บทที่ 5

การทดสอบแบบจำลองและการวิเคราะห์

ได้ทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องปฏิกรณ์ชีวเคมีแบบไร้อากาศสำหรับผลิตแก๊สชีวมวลจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โดยแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อดังนี้

5.1 การเปรียบเทียบค่าตัวแปรสถานะที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับค่าที่ได้จากการทดลอง

5.2 การทำนายค่าตัวแปรสถานะที่ไม่สามารถวัดได้จากการทดลอง

5.3 หาจุดเหมาะสมในการเดินเครื่อง

ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวเคมีมีตัวแปรสถานะหลายชนิด เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง และความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยตัวแปรสถานะที่สนใจในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ความเข้มข้นของสารอาหาร (สารอินทรีย์ในน้ำเสีย) ความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ ความเข้มข้นของจุลชีพ และปริมาณแก๊สที่ผลิตขึ้น ในขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อและการดำเนินการปกติภายใต้เงื่อนไขการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเสีย หรือเวลาการกักเก็บน้ำเสีย

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเป็นผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ในแต่ละหัวข้อที่กล่าวไว้ข้างต้น

5.1 การเปรียบเทียบค่าตัวแปรสถานะที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับค่าที่ได้จากการทดลอง

แบ่งออกเป็น 2 ข้อ ดังนี้

5.1.1 การเปรียบเทียบค่าตัวแปรสถานะที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้พารามิเตอร์ที่ได้จาก Lawrance & McCarty (11) กับค่าที่ได้จากการทดลอง

ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตมี 2 ขั้นตอนหลัก คือ การผลิตกรดโวลาไทล์ และการผลิตแก๊สมีเทน เป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องโดยมีจุลชีพ 2 กลุ่มหลักคือ จุลชีพผลิตกรดใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารได้ กรดโวลาไทล์เป็นผลิตภัณฑ์ และจุลชีพผลิตแก๊สมีเทนใช้กรดโวลาไทล์เป็นอาหารเพื่อผลิตแก๊สมีเทน ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในสมการแบบจำลองมีดังนี้ μ_m , K_s , Y และ b

ตารางที่ 5.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

พารามิเตอร์	ขั้นตอนการผลิตกรด (ตารางที่ 2.6)	ขั้นตอนการผลิตมีเทน (ตารางที่ 2.5)
μ_m ,วัน$^{-1}$	0.36	0.38
K_s ,มิลลิกรัม/ลิตร	25	154
Y , มิลลิกรัมจุลชีพ/มิลลิกรัม	0.253	0.044
b , วัน$^{-1}$	0.006	0.15

ขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อ *พิจารณาอิทธิพลของกรดโวลาไทล์ต่อจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน* จากการทดลองจริงในตอนการเลี้ยงเชื้อ เริ่มต้นด้วยเติมน้ำเชื้อจากบ่อบำบัดน้ำเสีย 50% และเติมน้ำธรรมดา 50% เข้าเครื่องปฏิกรณ์ สังเกตผล 3-7 วัน น้ำเสียในเครื่องปฏิกรณ์มีค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์เริ่มต้น 3,060 มิลลิกรัม/ลิตร และเพิ่มขึ้นถึง 4,158.95 มิลลิกรัม/ลิตร ในวันที่ 12

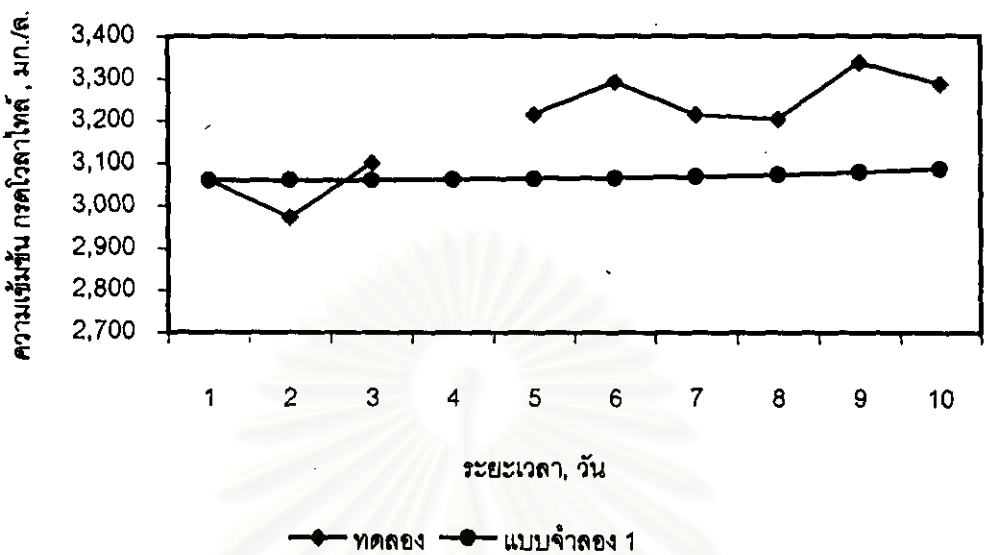
ดึงน้ำเสียออกจากเครื่องปฏิกรณ์ 50% และเติมน้ำเสียจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นกรดโวลาไทล์ต่ำ 25% และ น้ำธรรมดา 25 % ทำให้ความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ลดลงถึง 50% และเริ่มลดต่ำลง (รูปที่ ก.1) ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น จากเหตุผลข้างต้นทำให้เชื่อว่า เมื่อระดับความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์สูงกว่า 3,000 จะเป็นพิษต่อจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน ตามที่ Buswell (5) ได้กล่าวไว้ว่า กรดโวลาไทล์ภายในเครื่องปฏิกรณ์ต้องไม่เกิน 2,000-3,000 มิลลิกรัม/ลิตร เกินอาจหยุดยั้งขั้นตอนการเกิดมีเทน

การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในขั้นตอนนี้ใช้สมการที่ 3.9-3.20 แทนค่า μ ด้วยสมการที่ 3.16 ซึ่งมีฟังก์ชันของตัวยับยั้งการเจริญเติบโต แล้วให้โปรแกรมคำนวณการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ ณ เวลาต่างๆ เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง โดยแสดงผลการทดสอบในรูปที่ 5.1 (แบบจำลอง 1 แทนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ยังไม่ได้ปรับแก้ค่า , แบบจำลอง 2 แทนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ปรับแก้ค่า ใช้คำจำกัดความนี้ในทุกรูป) พบว่า เส้นกราฟที่ได้จากแบบจำลองห่างจากเส้นกราฟที่ได้จากการทดลองจริงเฉลี่ย –5% แต่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกัน

ในขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อ หลังจากกำจัดอิทธิพลของกรดโวลาไทล์ต่อจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน การทดสอบส่วนนี้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสมการที่ 3.9-3.20 เช่นกันแต่แทนค่า μ ด้วยสมการ 2.7 ซึ่งเป็น สมการของ Monod ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับเส้นกราฟที่ได้จากการทดลอง แต่มีค่าเบี่ยงเบน 23% ในช่วงก่อนวันที่ 15 และหลังจากนั้นเส้นกราฟยังคงมีแนวโน้มเดียวกันแต่ตำแหน่งของการเกิดจุดเว้าต่างกัน ค่าเบี่ยงเบนมากถึง 60% จากการทดลอง

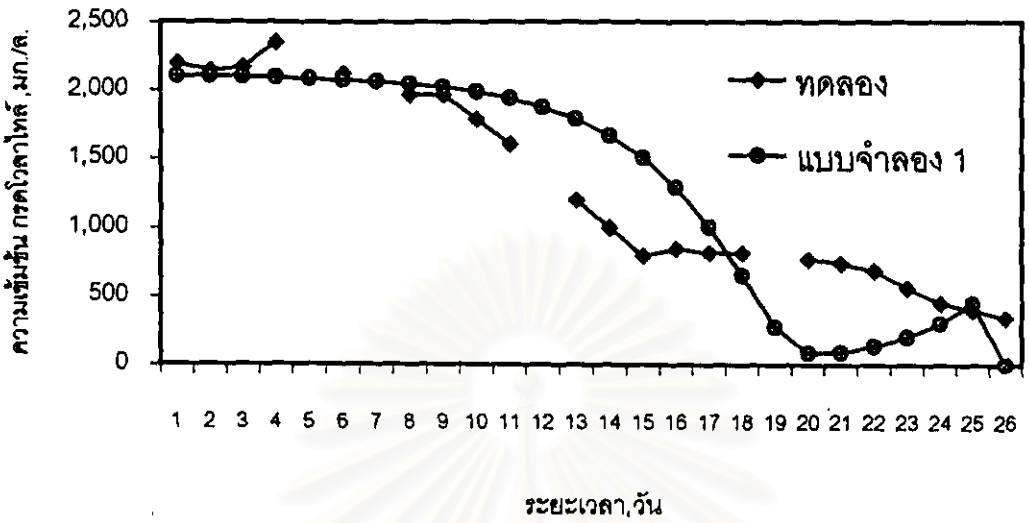
ขั้นตอนการดำเนินการปกติ การทดสอบในส่วนนี้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สมการที่ 3.21 – 3.35 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ ความเข้มข้นของสารอาหารจากค่า BOD ปริมาณแก๊สที่ผลิตได้ และสภาวะที่ระบบล้มเหลว ภายใต้เงื่อนไขการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเสียซึ่งเทียบเท่ากับเวลากักเก็บน้ำเสีย แสดงในตารางที่ ก.7

ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 5.3-5.5 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟของค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับเส้นกราฟที่ได้จากผลการทดลอง แต่เมื่อพิจารณาค่าที่ได้มีความห่างอย่างมาก ค่า BOD เบี่ยงเบนจากการทดลองจริงถึง 90% ค่ากรดโวลาไทล์ 73.34% และปริมาณแก๊ส 21.65%



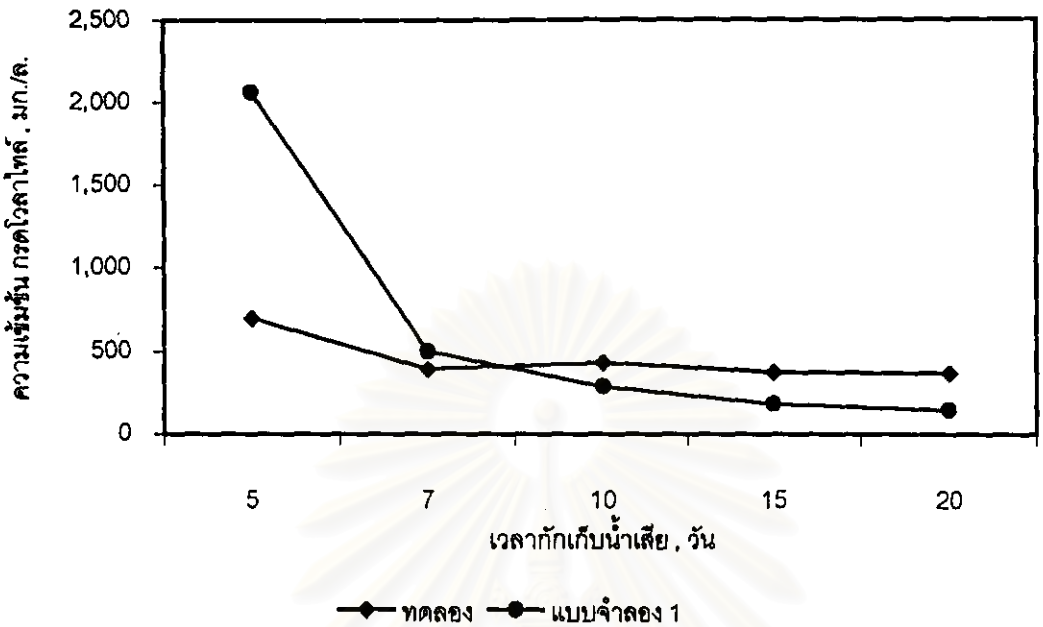
รูปที่ 5.1 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1 และที่วัดได้จากการทดลองในช่วงการเลี้ยงเชื้อ พิจารณาอิทธิพลของตัวยับยั้งการเจริญเติบโตจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

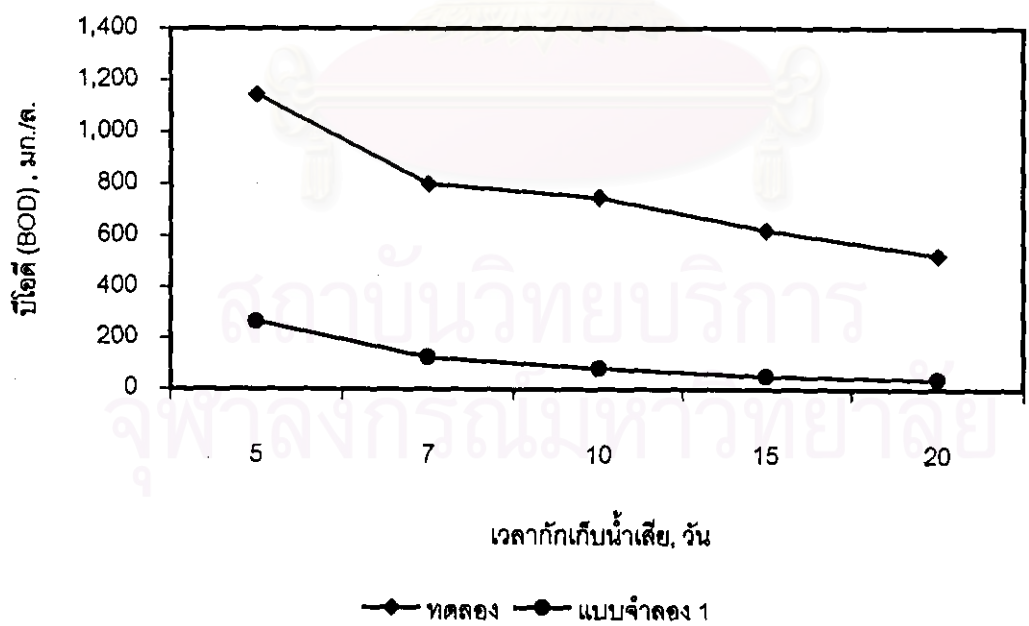


รูปที่ 5.2 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1 และค่าที่วัดได้จากการทดลอง ในช่วงการเลี้ยงเชื้อ

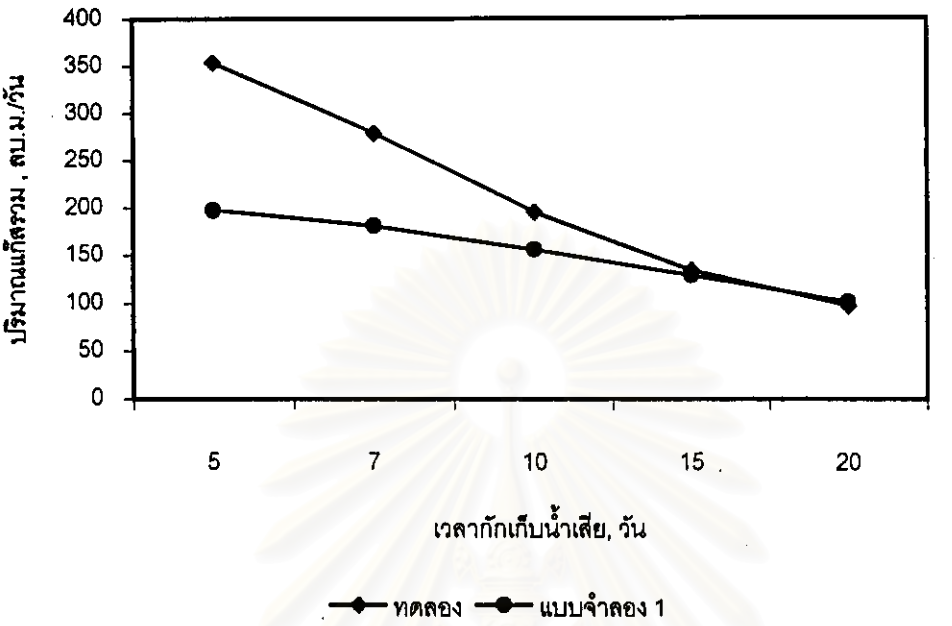
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทด์ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1 และที่วัดได้จากการทดลองในช่วงการดำเนินการปกติ



รูปที่ 5.4 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าบีโอดี (BOD) ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1 และที่วัดได้ได้จากการทดลองในช่วงการดำเนินการปกติ



รูปที่ 5.5 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณแก๊สรวมที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1 และที่วัดได้จากการทดลองในช่วงการดำเนินการปกติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.2 การเปรียบเทียบค่าตัวแปรสถานะที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยปรับแก้ค่าพารามิเตอร์เพื่อให้อธิบายผลการทดลองจริงได้กับค่าที่ได้จากการทดลอง

ผลการทดสอบที่ผ่านมาในหัวข้อ 5.1.1 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงคล้ายกับผลการทดลอง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ตั้งสมมติฐานว่า ค่าพารามิเตอร์ใช้ไม่มีความเหมาะสม จึงได้ทำการหาค่าพารามิเตอร์ โดยการสุ่มแล้วปรับค่าโดยใช้ข้อมูลจากการทดลองจริงเป็นค่าอ้างอิง

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลักจากปรับค่า K_s

พารามิเตอร์	ขั้นตอนการผลิตกรด (ตารางที่ 2.6)		ขั้นตอนการผลิตมีเทน (ตารางที่ 2.5)	
	ก่อนปรับ	หลังปรับ	ก่อนปรับ	หลังปรับ
μ_m ,วัน$^{-1}$	0.36	0.36	0.38	0.38
K_s , มก./ล.	25	700	154	450
Y , มก.จุลชีพ/มก.อาหาร	0.253	0.253	0.044	0.044
b , วัน$^{-1}$	0.006	0.006	0.15	0.15

ในการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อให้สอดคล้องกับผลการทดลองจริง ไม่สามารถวิเคราะห์ได้จากผลการทดลองจริง เนื่องจากข้อมูลการทดลองไม่เพียงพอ วิธีที่สามารถทำได้คือการสุ่มค่าแล้วปรับค่าโดยใช้ข้อมูลจากการทดลองจริงเป็นค่าอ้างอิง การพิจารณาเลือกปรับพารามิเตอร์ตัวใดนั้น ขึ้นอยู่กับว่าพารามิเตอร์ตัวนั้นๆ มีอิทธิพลมากน้อยเพียงใดต่อระบบ

พิจารณาจุลชีพผลิตกรด b มีค่าน้อยมากเทียบกับค่า μ_m ซึ่งมีผลทำให้จุลชีพในระบบลดลงเล็กน้อยและค่าน้อยกว่าครึ่งในจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน ในส่วนของค่ายิลด์ Y มีค่ามากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับอัตราการจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์เช่นกัน จากเหตุผลที่กล่าวผู้วิจัยมีความเห็นว่าค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมีอิทธิพลต่อระบบ

มากกว่าค่าพารามิเตอร์ชนิดอื่นๆ แต่ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะโดยสมการของ Monod และสมการที่ใช้กับตัวยั้บยั้งการเจริญเติบโตขอลจุลชีพผลิตมีเทน (Inhibition function) เป็นฟังก์ชันของ μ_m และ K_s ดังนั้นจึงเลือกทำการทดสอบปรับค่าทั้ง 2 ชนิดไปด้วยกัน พบว่าผลการทดสอบที่ได้เบี่ยงเบนจากผลการทดลองจริงมาก จึงได้เลือกทดสอบโดยการคงที่ค่าใดค่าหนึ่งไว้และเปลี่ยนแปลงอีกค่าที่เหลืออยู่

ในการปรับ μ_m โดยการคงที่ค่า K_s เมื่อเพิ่มหรือลดค่า μ_m จะทำให้ค่าความเข้มข้นของตัวแปรสถานะที่ศึกษาแปรผันตามและมีช่วงการเปลี่ยนแปลงของค่าที่คำนวณกว้างกว่าการปรับ K_s โดยการคงที่ μ_m ซึ่งได้ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะน้อยลงเมื่อปรับ K_s มากขึ้นและมีผลสอดคล้องกับการทดลองจริงมากกว่าการปรับค่าแบบแรก

ผลการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการปรับค่า K_s โดยการคงที่ μ_m เป็นดังนี้

ขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อ พิจารณาอิทธิพลของกรดโวลาไทล์ต่อจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน ผลการการทดสอบแสดงในรูปที่ 5.6 ค่าเบี่ยงเบนลดลง จาก 5% เป็น 3%

ขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อ หลังจากกำจัดอิทธิพลของกรดโวลาไทล์ต่อจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน ผลการการทดสอบแสดงในรูปที่ 5.7 ค่าเบี่ยงเบนลดลง จาก 23% เป็น 5%

ค่าเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นอาจเป็นผลมาจากในระบบการทดลองจริง กรดโวลาไทล์มีหลายชนิด เช่น กรดอะซิติก กรดบิวทิริก กรดโพรพาโนอิก เป็นต้น จุลชีพผลิตมีเทนคนละชนิดกัน จะใช้กรดโวลาไทล์ชนิดต่างกัน ในปริมาณไม่เท่ากัน ในการวิจัยนี้ศึกษาความเข้มข้นรวมของกรดโวลาไทล์ โดยใช้กรดอะซิติกเป็นตัวแทน จุลชีพในแบบจำลองกินอาหารชนิดเดียว จึงไม่มีปัญหาการสะสมสารอาหารชนิดอื่น ดังนั้นในทดลองจริงจึงเกิดการสะสมของสารอาหารที่จุลชีพไม่ต้องการหรือใช้ในปริมาณน้อย ทำให้ความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ในการทดลองจริงมีค่าสูงกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อยู่เสมอ

นอกจากนี้ในระบบการทดลองจริงจุลชีพมีการย่อยสลาย ซึ่งองค์ประกอบของเซลล์จุลชีพเป็นสารอินทรีย์ เซลล์ที่ย่อยสลายหรือตายจะกลายเป็นอาหารของจุลชีพ

ซึ่งเป็นเหตุผลอีกประการหนึ่งที่ทำให้ค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ในระบบจริงไม่เป็นศูนย์ดังเช่นผลการทดสอบจากแบบจำลอง

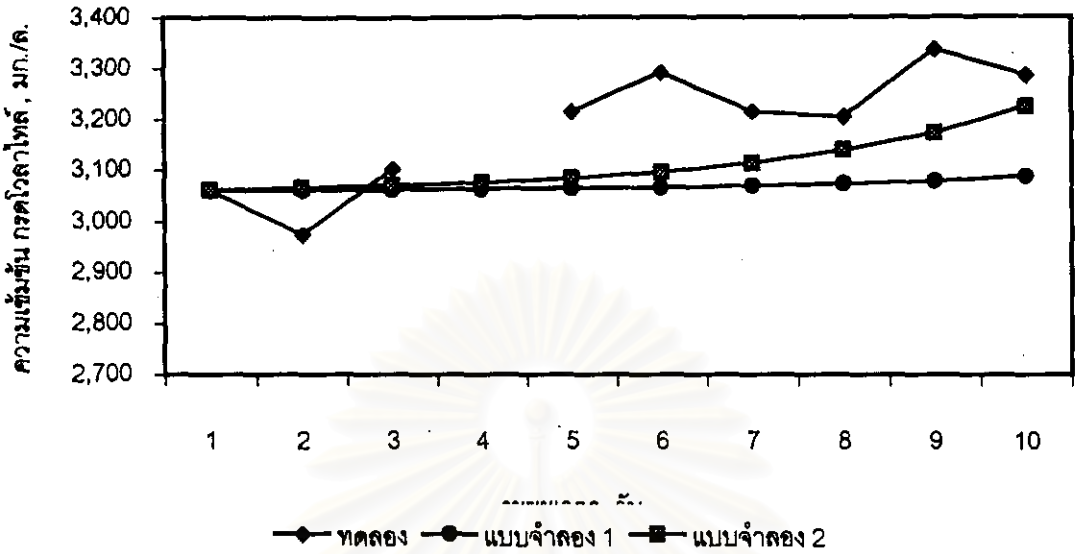
การแก้ไขเพื่อเพิ่มความถูกต้องทำได้โดยศึกษาชนิดของจุลชีพในเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้วิจัยและพัฒนาแบบจำลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์แต่ละชนิดที่มีในระบบ และเพิ่มพจน์สารอาหารที่ได้จากจุลินทรีย์ที่สลายตัวหรือตาย จะทำให้แบบจำลองสามารถอธิบายผลได้สอดคล้องกับผลการทดลองจริงมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม ในขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อ จะเห็นได้ว่าผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าเบี่ยงเบนเพียง 3% ในขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อ พิจารณาอิทธิพลของกรดโวลาไทล์ต่อจุลชีพผลิตแก๊สมีเทนขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อ หลังจากกำจัดอิทธิพลของกรดโวลาไทล์ต่อจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน และ 5% ขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อ หลังจากกำจัดอิทธิพลของกรดโวลาไทล์ต่อจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน จากผลการทดสอบที่ออกมานั้นแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสำหรับขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อสามารถใช้อธิบายพฤติกรรมของเครื่องปฏิกรณ์ได้ถูกต้อง 95%

ขั้นตอนการดำเนินการปกติ ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 5.8-5.10 เส้นกราฟที่ได้จากการทดสอบมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับผลการทดลองจริง แต่ค่าเบี่ยงเบนยังคงเป็นตัวเลขที่ไม่สามารถยอมรับได้

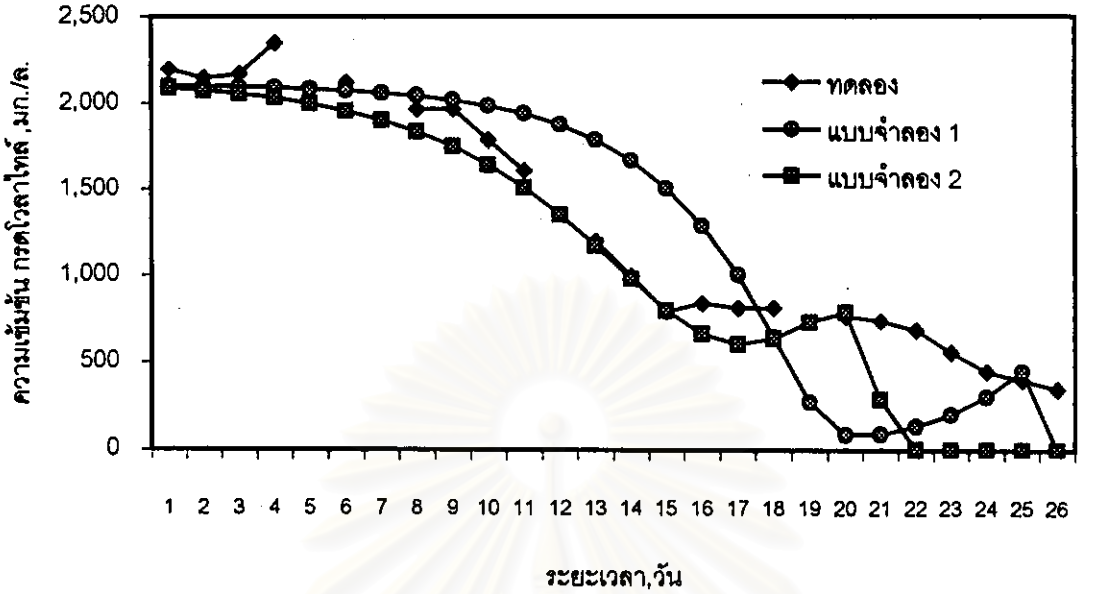
ค่าเบี่ยงเบนจากผลการทดลองจริงของค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ ลดลงจาก 90% เป็น 16.26%

ค่าเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นมาจากเหตุผลเดียวกับขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อ หลังจากกำจัดอิทธิพลของกรดโวลาไทล์ต่อจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน แต่ค่าเบี่ยงเบนสูงกว่าขั้นตอนดังกล่าวเพราะเป็นระบบการทำงานต่อเนื่องมีการนำน้ำเสียซึ่งมีความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ 1,300 มิลลิกรัม/ลิตร เข้าเครื่องปฏิกรณ์ทุกวัน โอกาสเกิดการสะสมของกรดโวลาไทล์ชนิดที่ไม่ต้องการย่อมมีมากกว่า



รูปที่ 5.6 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1 , 2 และที่วัดได้จากการทดลองในช่วงการเลี้ยงเชื้อ พิจารณาอิทธิพลของตัวยับยั้งการเจริญเติบโตจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.7 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทด์ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1, 2 และค่าที่วัดได้จากการทดลอง ในช่วงการเลี้ยงเชื้อ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การแก้ไขเพื่อเพิ่มความถูกต้องทำได้โดยศึกษาชนิดของจุลชีพในเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้วิจัยและพัฒนาแบบจำลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์แต่ละชนิดที่มีในระบบ จะทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น

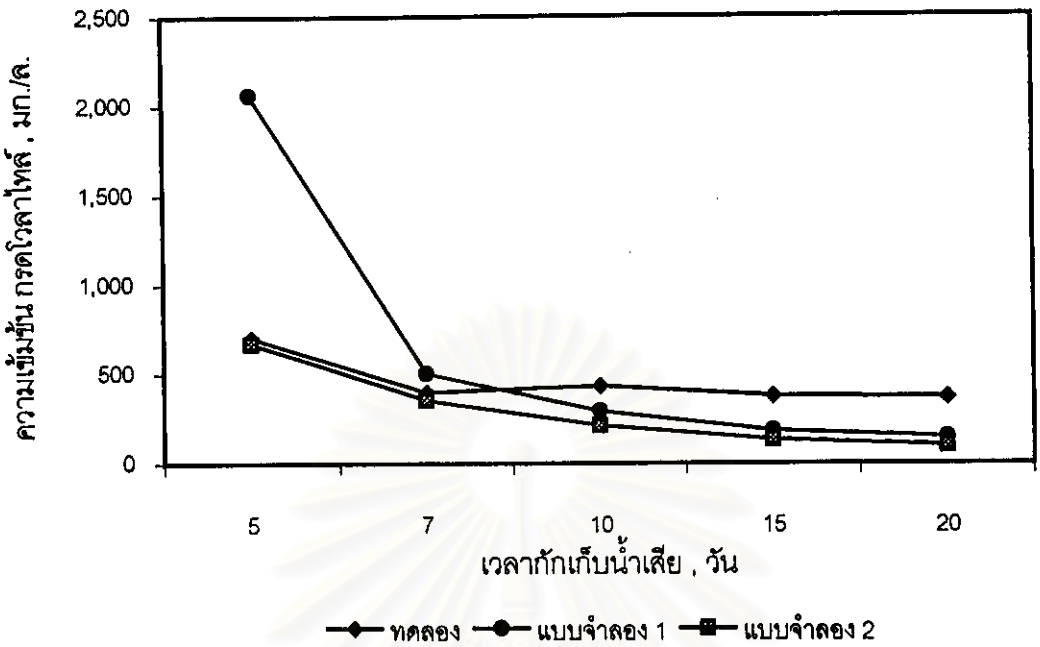
ค่าเบี่ยงเบนจากผลการทดลองจริงของค่า BOD ลดลงจาก 73% เป็น 40.81%

ค่าเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นอาจเป็นผลมาจากในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ค่าความเข้มข้นของ BOD ที่คำนวณได้เป็นค่าความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์ที่เหลือหลังจากผ่านการย่อยจากจุลชีพผลิตกรดเพียงอย่างเดียว แต่ในระบบการทดลองจริงน้ำเสียที่นำไปวัดค่า BOD จะมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์หลายชนิดรวมถึงตะกอนจุลชีพ ซึ่งทำให้ค่า BOD มีค่าสูง ในการหาค่า BOD เพื่อบอกค่าความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์ในระบบการทดลอง แก้ไขโดยการกำจัดตะกอนน้ำเสียก่อนนำไปตรวจสอบค่า BOD หรือ บวกพจน์ค่าความเข้มข้นของตะกอนลงในสมการแบบจำลอง ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถทำได้เพราะไม่สามารถตรวจสอบความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพที่แท้จริงได้เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง

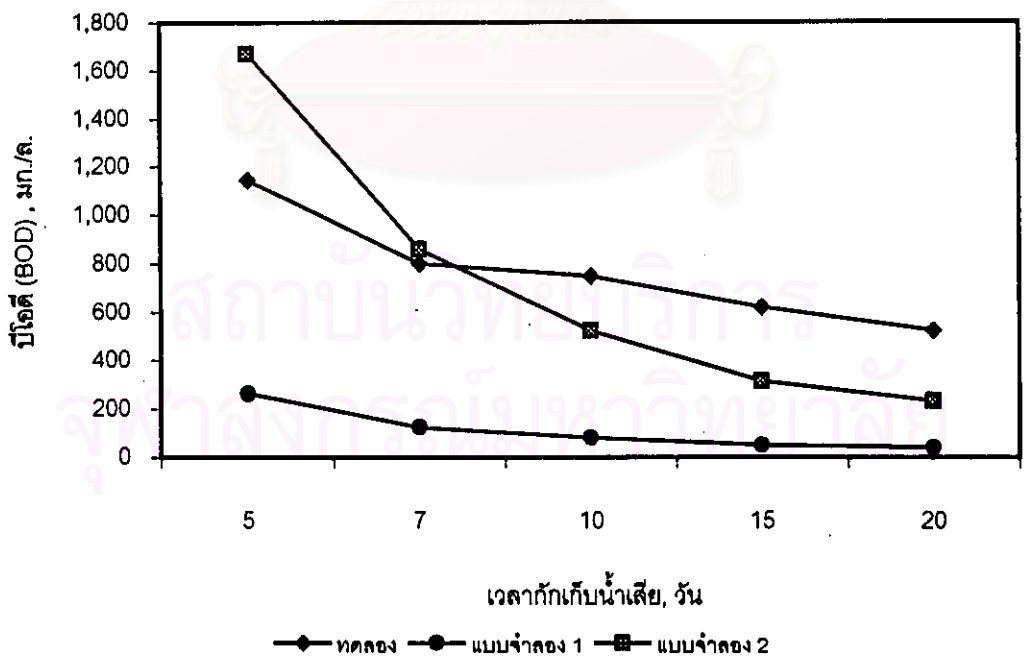
ค่าเบี่ยงเบนจากผลการทดลองจริงของปริมาณแก๊สสะสมเพิ่มขึ้นจาก 21.56 % เป็น 64.18%

ค่าเบี่ยงเบนอาจเป็นผลมาจากพารามิเตอร์ในสมการ 2.12 ไม่เหมาะสมที่จะใช้อธิบายพฤติกรรมการเกิดแก๊สในเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

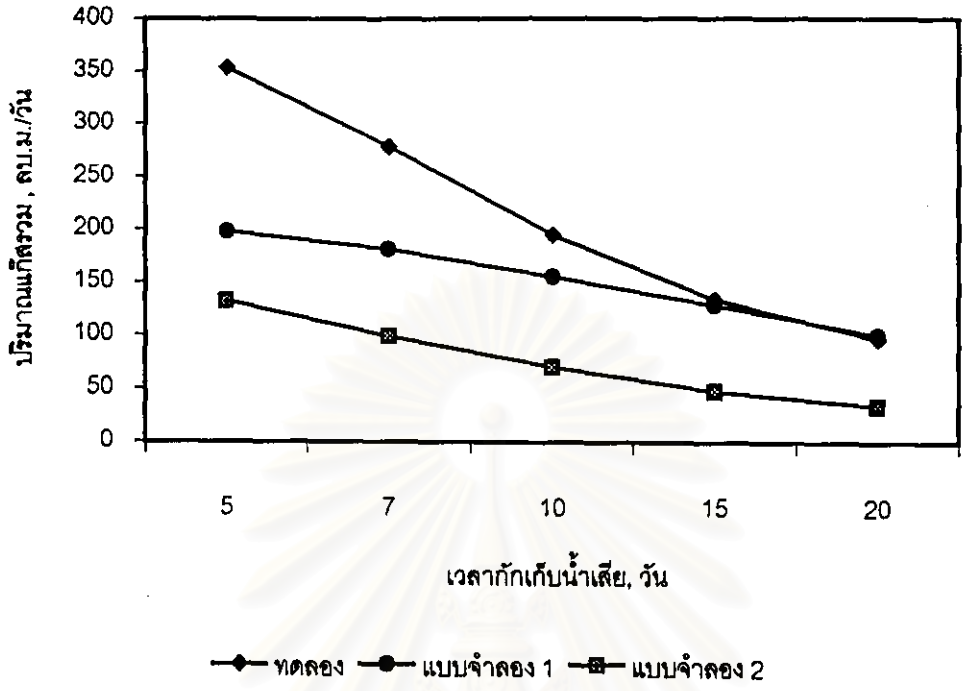
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในขั้นตอนการดำเนินการดูเหมือนว่าอธิบายผลการทดลองจริงได้ไม่ดีนัก พิจารณาได้จากค่าเบี่ยงเบน ในทางตรงกันข้ามเส้นกราฟของทุกตัวแปรสถานะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับการทดลองจริง ยืนยันได้ว่าการพัฒนาแบบจำลองมาได้ถูกทิศทาง แต่ผลจากการทดสอบแบบจำลองของปริมาณแก๊สที่ได้ไม่สอดคล้องกับผลการทดสอบของอีก 2 ตัวแปรสถานะ คือ ความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์และค่า บีโอดี การแก้ไขอาจทำได้โดยลองปรับค่าพารามิเตอร์ทุกค่าให้มีความสอดคล้องกันทั้งหมด หมายถึง สามารถอธิบายแบบจำลองโดยที่ผลการทดสอบวิ่งเข้าหาผลการทดลองจริงเหมือนกันทุกแปรที่ศึกษา ไม่ใช่วิ่งเข้าหาตัวแปรใดตัวหนึ่ง นอกจากต้องพิจารณาอิทธิพลจากตัวแปรอื่นๆ เพิ่มเติมเช่น อุณหภูมิ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไฮโดรเจน



รูปที่ 5.8 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1,2 และที่วัดได้จากการทดลองในช่วงการดำเนินการปกติ



รูปที่ 5.9 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าบีโอดี (BOD) ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1 , 2 และที่วัดได้ได้จากการทดลองในช่วงการดำเนินการปกติ



รูปที่ 5.10 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณแก๊สรวมที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1 , 2 และที่วัดได้จากการทดลองในช่วงการดำเนินการปกติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 การทำนายตัวแปรสถานะที่ไม่สามารถวัดได้จากการทดลองจริง

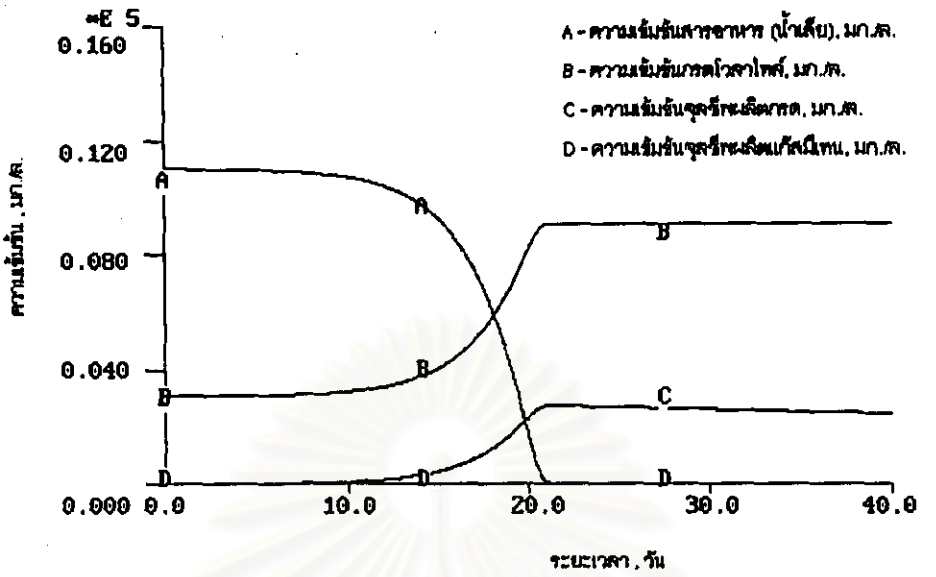
การวัดความเข้มข้นของจุลชีพที่แท้จริงในการทดลองเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เพราะตะกอนน้ำเสียประกอบด้วยตะกอนสารอินทรีย์ที่ไม่ย่อยทางชีวภาพ จุลชีพ และอื่นๆ ทำให้การวัดความเข้มข้นของจุลชีพคาดเคลื่อนได้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สมการที่ 3.12, 3.18, 3.26 และ 3.35 ใช้ทำนายความเข้มข้นของจุลชีพ ณ เวลาต่างๆ

ผลการทดสอบแบบจำลองสามารถนำมาใช้งานได้เพียงเพื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เพราะเครื่องปฏิกรณ์ชีวเคมีที่ใช้ในงานวิจัยเป็นแบบเฉพาะ จึงไม่มีผลการทดลองอื่นเพื่อเปรียบเทียบ นอกจากนี้ค่าความเข้มข้นของจุลชีพที่วัดในการทดลองก็ไม่สามารถนำมาเป็นข้อมูลที่ใช้อ้างอิงได้

ขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อ พิจารณาอิทธิพลของกรดโวลาไทล์ต่อจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน ผลการการทดสอบแสดงในรูปที่ 5.11 ค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์เพิ่มขึ้นตามกับการเพิ่มขึ้นของจุลชีพผลิตกรดโวลาไทล์ ในขณะที่จุลชีพผลิตแก๊สมีเทนไม่มีการเจริญเติบโต ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีค่าความเข้มข้นที่สูงเกินไปของกรดโวลาไทล์มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของแก๊สมีเทน

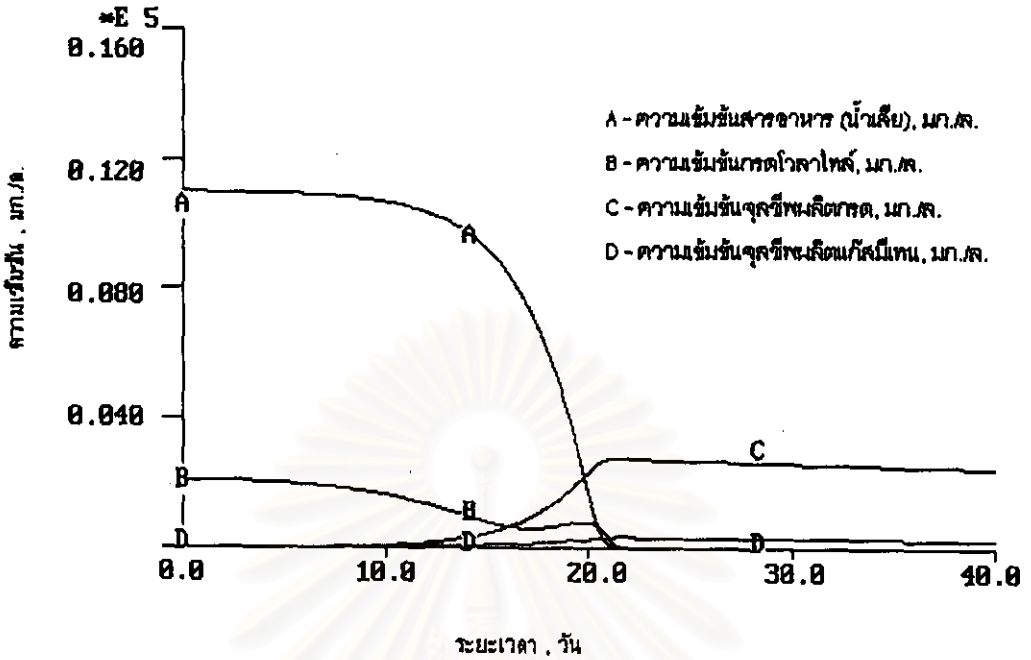
ขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อ หลังจากกำจัดอิทธิพลของกรดโวลาไทล์ต่อจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน ผลการการทดสอบแสดงในรูปที่ 5.12 เมื่อสารอาหารหมด ความเข้มข้นของจุลชีพเริ่มลดลง เนื่องจากไม่มีอาหาร ไม่มีการเจริญเติบโต จุลชีพรักษาตัวเองโดยนำพลังงานภายในมาใช้และค่อยสลายตัวเองในที่สุด ทำให้เส้นกราฟมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงลดลง รูปที่ 5.13 แสดงเส้นกราฟที่หยุดคำนวณ ณ ค่าที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นค่าเริ่มต้นในโปรแกรมเพื่อคำนวณค่าตัวแปรสถานะต่างๆ ในการดำเนินการปกติ โดยมีค่าต่างๆ ดังนี้

ค่าความเข้มข้นของสารอาหาร	100 มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์	300 มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าความเข้มข้นของจุลชีพผลิตกรด	2,700 มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าความเข้มข้นของจุลชีพผลิตมีเทน	320 มิลลิกรัม/ลิตร



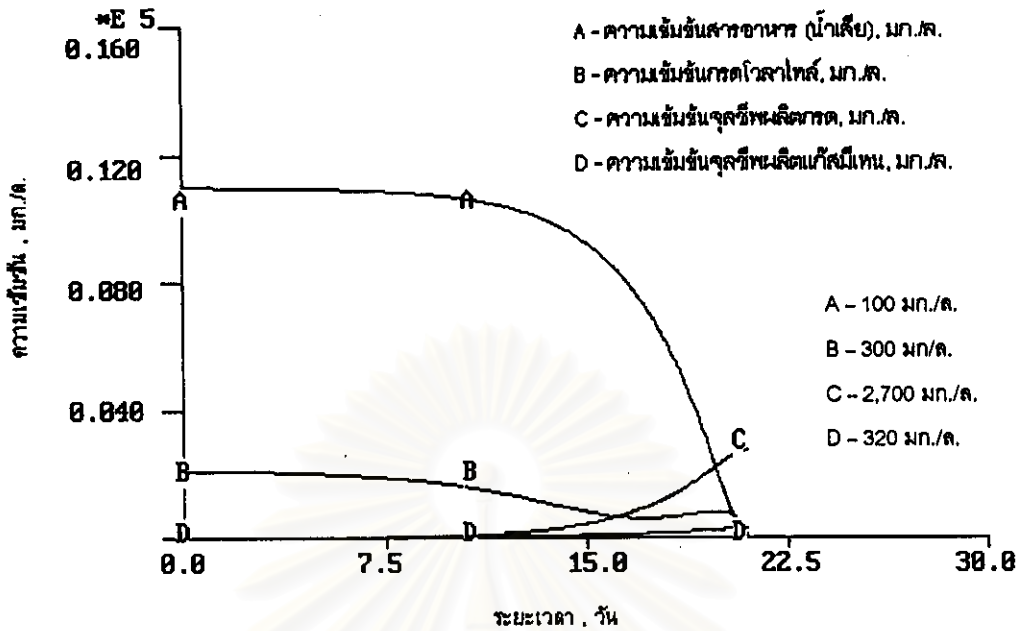
รูปที่ 5.11 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ของสารอาหาร (น้ำเสีย) , กรดโวลาไทล์ จุลชีพผลิตกรด และจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน ณ เวลาต่างๆ ในขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อ ซึ่งพิจารณาอิทธิพลของกรดโวลาไล์ที่มีต่อจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.12 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ของสารอาหาร (น้ำเสีย) , กรดโวลาไทล์ จุลชีพผลิตกรด และจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน ณ เวลาต่างๆ ในขั้นการเลี้ยงเชื้อ ไม่พิจารณาอิทธิพลของกรดโวลาไล์ที่มีต่อจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.13 แสดงค่าที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณค่าความเข้มข้นต่างๆ ของระบบดำเนินการปกติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

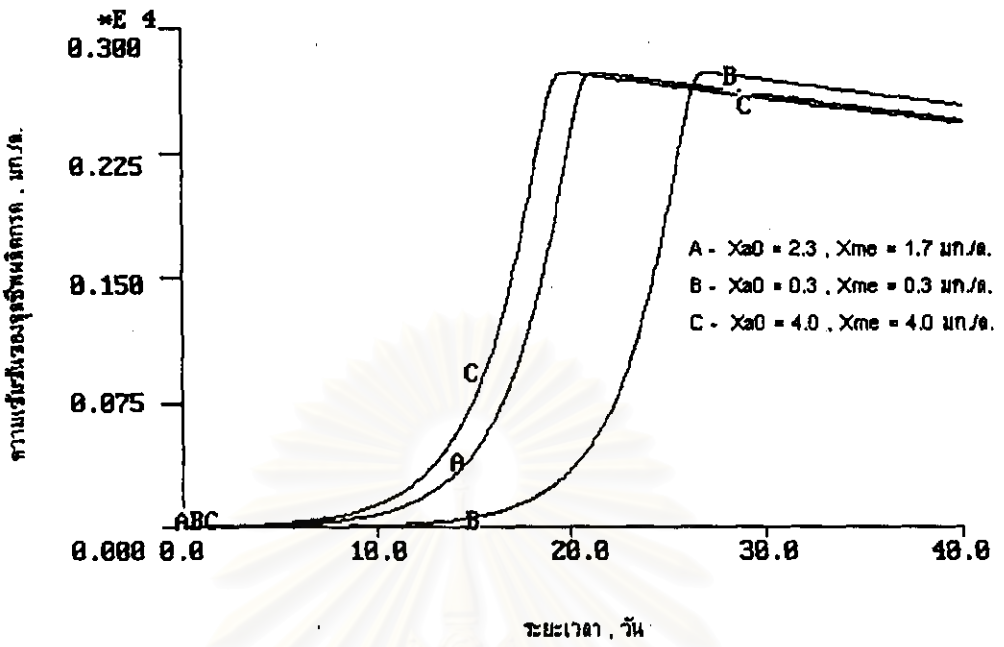
รูปที่ 5.14-5.15 ทำนายการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาของการเลี้ยงเชื้อเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของจุลชีพที่ใช้เป็นหัวเชื้อ ผลการทดสอบบอกให้ทราบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของจุลชีพที่ใช้เป็นหัวเชื้อสามารถลดระยะเวลาในการเลี้ยงเชื้อได้

ผลการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายความเข้มข้นของจุลชีพพิจารณาได้ว่าสอดคล้องกับผลการทดลองจริง การทำให้แบบจำลองสามารถทำนายค่าตัวแปรให้ถูกต้องตามผลการทดลองจำเป็นต้องทราบค่าความเข้มข้นของจุลชีพจากการทดลองจริง ณ เวลาต่างๆเพื่อใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ และใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงเมื่อทำการทดสอบแบบจำลอง

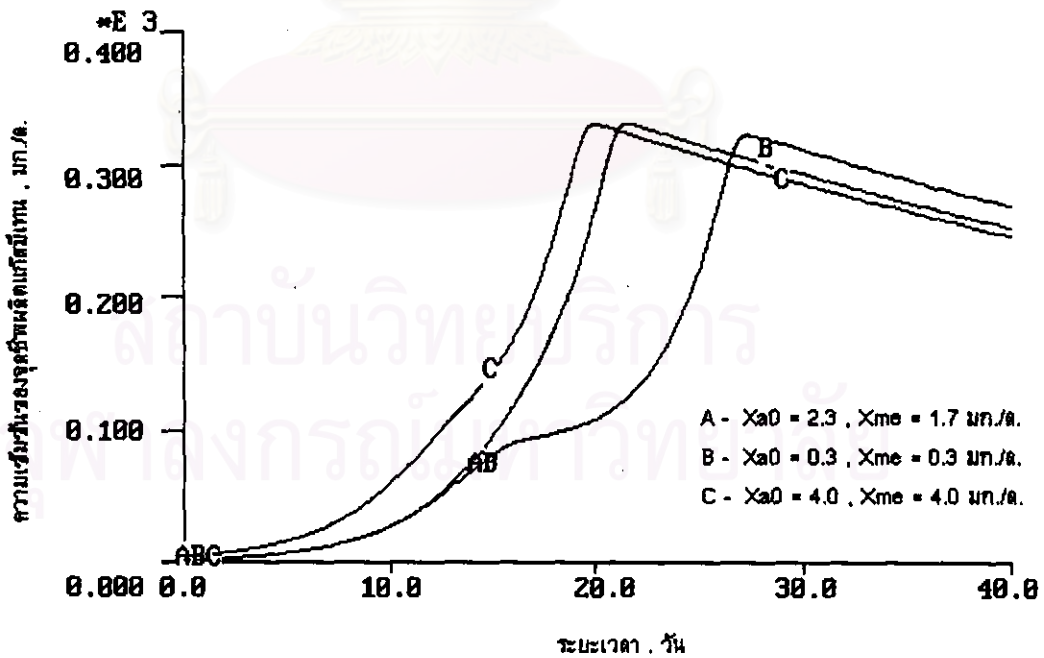
5.3 จุดเหมาะสมในการเดินเครื่อง

ขั้นตอนการดำเนินการปกติ ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 5.16 ความเข้มข้นของจุลชีพทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลากักเก็บน้ำเสียที่ลดลง หรือ อัตราการไหลของน้ำเสียเพิ่มขึ้น หมายถึงอาหารของจุลชีพเพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของจุลชีพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ก่อนที่เส้นกราฟจะตกลงอย่างรวดเร็วเป็นเส้นตรงแนวดิ่ง เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำเสียมากเกินไปจนเวลาในการเจริญเติบโตของจุลชีพมากกว่าระยะการกักเก็บน้ำเสียทำให้จุลชีพโตไม่ทัน จะถูกล้างออกจากถังจนหมด เรียกว่า จุดล้างออก หรือ Wash out เป็นเหตุให้ระบบล้มเหลว รูปที่ 5.16 แสดงเวลากักเก็บ 3 วัน ที่ทำให้ระบบล้มเหลว ความเข้มข้นที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วของกรดโวลาไทล์ในรูปที่ 5.17 สามารถใช้เป็นสัญญาณเตือนล่วงหน้าได้ว่าระบบผิดปกติให้รีบป้องกัน ก่อนที่จะเกิดปรากฏการณ์ล้างออก (Wash Out) และการสะสมของกรดโวลาไทล์ทำให้เป็นพิษต่อจุลชีพผลิตมีแก๊สมีเทน

ในการทดลองจริงระบบล้มเหลวหลังจากดำเนินการที่ระยะกักเก็บน้ำ 5 วัน ไปแล้ว 2 อาทิตย์ มีสัญญาณบอกคล้ายกับผลที่ได้จากแบบจำลองคือ ความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์และสารอาหารในรูปของ BOD เพิ่มสูงขึ้นกว่าปกติ แสดงในรูปที่ 5.3-5.4



รูปที่ 5.14 ความเข้มข้นของจุลชีพที่ใช้เป็นหัวเชื้อต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของจุลชีพผลิตกรด ณ เวลาต่างๆ



รูปที่ 5.15 ความเข้มข้นของจุลชีพที่ใช้เป็นหัวเชื้อต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน ณ เวลาต่างๆ

ธีระ เกรอต (10) และ Andrews (4) กล่าวสอดคล้องกันว่าค่าตัวแปรสถานะที่สามารถบอกถึงความมีเสถียรภาพของเครื่องปฏิกรณ์ คือ

ความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/ลิตร

ค่า pH 6.8-7.2

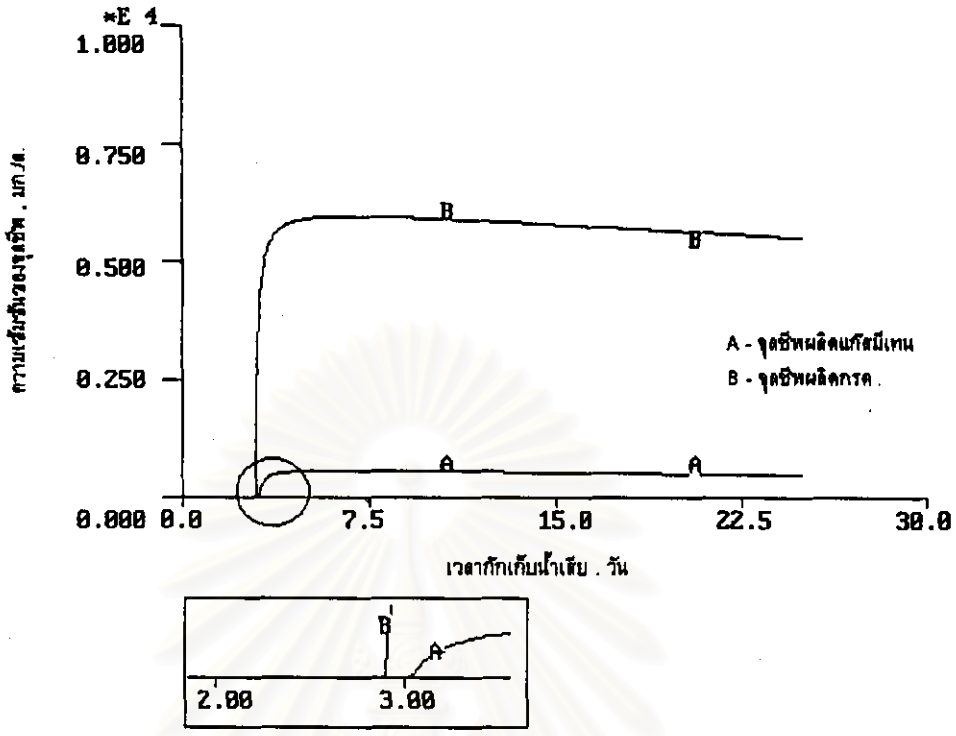
อัตราส่วนกรดโวลาไทล์ต่ออัลคาลินิตี้ไม่เกิน 0.4

และประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปของระบบไร้อากาศไม่คลรต่ำกว่า 95%

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบแบบจำลองทางคณิตสาสตร์กับผลที่ได้จากการทดลอง ณ เวลากักเก็บน้ำเสีย 7 วัน

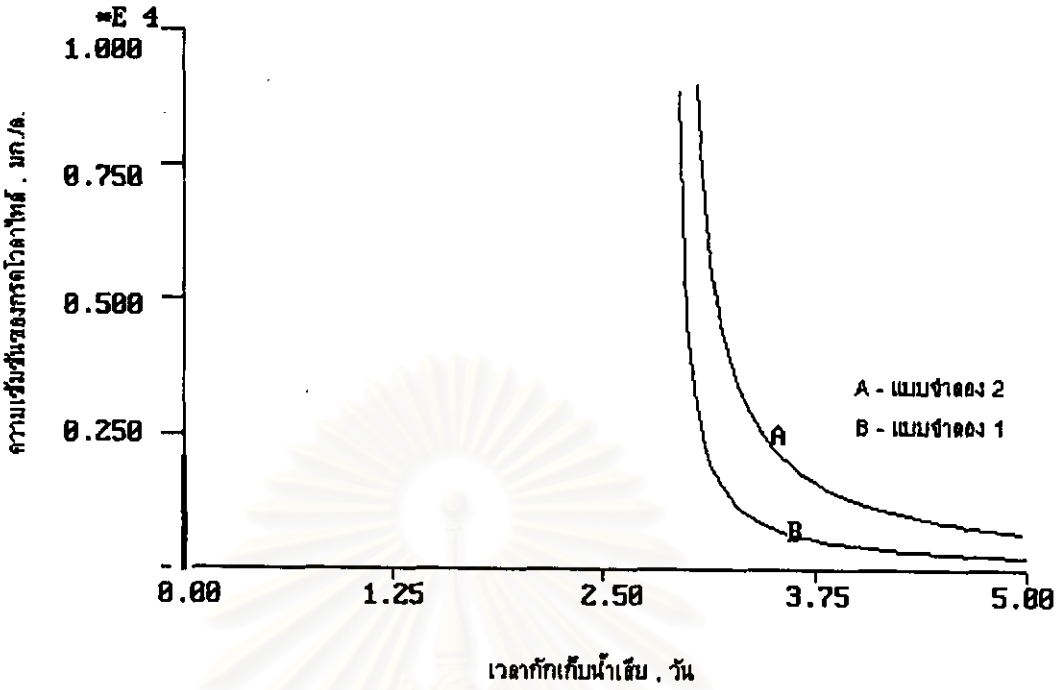
รายละเอียด	ผลการทดลอง		ผลจากแบบจำลอง	
ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย	7	วัน	7	วัน
ความเข้มข้นกรดโวลาไทล์	393.29	มก./ล.	287.7	มก./ล.
BOD	800	มก./ล.	800.80	มก./ล.
บำบัดน้ำเสียได้	96.8	%	96.8	%
PH	7.29		ไม่มีในแบบจำลอง	
VFA/ALK	0.2		ไม่มีในแบบจำลอง	
ปริมาณแก๊ส	278.7	ลบ.ม./วัน	98.57	ลบ.ม./วัน

จากตารางที่ 5.3 จะเห็นได้ที่เวลากักเก็บน้ำเสีย 7 วันเหมาะสมที่สุดสำหรับการเดินเครื่อง เพราะเป็นเวลากักเก็บน้ำเสียที่น้อยสุดที่ผลการทดสอบแบบจำลองทางคณิตสาสตร์กับผลที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกันและมีค่าตัวแปรต่างๆ เหมาะสมทำให้ระบบเกิดเสถียรภาพ



รูปที่ 5.16 ตำแหน่งเวลากักเก็บน้ำเสียที่เกิดการล้างออก (Washout)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.17 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ ณ เวลากักเก็บน้ำเสียต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย