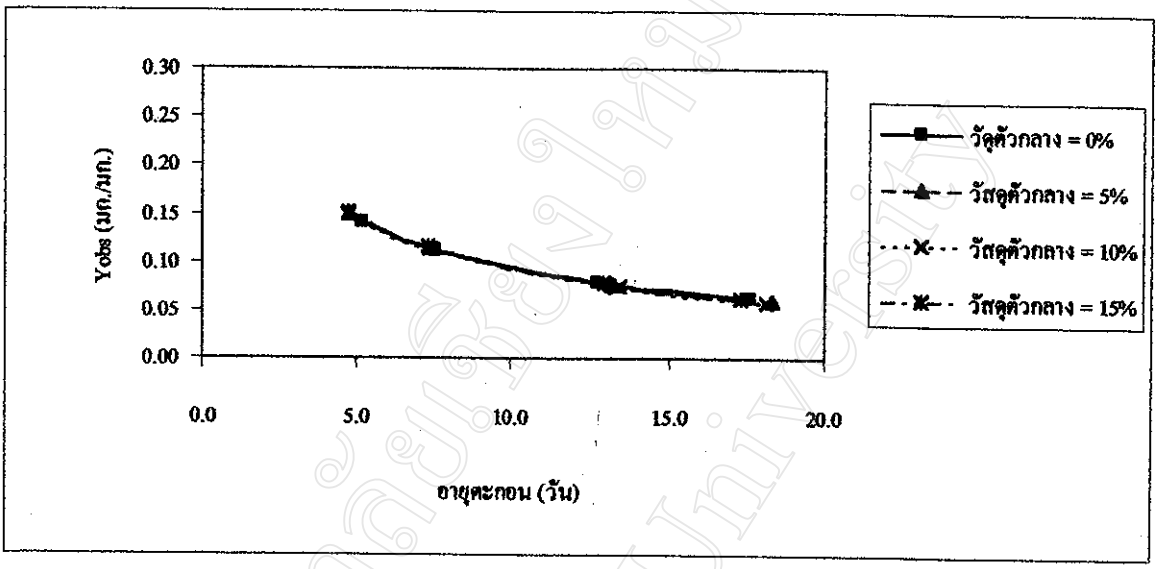
$$Y_{obs} = Y / 1+ k_d\theta c \qquad (4.4)$$

ผลของการหาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตปรากฏ (Y_{obs}) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 โดยระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 5.2, 7.6, 12.8 และ 17.6 วัน มีค่า Y_{obs} เท่ากับ 0.14, 0.11, 0.08 และ 0.06 มก./มก. ตามลำดับ ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5 ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.8, 7.5, 13.3 และ 18.3 วัน มีค่า Y_{obs} เท่ากับ 0.15, 0.11, 0.08 และ 0.06 มก./มก. ตามลำดับ ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 10 ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7, 7.4, 13.4 และ 18.1 วัน มีค่า Y_{obs} เท่ากับ 0.15, 0.11, 0.07 และ 0.06 มก./มก. ตามลำดับ และระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 15 ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7, 7.3, 13.0 และ 17.3 วัน มีค่า Y_{obs} เท่ากับ 0.15, 0.12, 0.08 และ 0.06 มก./มก. ตามลำดับ และผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ในระบบต่อค่า Y_{obs} ของระบบที่ทำการทดลองได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.16 ในการเปรียบเทียบค่า Y_{obs} ระหว่างระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์กับระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบตามค่าการเปลี่ยนแปลงอายุตะกอนในระบบ พบว่าระบบมีค่า Y_{obs} สูงสุดที่ค่าอายุตะกอนน้อยโดยระบบที่มีค่าอายุตะกอนอยู่ในช่วงระหว่าง 4.7-5.2 วัน มีค่า Y_{obs} อยู่ใน

ช่วงระหว่าง 0.14-0.15 มก./มก. และมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มค่าอายุตะกอนเพิ่มสูงขึ้นในทุกระบบของการทดลอง โดยระบบที่มีค่าอายุตะกอนอยู่ในช่วงระหว่าง 17.3-18.3 วัน มีค่า Y_{obs} เท่ากับ 0.06 มก./มก. ซึ่งมีค่าลดลงอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 57.1-60.0

ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตปรากฏ (Y_{obs}) ที่ได้จากการทดลอง

ปริมาณวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ (ร้อยละของถังปฏิกริยา)	อายุตะกอนในระบบ (วัน)	Y (มก./มก.)	k_d ($วัน^{-1}$)	Y_{obs} (มก./มก.)
0	5.2	0.30	0.22	0.14
0	7.6	0.30	0.22	0.11
0	12.8	0.30	0.22	0.08
0	17.6	0.30	0.22	0.06
5	4.8	0.33	0.25	0.15
5	7.5	0.33	0.25	0.11
5	13.3	0.33	0.25	0.08
5	18.3	0.33	0.25	0.06
10	4.7	0.33	0.26	0.15
10	7.4	0.33	0.26	0.11
10	13.4	0.33	0.26	0.07
10	18.1	0.33	0.26	0.06
15	4.7	0.33	0.25	0.15
15	7.3	0.33	0.25	0.12
15	13.0	0.33	0.25	0.08
15	17.3	0.33	0.25	0.06



รูปที่ 4.16 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ต่อค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตปรากฏ (Y_{obs}) ที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ

สำหรับในการดำเนินระบบโดยการควบคุมค่าอายุตะกอน จึงจำเป็นต้องมีการระบายตะกอนออกจากระบบ โดยที่ตะกอนดังกล่าวเป็นตะกอนส่วนเกินที่ต้องกำจัดออกจากระบบในแต่ละวัน สามารถคำนวณหาได้โดยคำนวณจากสมการที่ 4.5

$$P_x = YQ(So-S) / (1 + k_d\theta c) \qquad (4.5)$$

โดยที่

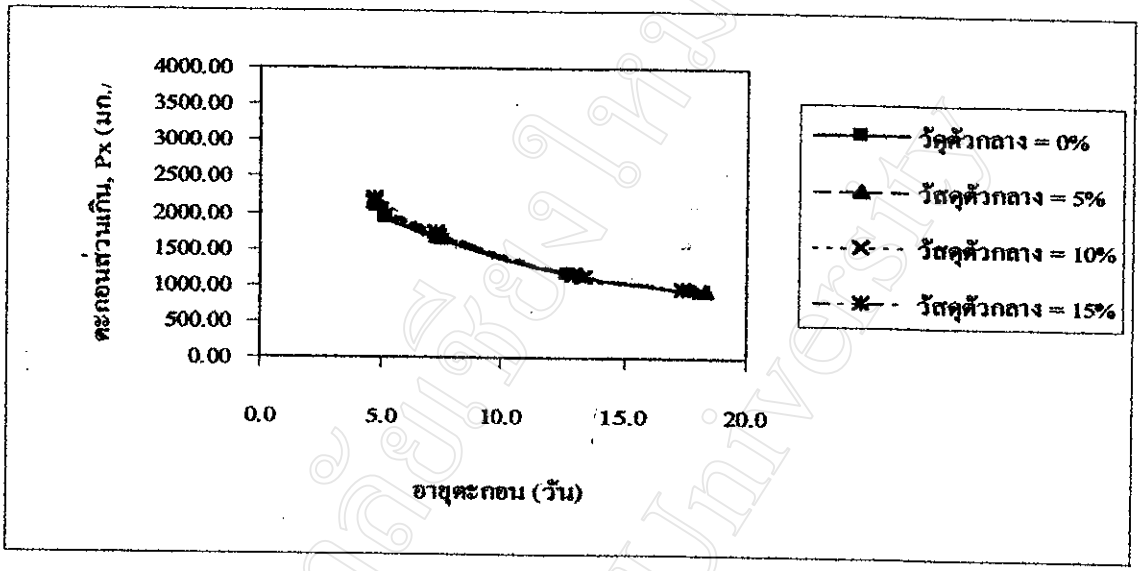
P_x = ตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกิน (น้ำหนัก/เวลา)

สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินที่เกิดขึ้นในระบบและต้องระบายออกจากระบบได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 โดยระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 5.2, 7.6, 12.8 และ 17.6 วัน มีค่า P_x เท่ากับ 1934, 1623, 1168 และ 947 มก./วัน ตามลำดับ ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5 ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.8, 7.5, 13.3 และ 18.3 วัน มีค่า P_x

เท่ากับ 2125, 1679, 1156 และ 944 มก./วัน ตามลำดับ ระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 10 ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7, 7.4, 13.4 และ 18.1 วัน มีค่า P_x เท่ากับ 2164, 1684, 1145 และ 946 มก./วัน ตามลำดับ และระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 15 ที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.7, 7.3, 13.0 และ 17.3 วัน มีค่า P_x เท่ากับ 2194, 1729, 1163 และ 974 มก./วัน ตามลำดับ และรูปที่ 4.17 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ต่อปริมาณตะกอนส่วนเกินในระบบที่ดำเนินการทดลอง หากเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์กับระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นปริมาณตะกอนส่วนเกินที่ต้องระบายออกจากระบบมีค่าใกล้เคียงกัน และปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินที่ต้องระบายออกจากระบบที่ค่าอายุตะกอนต่ำ ต้องมีการระบายออกในปริมาณสูง โดยระบบที่มีค่าอายุตะกอนอยู่ในช่วงระหว่าง 4.7-5.2 วัน มีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินเกิดขึ้นอยู่ในช่วงระหว่าง 1934-2194 มก./วัน และเมื่อเพิ่มค่าอายุตะกอนในระบบให้สูงขึ้น ปริมาณตะกอนที่ต้องระบายออกจากระบบมีค่าลดลง โดยระบบที่มีค่าอายุตะกอนอยู่ในช่วงระหว่าง 17.3-18.3 วัน มีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินเกิดขึ้นอยู่ในช่วงระหว่าง 947-974 มก./วัน หรือมีค่าลดลงอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 51.0-56.3

ตารางที่ 4.8 ตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินในระบบที่ทำการศึกษา

วัสดุตัวกลาง (ร้อยละของปริมาตรถังปฏิกริยา)	อายุตะกอนในระบบ (วัน)	Q (l/d)	So (มก./ล.)	S (มก./ล.)	Y (มก./มก.)	k_d ($วัน^{-1}$)	P_x (mg/d)
0	5.2	57.6	308	68	0.30	0.22	1934
0	7.6	57.6	306	55	0.30	0.22	1623
0	12.8	57.6	307	49	0.30	0.22	1168
0	17.6	57.6	308	41	0.30	0.22	947
5	4.8	57.6	305	59	0.33	0.25	2125
5	7.5	57.6	306	52	0.33	0.25	1679
5	13.3	57.6	307	44	0.33	0.25	1156
5	18.3	57.6	313	36	0.33	0.25	944
10	4.7	57.6	305	52	0.33	0.26	2164
10	7.4	57.6	307	48	0.33	0.26	1684
10	13.4	57.6	303	33	0.33	0.26	1145
10	18.1	57.6	313	29	0.33	0.26	946
15	4.7	57.6	308	57	0.33	0.25	2194
15	7.3	57.6	307	50	0.33	0.25	1729
15	13.0	57.6	303	43	0.33	0.25	1163
15	17.3	57.6	308	35	0.33	0.25	974



รูปที่ 4.17 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ต่อปริมาณตะกอนส่วนเกิน ในระบบที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ

4.5 การตรวจสอบความเป็นไปได้ในการใช้สมการพื้นฐานของ Monod ในการอธิบายการใช้สารอาหารของจุลชีพในระบบ

จากสมการพื้นฐานของ Monod ที่ได้ทดลองศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตของจุลชีพ และพบว่าอัตราการเจริญเติบโตมีความสัมพันธ์กับสารอาหารจำกัดบางชนิดหรือความเข้มข้นของสารอาหารในระบบ โดยกำหนดให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กับความเข้มข้นของสารอาหารที่จำกัด ดังที่ได้แสดงไว้ในสมการที่ 2.8

$$\mu = \mu m.\, S / (K_s + S)$$

สำหรับค่าอัตราการใช้สารอาหารจำเพาะ (Specific Utilization Rate) ดังที่ได้แสดงไว้ในสมการที่ 2.24 โดยกำหนดให้

$$U = kS/(K_s + S) = (So-S)/X\theta$$

ดังนั้นสามารถจัดสมการได้ในรูปของสมการที่ 4.6

$$X\theta/(So-S) = K_s/kS + 1/k \quad (4.6)$$

จากสมการที่ 4.6 สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์จลน์ศาสตร์ ได้แก่ อัตราการใช้สารอาหารสูงสุดต่อหนึ่งหน่วยของมวลจุลินทรีย์ (k), ความเข้มข้นของสารอาหาร ณ จุดที่จุลินทรีย์มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (K_s) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (μ_m)

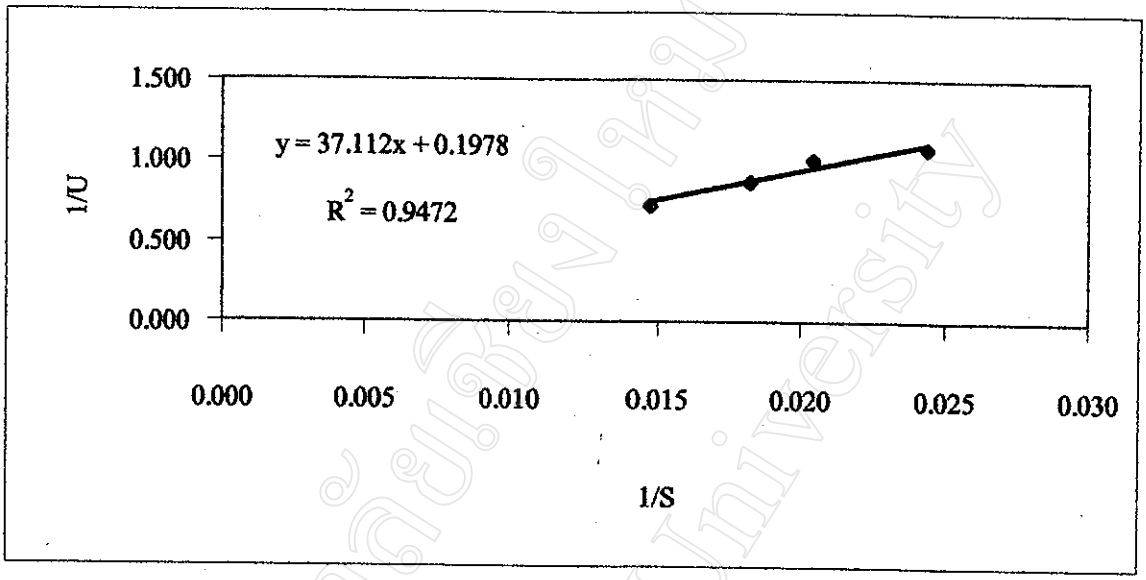
เมื่อนำค่า 1/U และ 1/S มาเขียนกราฟและลากเส้นแนวโน้มของข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นเส้นตรง (Linear) โดยใช้วิธี Least Square Method ฉะนั้นความลาดชันของเส้นตรงคือ ค่า K_s/k และระยะตัดแกนตั้งคือ ค่า 1/k นั่นเอง

ในตารางที่ 4.9 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการหาค่าคงที่จลน์ศาสตร์ ได้แก่ อัตราการใช้สารอาหารสูงสุดต่อหนึ่งหน่วยของมวลจุลินทรีย์ (k), ความเข้มข้นของสารอาหาร ณ จุดที่จุลินทรีย์มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (K_s) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (μ_m) และในรูปที่ 4.18-4.21 แสดงการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าว โดยได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.10

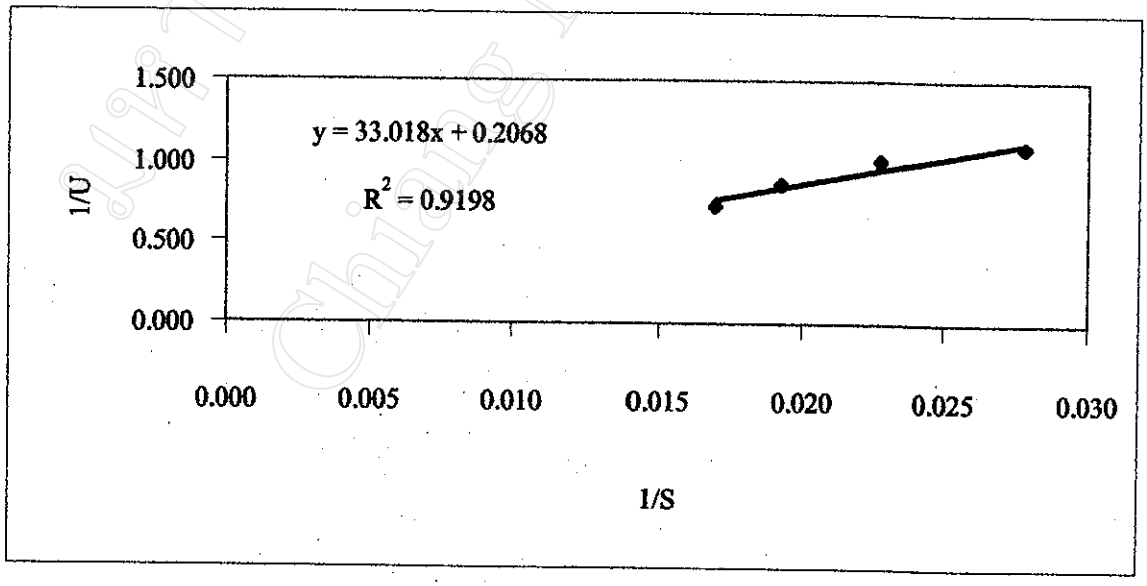
ตารางที่ 4.9 ข้อมูลที่ใช้ในการหาค่าคงที่จลน์ศาสตร์ k, และ K_s

No.	Media (ร้อยละ)	Q (l/d)	SRT. (d)	So (มก./ล.)	S (มก./ล.)	XV (มก.)	1/S (ล./มก.)	XV/(So-S)Q (วัน)
1	0	57.6	5.2	308	68	10006	0.015	0.724
2	0	57.6	7.6	306	55	12591	0.018	0.871
3	0	57.6	12.8	307	49	14945	0.020	1.006
4	0	57.6	17.6	308	41	16514	0.024	1.074
5	5	57.6	4.8	305	59	10254	0.017	0.724
6	5	57.6	7.5	306	52	12645	0.019	0.864
7	5	57.6	13.3	307	44	15314	0.023	1.011
8	5	57.6	18.3	313	36	17401	0.028	1.091
9	10	57.6	4.7	305	52	10292	0.019	0.706
10	10	57.6	7.4	307	48	12856	0.021	0.862
11	10	57.6	13.4	303	33	15529	0.030	0.999
12	10	57.6	18.1	313	29	17451	0.034	1.067
13	15	57.6	4.7	308	57	10374	0.018	0.718
14	15	57.6	7.3	307	50	12930	0.020	0.873
15	15	57.6	13.0	303	43	15569	0.023	1.040
16	15	57.6	17.3	308	35	16618	0.029	1.057

หมายเหตุ XV = น้ำหนักตะกอนอินทรีย์ในระบบทั้งหมด (มก.)

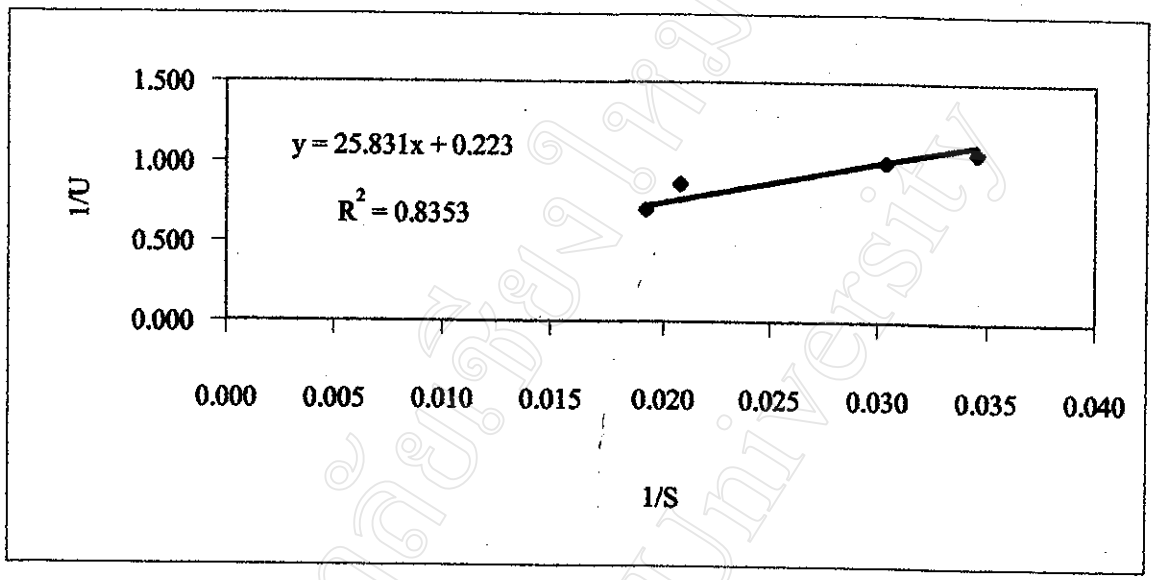


รูปที่ 4.18 การวิเคราะห์หาค่า K_s และ k ของระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ในระบบ

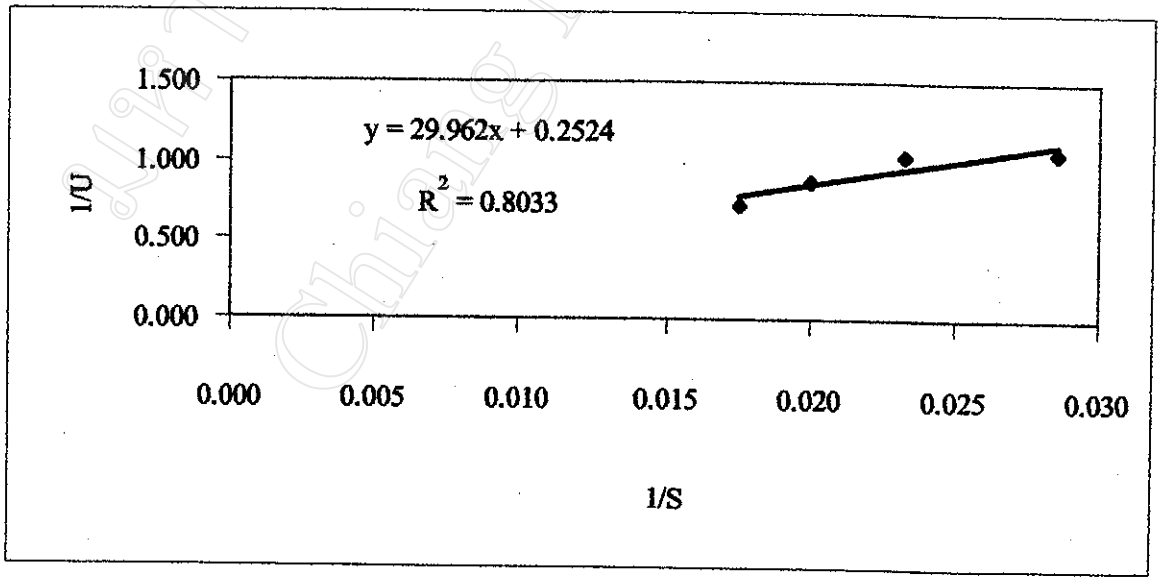


รูปที่ 4.19 การวิเคราะห์หาค่า K_s และ k ของระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ในระบบเท่ากับร้อยละ 5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University



รูปที่ 4.20 การวิเคราะห์หาค่า Y และ k_d ของระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำ สังเคราะห์ในระบบเท่ากับร้อยละ 10



รูปที่ 4.21 การวิเคราะห์หาค่า K_s และ k ของระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำ สังเคราะห์ในระบบเท่ากับร้อยละ 15

การตรวจสอบความเป็นไปได้ในการใช้สมการพื้นฐานของ Monod ในการอธิบายการใช้สารอาหารของจุลชีพในระบบได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.10 จะเห็นได้ว่า ระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์และระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ในถังปฏิกริยาจำนวนร้อยละ 5, 10 และ 15 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์จลน์ศาสตร์ของจุลินทรีย์ ได้แก่ อัตราการใช้สารอาหารสูงสุดต่อหนึ่งหน่วยของมวลจุลินทรีย์ (k) มีค่า 5.06, 4.84, 4.48 และ 3.96 วัน$^{-1}$ ตามลำดับ ส่วนค่าความเข้มข้นของสารอาหาร ณ จุดที่จุลินทรีย์มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (K_s) มีค่า 188, 160, 116 และ 119 มก./ล. ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ค่าคงที่จลน์ศาสตร์ k และ K_s ที่ได้จากการศึกษา

วัสดุตัวกลาง(ร้อยละ)	k	K_s	R^2
0	5.06	188	0.9472
5	4.84	160	0.9198
10	4.48	116	0.8353
15	3.96	119	0.8033

สำหรับค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (μ_m) สามารถคำนวณได้เมื่อทราบค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตสูงสุดของจุลินทรีย์ (Y) และค่าอัตราการใช้สารอาหารสูงสุดต่อหนึ่งหน่วยของมวลจุลินทรีย์ (k) โดยผลของการคำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.11 พบว่า ถังปฏิกริยาที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ในระบบมีค่า μ_m เท่ากับ 1.52 วัน$^{-1}$ ในขณะที่ถังปฏิกริยาที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 มีค่า μ_m เท่ากับ 1.60, 1.48 และ 1.31 วัน$^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้งระบบที่ไม่มีและมีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 มีค่า μ_m ใกล้เคียงกัน แสดงว่าจุลินทรีย์ในแต่ละระบบสามารถปรับตัวเข้ากับสภาวะแวดล้อมได้ ทำให้มีความสามารถในการเจริญเติบโตได้ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.11 ผลของปริมาณวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (μ_m)

วัสดุตัวกลาง(ร้อยละ)	Y	K	$\mu m = Yk$
0	0.30	5.06	1.52
5	0.33	4.84	1.60
10	0.33	4.48	1.48
15	0.33	3.96	1.31

จากการทดลองเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ในระบบเท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์จลน์ศาสตร์ของจุลินทรีย์ ได้แก่ Y, k, k_d, K_s และ μ_m เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ พบว่าค่าจลน์ศาสตร์ที่ได้จากระบบที่ทำการศึกษาทั้ง 4 การทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากในการทำงานของจุลินทรีย์เองมีความซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เป็นต้นว่า ความเข้มข้นของสารอาหาร ค่าอายุตะกอนในระบบ ชนิดของจุลินทรีย์ เป็นต้น

4.6 ปริมาณตะกอนอินทรีย์ที่เข้าและออกจากถังปฏิกริยา

ในตารางที่ 4.12 แสดงปริมาณตะกอนอินทรีย์ที่เข้าและออกจากระบบ โดยจะเห็นได้ว่าน้ำหนักตะกอนอินทรีย์รวมในระบบที่ทำการศึกษาทั้งหมด ได้แก่ ระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์และระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์เท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 ของปริมาตรถังปฏิกริยา มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 10006-17451 มก. ที่ค่าอายุตะกอนช่วงระหว่าง 4.7-18.3 วัน และน้ำหนักตะกอนอินทรีย์ที่ออกจากระบบทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 936-2206 มก./วัน นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าตะกอนอินทรีย์ที่ออกจากระบบส่วนใหญ่เกิดจากตะกอนอินทรีย์ส่วนที่หลุดไปกับน้ำทิ้ง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 701-1307 มก./วัน หรือคิดเป็นร้อยละ 60.0-78.0 ของน้ำหนักตะกอนอินทรีย์ที่ออกจากระบบทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากระบบที่ดำเนินการทดลองมีอัตราการไหลของน้ำเสียในปริมาณที่สูง แม้ว่าค่า VSS ในน้ำทิ้งมีค่าต่ำแต่เมื่อคำนวณหาค่าตะกอนอินทรีย์ที่หลุดออกไปกับน้ำทิ้งทำให้มีค่าเพิ่มขึ้นสูง สำหรับปริมาณตะกอนอินทรีย์ที่เกิดจากการระบายส่วนที่

แขวนลอยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 206-896 มก./วัน หรือคิดเป็นร้อยละ 22.0-42.6 ของน้ำหนักตะกอนอินทรีย์ที่ออกจากระบบทั้งหมด แต่พบว่าปริมาณตะกอนอินทรียที่ระบายออกจากระบบในส่วนที่เกาะติดวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ มีค่าน้อยมากเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับน้ำหนักตะกอนอินทรีย์ที่ออกจากระบบทั้งหมด โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 4-44 มก./วัน หรือมีค่าสูงสุดไม่เกินร้อยละ 2 ของน้ำหนักตะกอนอินทรีย์ที่ออกจากระบบทั้งหมด ฉะนั้นในการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ดังกล่าวในระบบไม่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของกระบวนการตะกอนเร่ง

ตารางที่ 4.12 ปริมาณตะกอนอินทรีย์ที่เข้าและออกจากระบบ

ปริมาณตัวกลาง (ร้อยละของปริมาตรถังปฏิกริยา)	นน.ตะกอนอินทรีย์รวมในระบบ (มก.)	นน.ตะกอนอินทรีย์ที่ระบายส่วนที่แขวนลอย (มก./วัน)	นน.ตะกอนอินทรีย์ที่ระบายส่วนที่เกาะติดตัวกลาง (มก./วัน)	นน.ตะกอนอินทรีย์ส่วนที่หลุดไปกับน้ำทิ้ง (มก./วัน)	นน.ตะกอนอินทรีย์ที่ออกจากระบบทั้งหมด (มก./วัน)	ค่าอายุตะกอนในระบบ (วัน)
0	10006	751	0	1191	1942	5.2
0	12591	630	0	1030	1660	7.6
0	14945	374	0	792	1166	12.8
0	16514	206	0	730	936	17.6
5	10254	808	5	1303	2116	4.8
5	12645	662	6	1012	1680	7.5
5	15314	401	4	746	1151	13.3
5	17401	228	4	719	951	18.3
10	10292	850	20	1307	2177	4.7
10	12856	708	12	1011	1731	7.4
10	15529	427	10	723	1160	13.4
10	17451	240	7	718	965	18.1
15	10374	896	44	1266	2206	4.7
15	12930	745	26	993	1764	7.3
15	15569	449	21	722	1192	13.0
15	16618	239	19	701	959	17.3