บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 องค์ประกอบที่มีอยู่ในน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

น้ำมันดิบ (Tapis crude oil) ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นน้ำมันดิบชนิดเบา (Light crude oil) เนื่องจากมีค่าความหนาแน่นจำเพาะ API (American Petroleum Institute gravity) เท่ากับ 45.5 ดังตารางที่ 1 - จ ในภาคผนวก จ ซึ่งแสดงองค์ประกอบบางประการของน้ำมันดิบ (Crude oil) และจากรูปที่ 1 -ช ในภาคผนวก ช ซึ่งแสดงโครมาโทแกรมของน้ำมันดิบ (Tapis Crude oil) วิเคราะห์ด้วยก๊าซโครมาโทกราฟีของลำดับส่วนในน้ำมันดิบซึ่งละลายในตัวทำละลายเฮกเซน (C_6H_{14}) พบว่ามีมากกว่า 200 พีก (Peak) เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยภาวะที่ใช้ในการวิจัยนี้ จากโครมาโทแกรมไฮโดรคาร์บอนที่เป็นพีกหลัก (Major peak) สามารถจำแนกชนิดได้โดยการใช้ค่า R_t (Retention time) ของนอร์มอล–อัลเคนมาตรฐาน ดังตารางที่ 4.2 ที่มีค่าสอดคล้องกับในสารตัวอย่าง ดังรูปที่ 2 - ช ในภาคผนวก ช แสดงโครมาโทแกรมของสารมาตรฐานผสมของไฮโดรคาร์บอน โดยกำหนดให้พีกที่คาดว่าจะเป็นนอร์มอล-อัลเคนในโครมาโทแกรมของสารตัวอย่าง (น้ำมันดิบ Tapis Crude oil) มีสัญลักษณ์เป็น MP (Major peak) โดยเริ่มต้นจาก MP 10 ที่มีค่า Retention time ใกล้เคียงกับ นอร์มอล-ดีเคน (n-Decane) ไปจนถึง MP 28 ที่มีค่า Retention time ใกล้เคียงกับ นอร์มอล-ออกตะคอนเซน (n-Octacosane) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และทำการคำนวณปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด (Total Hydrocarbons) โดยคิดในรูปของเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใต้พีก ซึ่งพื้นที่ใต้พีกของไฮโดรคาร์บอน จะมีค่าเท่ากับ อัตราส่วนของผลรวมของพื้นที่ใต้พีกของไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่มีอยู่ในโครมาโทแกรมกับค่าพื้นที่พีกของสารมาตรฐานในการสกัด (Muell และคณะ,1992) ดังแสดงใน ภาคผนวก ฉ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้พบว่ามีปริมาณไฮโดรคาร์บอนมากที่สุดในช่วง C_{12} - C_{20} คิดเป็นประมาณ 37 เปอร์เซ็นต์ของไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) ส่วนนอร์มอล-เฮกเซน ซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายในงานวิจัยครั้งนี้เป็นพีกแรกที่มีพื้นที่ของพีก (Peak area) ขนาดใหญ่ที่สุด และมีค่า Retention time เท่ากับ 1.99 ± 0.05 และสารมาตรฐานภายใน (Internal Standard) ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ 1-อีโคซีน (1-Eicosene) มีค่า Retention time เท่ากับ 17.91 ± 0.10

ตารางที่ 4.1 ค่า Retention time ของ นอร์มอล-อัลเคนในน้ำมันดิบ (Tapis Crude oil) เมื่อวิเคราะห์ด้วยแคพิลารี่ก๊าซโครมาโทกราฟี

นอร์มอล-อัลเคนในน้ำมันดิบ (Tapis Crude oil)	**Retention time (นาที) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)**
ตัวทำละลายนอร์มอล-เฮกเซน (C_6H_{14})	1.99 ± 0.05
MP10	3.88 ± 0.07
MP11	5.12 ± 0.08
MP12	6.61 ± 0.09
MP13	8.20 ± 0.09
MP14	9.78 ± 0.09
MP15	11.30 ± 0.09
MP16	12.77 ± 0.10
MP17	13.86 ± 0.33
MP18	15.49 ± 0.10
MP19	16.76 ± 0.10
สารมาตรฐานภายใน (IS)	17.91 ± 0.10
MP20	17.98 ± 0.10
MP21	19.14 ± 0.10
MP22	20.25± 0.10
MP23	21.35 ± 0.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

นอร์มอล-อัลเคนในน้ำมันดิบ (Tapis Crude oil)	Retention time (นาที) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)
MP24	22.58 ± 0.13
MP25	23.98 ± 0.15
MP26	25.56 ± 0.16
MP27	27.32 ± 0.18
MP28	29.26 ± 0.20
MP29	31.38 ± 0.21
MP30	33.74 ± 0.25

ตารางที่ 4.2 ค่า Retention time ของ นอร์มอล-อัลเคนมาตรฐาน

นอร์มอล-อัลเคนมาตรฐาน	Retention time (นาที)
C_{14}(n-Tetradecane)	9.69± 0.44
C_{20}(n-Eicosane)	17.81 ± 0.41
C_{22}(n-Docosane)	20.33 ± 0.15
C_{23}(n-Tricosane)	21.42 ± 0.17
C_{24}(n-Tetracosane)	22.65 ± 0.19
C_{25}(n-Pentacosane)	24.06 ± 0.22
C_{28}(n-Octacosane)	29.26 ± 0.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การลดลงของน้ำมันดิบเมื่อไม่เติมจุลินทรีย์ (Abiotic loss of Tapis crude oil)

การย่อยสลายทางกายภาพของไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันดิบ(Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในอาหารเหลว BH broth 50 มิลลิลิตร ณ อุณหภูมิ 20 °ซ ความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้นเท่ากับ 8.0 ความเร็วรอบในการเขย่า 250 รอบต่อนาที สำหรับขวดเขย่า และอัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) สำหรับถังหมัก โดยไม่มีการเติมจุลินทรีย์ จากตารางที่ 4.3 พบว่า ปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่เหลืออยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีการผสมน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในระดับขวดเขย่าลดลงน้อยกว่าในระดับถังหมัก และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีการผสมน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ที่เวลาต่าง ๆ กัน ระหว่างในระดับขวดเขย่ากับในระดับถังหมัก 3 ลิตร ณ อุณหภูมิ 20 °ซ ความเป็นกรด - ด่าง เริ่มต้นเท่ากับ 8.0 และความเร็วรอบในการเขย่า 250 รอบต่อนาที สำหรับขวดเขย่า และอัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) สำหรับถังหมัก

ระยะเวลาในการทดลอง (วัน)	ปริมาณของไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือ (%) ระดับขวดเขย่า	ปริมาณของไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือ (%) ระดับถังหมัก 3 ลิตร
0	100	100
1	89.94 ± 4.80	52.43
3	88.53 ± 3.12	37.62
5	86.28 ± 3.47	29.13
7	79.35 ± 4.16	24.27

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

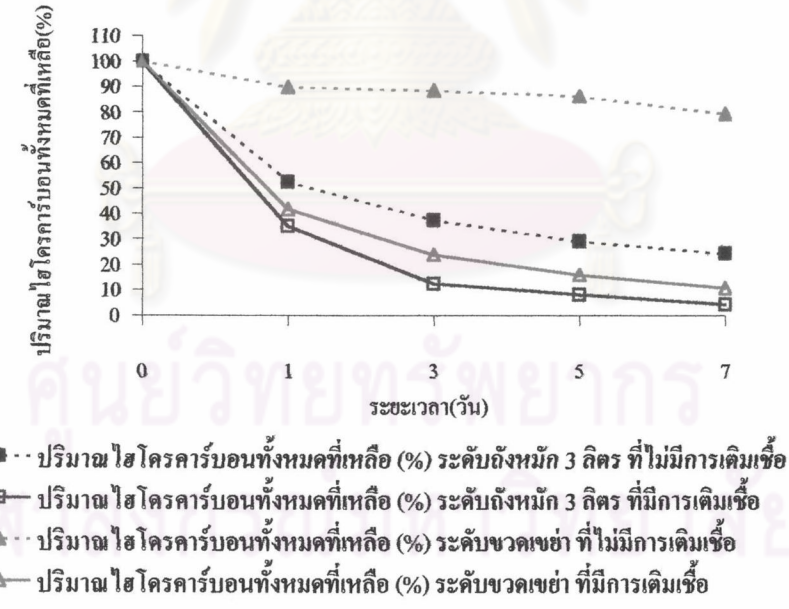
4.3 การเปรียบเทียบอัตราการลดลงของน้ำมันดิบระหว่างในขวดเขย่ากับในถังหมักระดับห้องปฏิบัติการ

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.1,4.2,และ 4.3 เมื่อพิจารณาในชุดที่มีการเติมจุลินทรีย์ พบว่าในระดับถังหมักสามารถย่อยสลายน้ำมันดิบได้ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 7 วัน แต่ในระดับขวดเขย่าสามารถย่อยสลายน้ำมันดิบได้ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 7 วัน แต่ในขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาในสภาวะที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ (ชุดควบคุม) ทั้งในระดับถังหมักและระดับขวดเขย่า พบว่า ในระดับถังหมักมีการระเหยของน้ำมันดิบไปประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ แต่ในระดับขวดเขย่ามีการระเหยของน้ำมันดิบไปประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 7 วัน ตามลำดับ ดังนั้นจะพบว่า การลดลงของน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในระดับถังหมักขนาด 3 ลิตร มีประสิทธิภาพในการลดลงของน้ำมันดิบได้สูงกว่าในระดับขวดเขย่าเท่ากับ 95.77 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 7 วัน โดยมีปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่เหลือทั้งหมดลดลงอย่างรวดเร็วภายในวันแรกของการทดลองจาก 3,997 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 1,400.55 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 35.04 เปอร์เซ็นต์ และการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นจาก 2×10^6 CFU/มิลลิลิตร เป็น 23×10^7 CFU/มิลลิลิตร และมีการเจริญเติบโตมากที่สุด เท่ากับ 24×10^7 CFU/มิลลิลิตร มีค่าปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือ เท่ากับ 169.07 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 4.23 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 7 วัน ในขณะที่การย่อยสลายของน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) ในระดับขวดเขย่ามีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันดิบ เท่ากับ 89.39 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือ เท่ากับ 424.08 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 10.61 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 7 วัน โดยการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นจาก 2×10^6 CFU/มิลลิลิตร เป็น 32×10^7 CFU/มิลลิลิตร และมีการเจริญเติบโตมากที่สุด เท่ากับ 11×10^8 CFU/มิลลิลิตร ภายในระยะเวลา 7 วัน

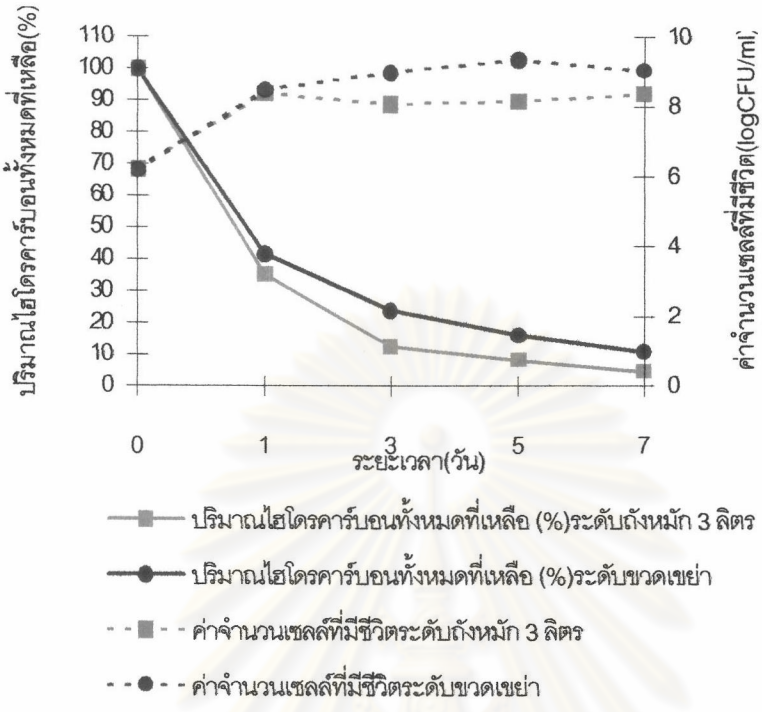
จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ Paired Samples Test เป็นตัวทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการลดลงของน้ำมันดิบระหว่างในระดับถังหมักกับในระดับขวดเขย่า ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง พบว่ามีปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือหรือประสิทธิภาพการลดลงของน้ำมันดิบในระดับถังหมักขนาด 3 ลิตร ในงานวิจัยครั้งนี้มีความแตกต่างจากในระดับขวดเขย่า อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า p - value $0.025 < 0.05$ แต่มีความสัมพันธ์กันในรูปแบบเชิงเส้นตรง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.998 และค่า p - value $0.016 < 0.05$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่เหลือ (%) ที่อุณหภูมิ 20 °ซ , ค่าความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้นของอาหารเลี้ยงเชื้อ เท่ากับ 8.0 , ที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ (ชุดควบคุม) และมีการเติมจุลินทรีย์ด้วยอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 :1 ระหว่างในระดับขวดเขย่ากับในระดับถังหมัก

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือ (%)			
	ในระดับขวดเขย่า		ในระดับถังหมักขนาด 3 ลิตร	
	ไม่เติมจุลินทรีย์	เติมจุลินทรีย์	ไม่เติมจุลินทรีย์	เติมจุลินทรีย์
0	100	100	100	100
1	89.94	41.79	52.43	35.04
3	88.53	23.91	37.62	12.30
5	86.28	15.87	29.13	8.11
7	79.35	10.61	24.27	4.23

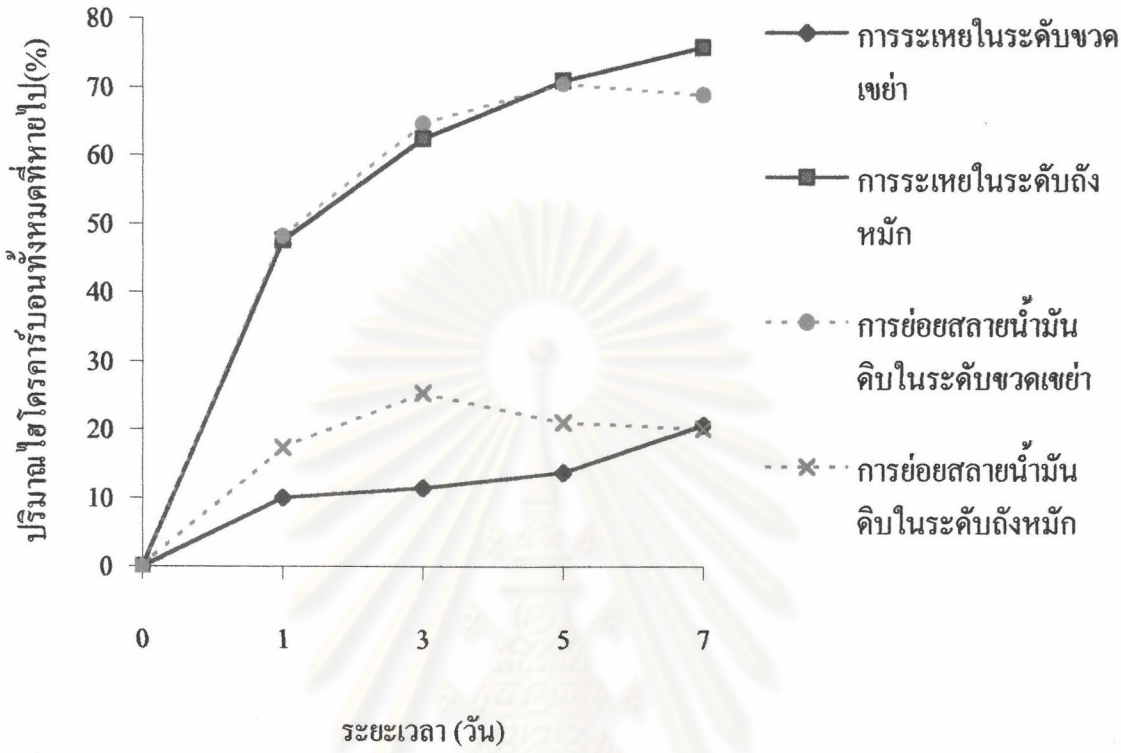


รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลืออยู่ระหว่างในระดับขวดเขย่าและระดับถังหมักทั้งที่มีการเติมจุลินทรีย์และไม่มีการเติมจุลินทรีย์



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันดิบที่เหลือทั้งหมด (%) จากการย่อยสลายของเชื้อผสมและการเจริญของเชื้อผสม (จำนวนเซลล์ที่มีชีวิต, Log(CFU/ml)) ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างในระดับขวดเขย่ากับในระดับถังหมัก ขนาด 3 ลิตร ในระดับห้องปฏิบัติการ เมื่อเลี้ยงเชื้อในอาหารเหลว BH ที่มีน้ำมันดิบ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 20°ซ ค่าความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้นของอาหารเลี้ยงเชื้อ เท่ากับ 8.0 และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 :1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่หายไป (%) จากการระเหยและจากการย่อยสลายน้ำมันดิบโดยกลุ่มจุลินทรีย์ ระหว่างในระดับถังหมักกับในระดับขวดเขย่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายน้ำมันดิบในถังหมักระดับห้องปฏิบัติการ

จากการศึกษาเบื้องต้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดลงของน้ำมันดิบระหว่างในระดับถังหมักและในระดับขวดเขย่า พบว่า มีประสิทธิภาพในการลดลงของน้ำมันดิบได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาต่อถึงสภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดอัตราการย่อยสลายน้ำมันดิบได้ดีที่สุดในถังหมักระดับห้องปฏิบัติการ ขนาด 3 ลิตร โดยได้ทำการแปรผันอัตราส่วนหัวเชื้อของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ รวมทั้งแปรผันค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้นของอาหารเลี้ยงเชื้อ อุณหภูมิ และอัตราการให้อากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายน้ำมันดิบ และเปรียบเทียบการเติมสารอาหารในรูปของอาหาร BH broth ดังแสดงในภาคผนวก ก และน้ำมันดิบ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ระหว่างแบบ Batch กับเมื่อมีการเติมสารอาหารในถังหมักอย่างต่อเนื่อง (Continuous) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันดิบในสภาวะที่เหมาะสมแล้วในถังหมักระดับห้องปฏิบัติการ

4.4.1 ผลของอัตราส่วนหัวเชื้อที่ทำงานได้ดีและเหมาะสมสำหรับการย่อยสลายน้ำมันดิบในถังหมัก

การศึกษาอัตราส่วนของหัวเชื้อที่ทำงานได้ดีและเหมาะสมจะใช้แบคทีเรียที่สามารถผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ (Biosurfactant) ซึ่งในการวิจัยนี้จะใช้ *Acinetobacter calcoaceticus* TISTR 360 กับกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ คือ *Bacillus sp.* B 3 – 1, *Pseudomonas sp.* C 1 – 2, และ *Yarrowia sp.* D 2 – 1 โดยแปรผันอัตราส่วนระหว่างแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 1 : 1 และ 2 : 1 ตามลำดับ โดยภาวะที่ใช้ในการทดลอง คือ อุณหภูมิ เท่ากับ 30 °ซ ค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศ เท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และทำการเก็บตัวอย่างทุกวันที่ 0, 1 , 3 , 5 , 7 จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.4, 4.5 ,4.6 และ 4.7 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ พบว่า ที่อัตราส่วนของหัวเชื้อแบคทีเรียที่สามารถสร้างสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 สามารถย่อยสลายน้ำมันดิบได้ 40.16 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าที่อัตราส่วนของหัวเชื้อแบคทีเรียที่สามารถสร้างสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 1 : 1 สามารถย่อยสลายน้ำมันดิบได้ 24.26 เปอร์เซ็นต์ ภายในวันที่ 3 ของการทดลอง อีกทั้งที่อัตราส่วนระหว่างแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 นั้นมีปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือลดลงอย่างรวดเร็วภายในวันแรกของการทดลอง โดยลดลงจาก 3,997 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 379.72 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 9.50 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้

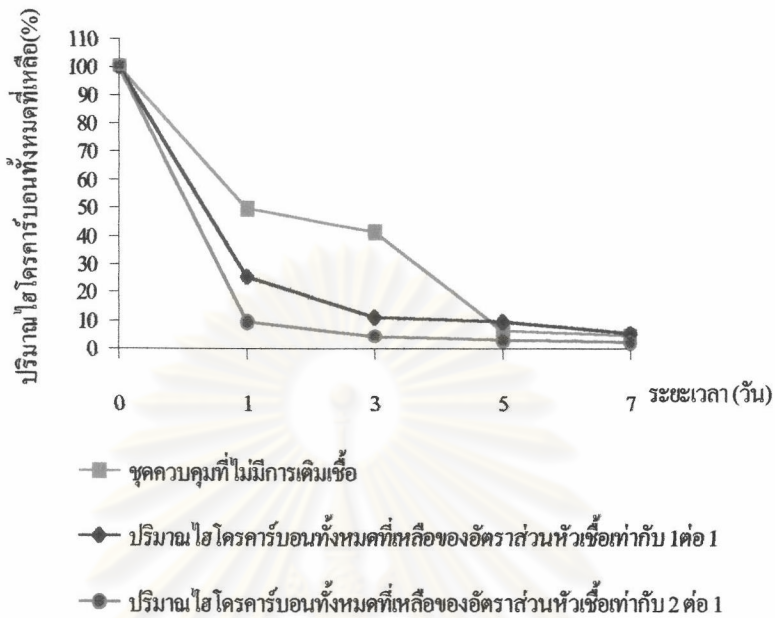
มีการเจริญเติบโตและค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตรของกลุ่มจุลินทรีย์สูงที่สุดในวันแรกของการทดลองเช่นกัน จาก 2 X 10^6 CFU/มิลลิลิตร ในวันที่ 0 เป็น 3 X 10^8 CFU/มิลลิลิตร และเท่ากับ 0.937 ตามลำดับ แต่หลังจากนั้นการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์ได้ลดลงเรื่อย ๆ เป็น 2 X 10^7 CFU/มิลลิลิตร และ 1 X 10^7 CFU/มิลลิลิตร ในวันที่ 3 และวันที่ 5 ของการทดลองตามลำดับ จนกระทั่งในวันที่ 7 ของการทดลอง ค่าจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตลดลงต่ำที่สุดเท่ากับ 6 X 10^3 CFU/มิลลิลิตร ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแหล่งคาร์บอน ในที่นี้คือ น้ำมันดิบ (Tapis crude oil) ได้ถูกย่อยสลายเกือบหมดอย่างรวดเร็วภายในวันแรกของการทดลอง จึงทำให้มีแหล่งคาร์บอนไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์จึงทำให้มีการลดจำนวนลงของกลุ่มจุลินทรีย์และมีปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลืออยู่ในระบบของวันที่ 7 เท่ากับ 91.53 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 2.29 เปอร์เซ็นต์ และพบว่ามีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันดิบ เท่ากับ 97.71 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 7 วัน ส่วนการทดลองที่ใช้ภาวะอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 1 : 1 มีปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือลดลงอย่างรวดเร็วภายในวันแรกของการทดลองเช่นกัน โดยที่ลดลงจาก 3,997 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 1,015.24 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 25.40 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้มีการเจริญเติบโตและค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตรของกลุ่มจุลินทรีย์ในวันแรกของการทดลองจาก 2 X 10^6 CFU/มิลลิลิตรในวันที่ 0 ของการทดลอง เป็น 1 X 10^8 CFU/มิลลิลิตร และค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตรของกลุ่มจุลินทรีย์ เท่ากับ 0.565 และหลังจากวันที่ 1 ของการทดลอง ปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลืออยู่ลดลงอีก เท่ากับ 10.92 , 9.30 , 5.36 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่มีการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเท่ากับ 2 X 10^8 CFU/มิลลิลิตร, 3 X 10^8 CFU/มิลลิลิตร และ 45 X 10^7 CFU/มิลลิลิตร ในวันที่ 3 , วันที่ 5 และ วันที่ 7 ของการทดลอง ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันดิบเท่ากับ 94.64 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 7 วัน จากผลการทดลองข้างต้นได้แสดงให้เห็นว่าการใช้อัตราส่วนระหว่างอัตราส่วนระหว่างแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 จะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันดิบในถังหมักขนาด 3 ลิตรได้ดีกว่าอัตราส่วนระหว่างอัตราส่วนระหว่างแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 1 : 1 โดยสามารถย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดจาก 100 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือ 9.50 เปอร์เซ็นต์ ได้อย่างรวดเร็วได้ภายในวันแรกของการทดลอง ในขณะที่อัตราส่วนระหว่างอัตราส่วนระหว่างแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 1 : 1 ถ้าต้องการย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดจาก 100 เปอร์เซ็นต์ ให้ลดลงเหลือ 9.30 เปอร์เซ็นต์ จะต้องใช้เวลา 5 วัน จึงจะสามารถลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดได้ใกล้เคียงกับอัตราส่วนระหว่าง

อัตราส่วนระหว่างแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้เท่ากับ 2 : 1

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลืออยู่ระหว่างอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 1 : 1 กับอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 ที่ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 30 °ซ ความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที)

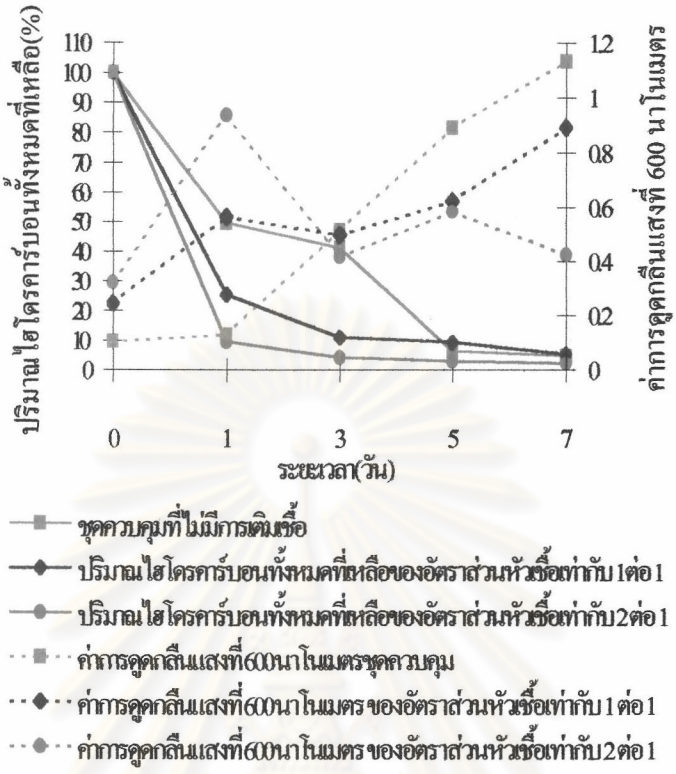
ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือ(%)		
	ชุดควบคุม	อัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้เท่ากับ 1 :1	อัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้เท่ากับ 2 :1
0	100	100	100
1	49.66	25.4	9.5
3	41.29	10.92	4.19
5	6.42	9.3	3.02
7	4.69	5.36	2.29

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



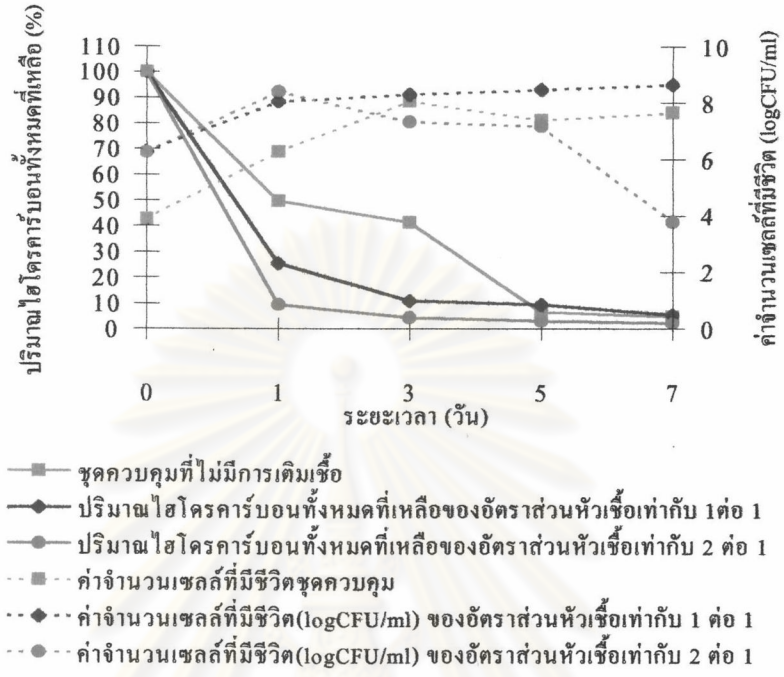
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลืออยู่ระหว่างอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 1 : 1 กับอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 ที่ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 30 °ซ ความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 และอัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



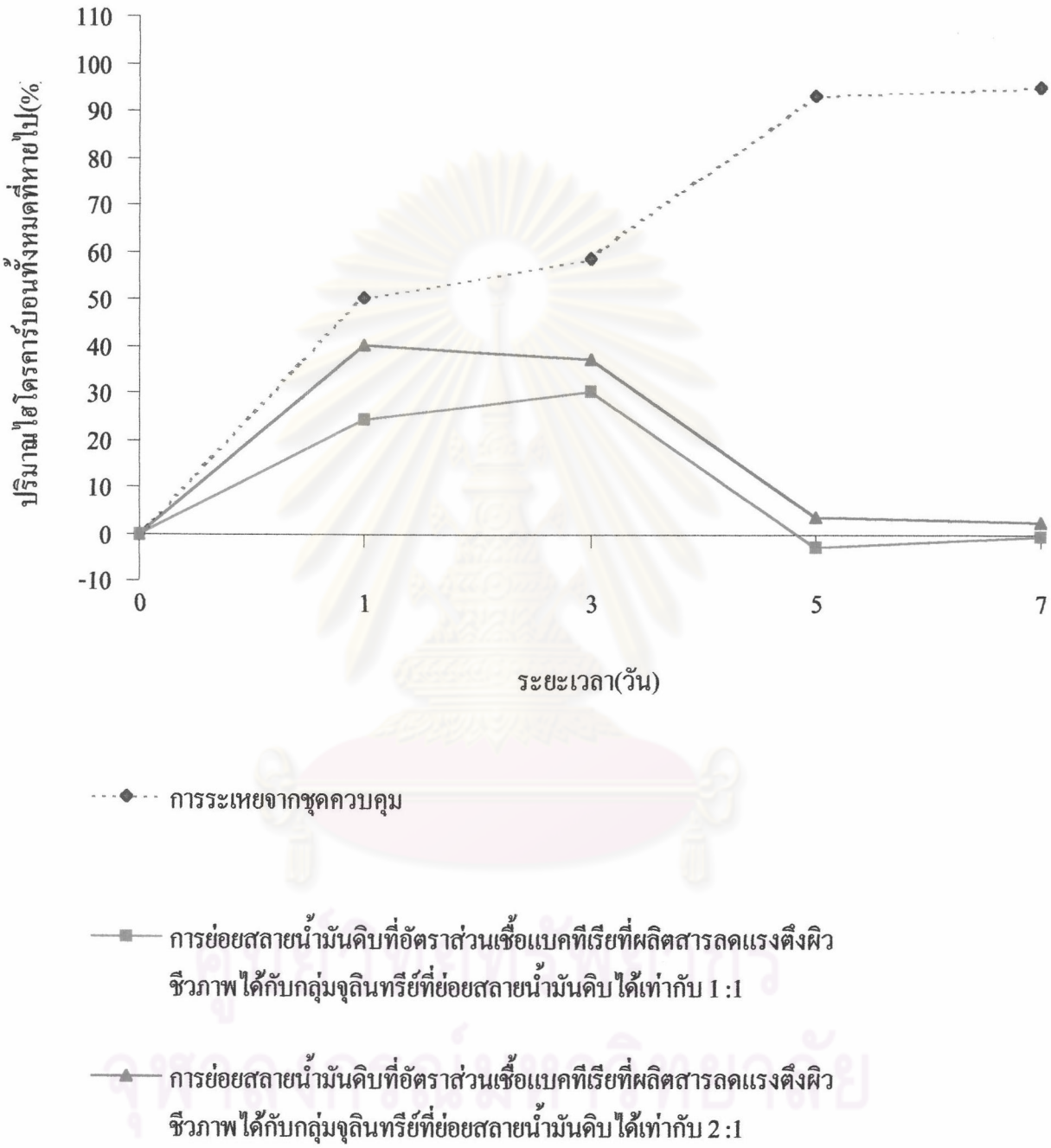
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือ (%) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร เปรียบเทียบอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 1 : 1 กับอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 ที่ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 30 °ซ ความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือ (%) กับการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์ เปรียบเทียบอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 1 : 1 กับอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 ที่ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 30 °ซ ความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่หายไป (%) จากการระเหยและจากการย่อยสลายน้ำมันดิบโดยกลุ่มจุลินทรีย์ ระหว่างอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 1 : 1 กับอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 ที่ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 30 °ซ ความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที)

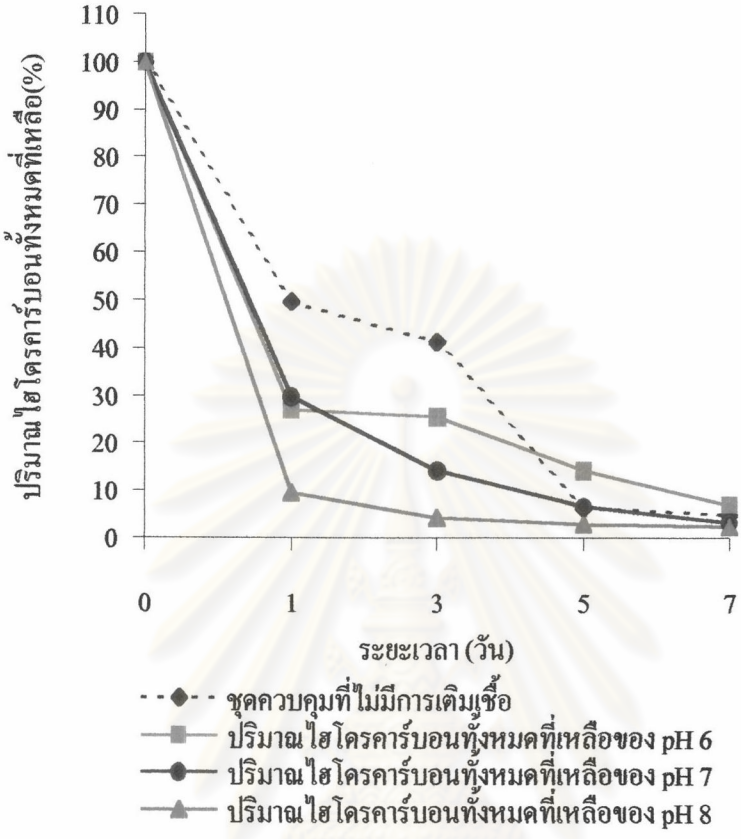
4.4.2 ผลของค่าความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้น ของอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายน้ำมันดิบในถังหมัก

การศึกษาเพื่อหาค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายน้ำมันดิบโดยกลุ่มจุลินทรีย์ ซึ่งมีการแปรผันค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้นของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ค่าต่าง ๆ เท่ากับ 6.0 , 7.0 และ 8.0 โดยภาวะที่ใช้ในการทดลอง คือ ใช้อัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ ซึ่งได้จากการทดลองที่ 4.4.1 คือเท่ากับ 2 : 1 อุณหภูมิ 30 °ซ อัตราการให้อากาศ เท่ากับ 1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และทำการเก็บตัวอย่างทุกวันที่ 0, 1 , 3 , 5 , 7 จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.8 , 4.9,4.10 และ 4.11 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ พบว่า ในระยะเวลา 3 วันแรกของการทดลอง น้ำมันดิบในถังหมักมีการระเหยไปมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าที่ความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 6.0 สามารถย่อยสลายน้ำมันดิบได้ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 7.0 สามารถย่อยสลายน้ำมันดิบได้ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ และที่ความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 สามารถย่อยสลายน้ำมันดิบได้ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นกลุ่มจุลินทรีย์ผสมมีประสิทธิภาพในการลดลงของน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) ได้มากที่สุด ที่ค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น 8.0 เท่ากับ 90.50 เปอร์เซ็นต์ และ 97.71 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 1 วัน และ 7 วัน ตามลำดับ ส่วนที่ค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น 6.0 มีประสิทธิภาพในการลดลงของน้ำมันดิบ เท่ากับ 72.01 เปอร์เซ็นต์ และ 93.24 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 1 วัน และ 7 วัน ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความเป็นกรด – ด่าง 7.0 มีประสิทธิภาพในการลดลงของน้ำมันดิบ เท่ากับ 70.12 เปอร์เซ็นต์ และ 96.92 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 1 วัน และ 7 วันตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นจะเห็นว่ากลุ่มจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ในทุกภาวะค่าความเป็นกรด – ด่าง แต่สามารถย่อยสลายน้ำมันดิบได้ดีที่สุดที่ค่าความเป็นกรด – ด่าง ที่มีสภาพเป็นกลาง ๆ จนถึงสภาพเป็นด่างอ่อน ๆ และจะย่อยสลายน้ำมันดิบได้ไม่ดีนักในสภาพที่เป็นกรด จึงทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันดิบลดลงไปตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์ในระบบที่ภาวะต่าง ๆ พบว่า การเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในวันแรกของการทดลองในทุกภาวะ และค่าจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตใกล้เคียงกันเพิ่มขึ้นจาก 2×10^{6} CFU/มิลลิลิตร ที่ภาวะค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 6.0 และ 7.0 เป็น 13×10^{7} CFU/มิลลิลิตร และ 13×10^{7} CFU/มิลลิลิตร ตามลำดับ และหลังจากนั้นกลุ่มจุลินทรีย์ยังคงมีการเจริญเติบโตต่อไปและเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่หลังวันที่ 1 ของการทดลอง จนกระทั่งวันที่ 7 ของการทดลองมีค่าจำนวนเซลล์ที่มีชีวิต เท่ากับ 7×10^{8} CFU/มิลลิลิตร และ 14×10^{8} CFU/มิลลิลิตร ที่ภาวะความเป็นกรด –

ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 6.0 และ 7.0 ตามลำดับ แต่ในขณะที่ภาวะค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้นเท่ากับ 8.0 มีค่าจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตเพิ่มขึ้นจาก 2×10^6 CFU/มิลลิลิตร เป็น 3×10^8 CFU/มิลลิลิตร ในวันที่ 1 ของการทดลอง หลังจากนั้นการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์กลับมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งเท่ากับ 6×10^3 CFU/มิลลิลิตร ในวันที่ 7 ของการทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำมันดิบที่กลุ่มจุลินทรีย์ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานในการเจริญเติบโตมีไม่เพียงพอกับจำนวนกลุ่มจุลินทรีย์ในระบบ เพราะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วเกือบหมดภายในวันแรกของการทดลอง จึงเป็นสาเหตุให้กลุ่มจุลินทรีย์ตายไป และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณของน้ำมันดิบที่เหลือจากการย่อยสลายของกลุ่มจุลินทรีย์ พบว่าที่ค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 มีปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่เหลืออยู่ เท่ากับ 91.53 มิลลิกรัมต่อลิตร จาก 3,997 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 2.29 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่เหลืออยู่จากการย่อยสลายน้ำมันดิบของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น 6.0 และ 7.0 เท่ากับ 270.20 มิลลิกรัมต่อลิตร จาก 3,997 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 6.76 เปอร์เซ็นต์ และ เท่ากับ 123.11 มิลลิกรัมต่อลิตร จาก 3,997 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 3.08 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 7 วันของการทดลอง

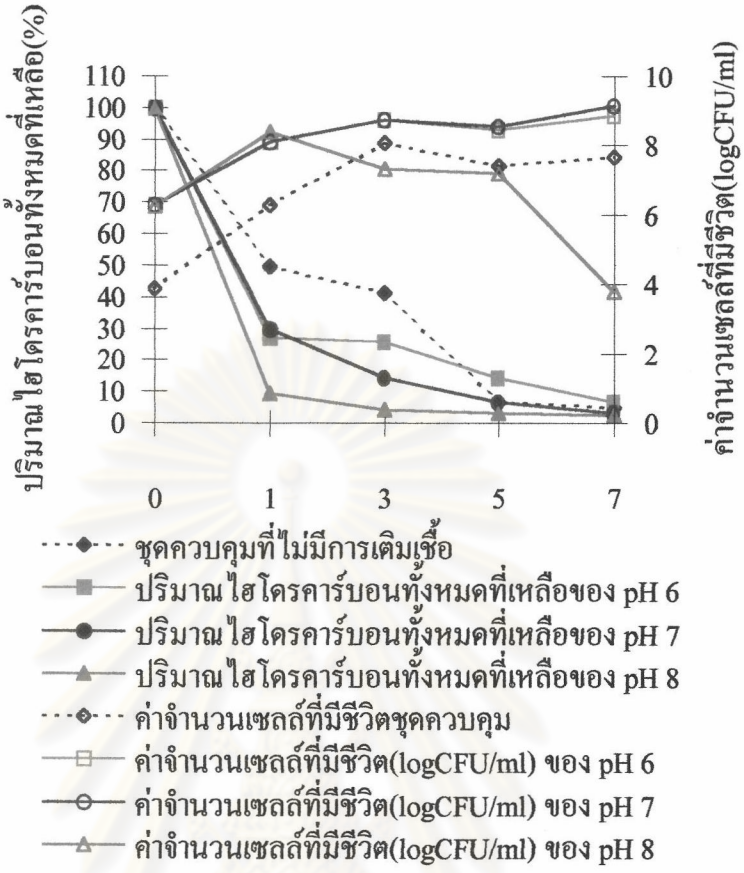
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลืออยู่โดยแปรผันค่าความเป็นกรด – ด่าง เป็นเริ่มต้น 6.0 , 7.0 และ 8.0 ที่ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 30 °ซ อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 กับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือ (%)			
	ชุดควบคุม pH 8.0	pH 6.0	pH 7.0	pH 8.0
0	100	100	100	100
1	49.66	27.09	29.88	9.5
3	41.29	25.78	14.17	4.19
5	6.42	14.17	6.71	3.02
7	4.69	6.76	3.08	2.29



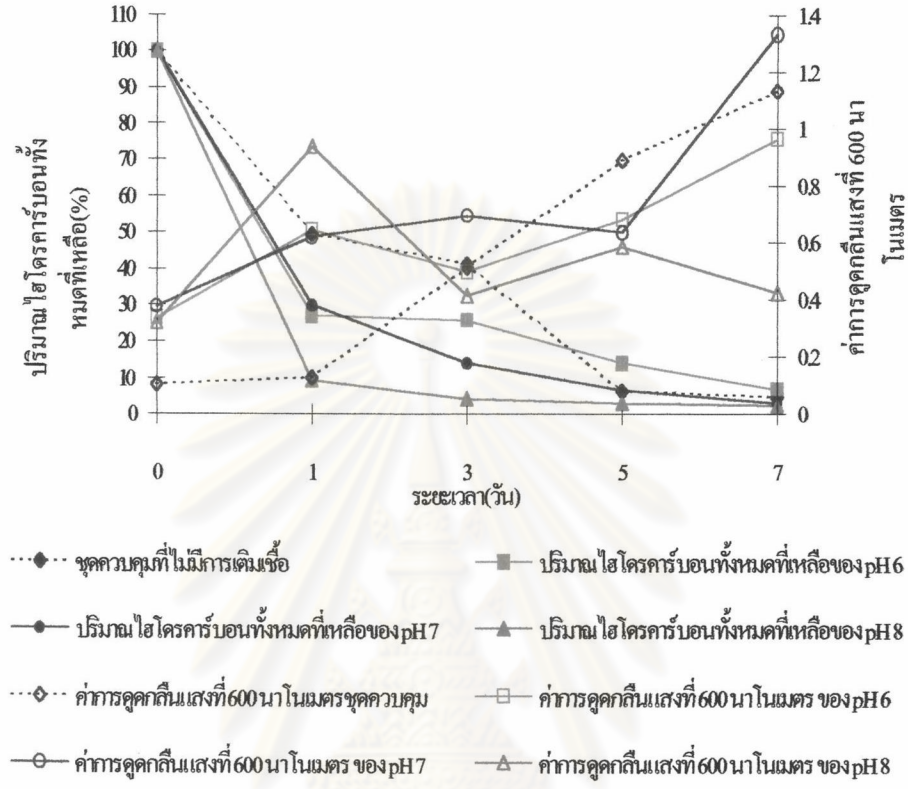
รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลืออยู่โดยแปรผันค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เป็น 6.0 , 7.0 และ 8.0 ที่ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 30 °ซ อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 กับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



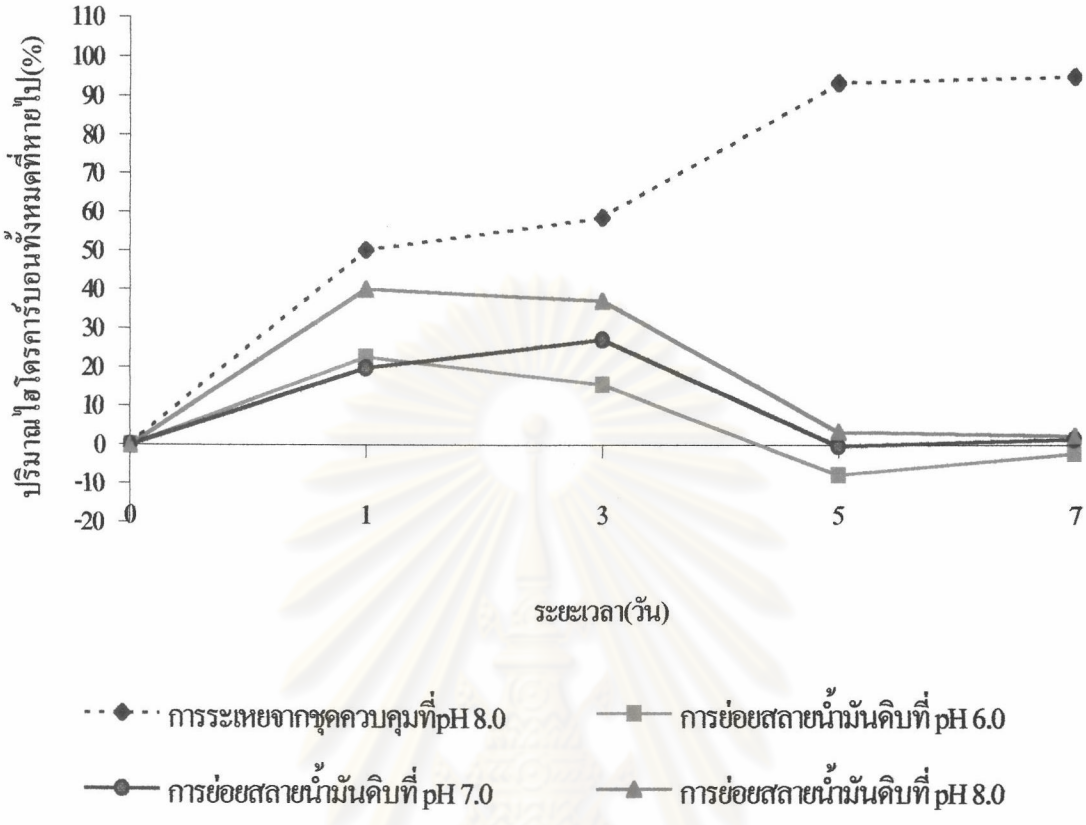
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือ (%) กับการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์ เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลืออยู่โดยแปรผันค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เป็น 6.0 , 7.0 และ 8.0 ที่ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 30 °ซ อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 กับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือ (%) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลืออยู่โดยแปรผันค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เป็น 6.0 , 7.0 และ 8.0 ที่ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 30 °ซ อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 กับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่หายไป (%) จากการระเหยและจากการย่อยสลายน้ำมันดิบโดยกลุ่มจุลินทรีย์ โดยแปรผันค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เป็น 6.0 , 7.0 และ 8.0 ที่ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 30 °ซ อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 กับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

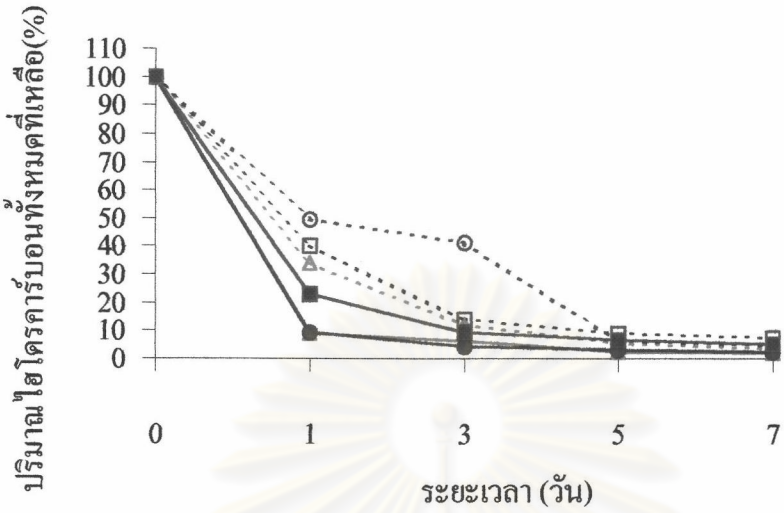
4.4.3 ผลของอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายน้ำมันดิบในถังหมัก

จากการศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลายน้ำมันดิบของกลุ่มจุลินทรีย์ในถังหมัก โดยมีการแปรผันอุณหภูมิเท่ากับ 25 °ซ, 30 °ซ , 35 °ซ โดยใช้ภาวะความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศ เท่ากับ 1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้เท่ากับ 2 : 1 โดยเก็บตัวอย่างทุกวันที่ 0 ,1 ,3 , 5 และ 7 พบว่า กลุ่มจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ทุกช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง คือ 25 – 35 °ซ ดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.12, 4.13,4.14 และ 4.15 โดยที่ทุกอุณหภูมิมีการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 1 ของการทดลอง เท่ากับ 6.0×10^8 CFU/มิลลิลิตร , 3×10^8 CFU/มิลลิลิตร และ 1×10^8 CFU/มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 25 °ซ ,30 °ซ และ 35 °ซ ตามลำดับ และหลังจากนั้นจำนวนของกลุ่มจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิ 25 °ซ และ 30 °ซ มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งมีค่าเท่ากับ 3×10^7 CFU/มิลลิลิตร และ 6×10^3 CFU/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในวันที่ 7 ของการทดลอง ส่วนที่อุณหภูมิ 35 °ซ การเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์มีแนวโน้มค่อย ๆ เพิ่มจำนวนขึ้นจนกระทั่งมีจำนวนสูงที่สุดเท่ากับ 3×10^8 CFU/มิลลิลิตร ในวันที่ 7 ของการทดลอง ซึ่งรูปแบบการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์เมื่อพิจารณาจากค่าจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตมีค่าสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันกับค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร ในวันแรกของการทดลองเท่านั้น ส่วนในวันที่ 3 - 7 ของการทดลอง ค่าจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตมีค่าไม่สอดคล้องกับค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากได้รับการรบกวนจากอนุภาคของไฮโดรคาร์บอนที่เหลือจากการย่อยสลายในระบบ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ พบว่า ที่อุณหภูมิ 25 °ซ มีการระเหยของน้ำมันดิบมากกว่า ที่อุณหภูมิ 35 °ซ และที่อุณหภูมิ 30 °ซ ตามลำดับ แต่เมื่อมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ พบว่า ที่อุณหภูมิ 25 °ซ มีการย่อยสลายน้ำมันดิบได้ดีพอ ๆ กับที่อุณหภูมิ 30 °ซ ส่วนที่อุณหภูมิ 35 °ซ มีการย่อยสลายน้ำมันดิบน้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการลดลงของน้ำมันดิบของกลุ่มจุลินทรีย์ พบว่าทั้ง 3 อุณหภูมิ คือ 25 °ซ ,30 °ซ และ 35 °ซ มีปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดลดลงอย่างรวดเร็วภายในวันที่ 1 ของการทดลอง โดยที่อุณหภูมิ 25 °ซ ลดลงจาก 3,997 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 364.53 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 9.12 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 30 °ซ ลดลงจาก 3,997 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 379.72 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 9.50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่อุณหภูมิ 35 °ซ ลดลงจาก 3,997 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 916.51 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 22.93 เปอร์เซ็นต์ และหลังจากวันที่ 1 ของการทดลองที่อุณหภูมิ 25 °ซ และ 30 °ซ มีรูปแบบการลดลงของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดใกล้เคียงกันมากและมีค่า เท่ากับ 73.15 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 1.83 เปอร์เซ็นต์ และ 91.53 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 2.29 เปอร์เซ็นต์

ในวันที่ 7 ของการทดลองที่อุณหภูมิ 25 °ซ และ 30 °ซ ตามลำดับ ส่วนที่อุณหภูมิ 35 °ซ มีปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดลดลงอย่างรวดเร็วอีกในวันที่ 3 ของการทดลอง เท่ากับ 377.32 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 9.44 เปอร์เซ็นต์ และหลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ จนกระทั่งเหลือปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดเท่ากับ 197.85 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 4.95 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 7 ของการทดลอง จากปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของการทดลองข้างต้น จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 25 °ซ และ 30 °ซ มีประสิทธิภาพในการลดลงของน้ำมันดิบได้เท่ากับ 90.88 เปอร์เซ็นต์ และ 90.50 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 1 วัน และเท่ากับ 98.17 เปอร์เซ็นต์ และ 97.71 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิ 25 °ซ และ 30 °ซ ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันนัก แต่ที่อุณหภูมิ 35 °ซ มีประสิทธิภาพในการลดลงของน้ำมันดิบต่ำที่สุด เท่ากับ 77.07 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 1 วัน และเท่ากับ 95.05 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 7 วัน แต่เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 25 °ซ พบว่า มีปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 30 °ซ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าที่อุณหภูมิ 25 °ซ มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันดิบได้ดีที่สุด รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 30 °ซ และ 35 °ซ ตามลำดับ

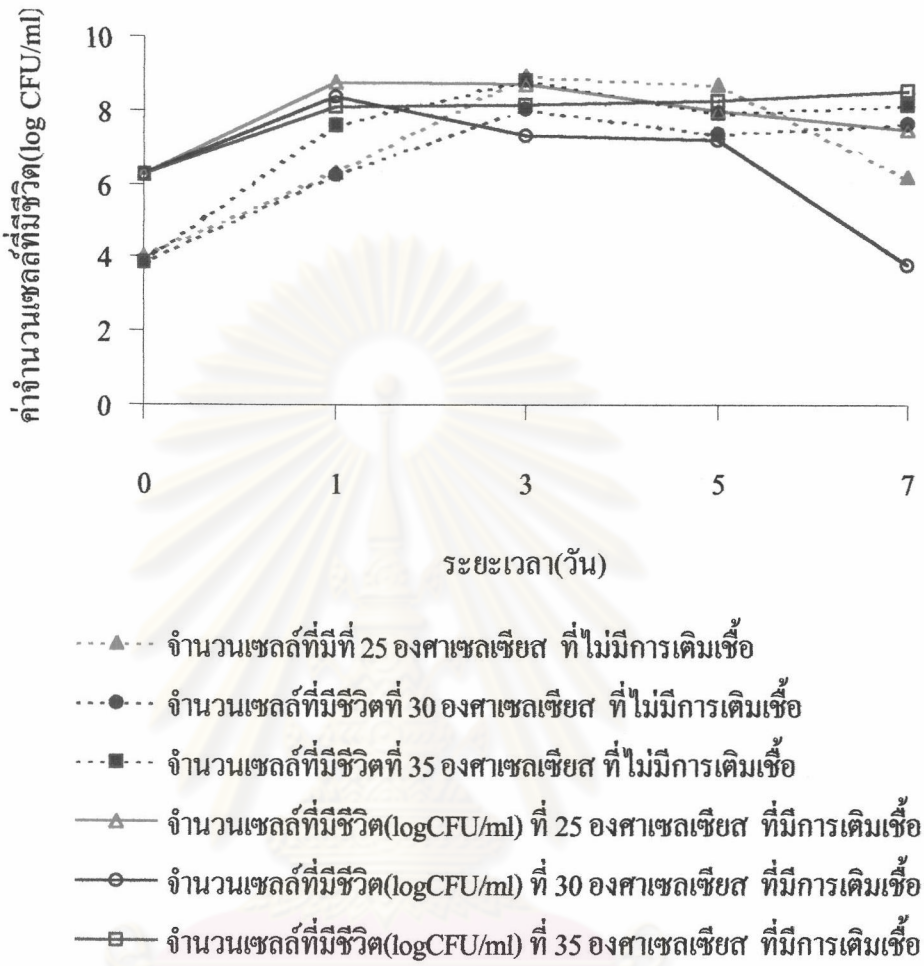
ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลืออยู่โดยแปรผันอุณหภูมิเท่ากับ 25 °ซ , 30 °ซ , 35 °ซ ที่ภาวะค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 กับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิ 25 °ซ , 30 °ซ , 35 °ซ

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือ (%)					
	25 °ซ		30°ซ		35°ซ	
	ชุดควบคุม	เติมเชื้อ	ชุดควบคุม	เติมเชื้อ	ชุดควบคุม	เติมเชื้อ
0	100	100	100	100	100	100
1	33.8	9.12	49.66	9.5	40.32	22.93
3	12.16	6.26	41.29	4.19	14.09	9.44
5	5.27	2.18	6.42	3.02	9.14	6.57
7	3.62	1.83	4.69	2.29	7.47	4.95

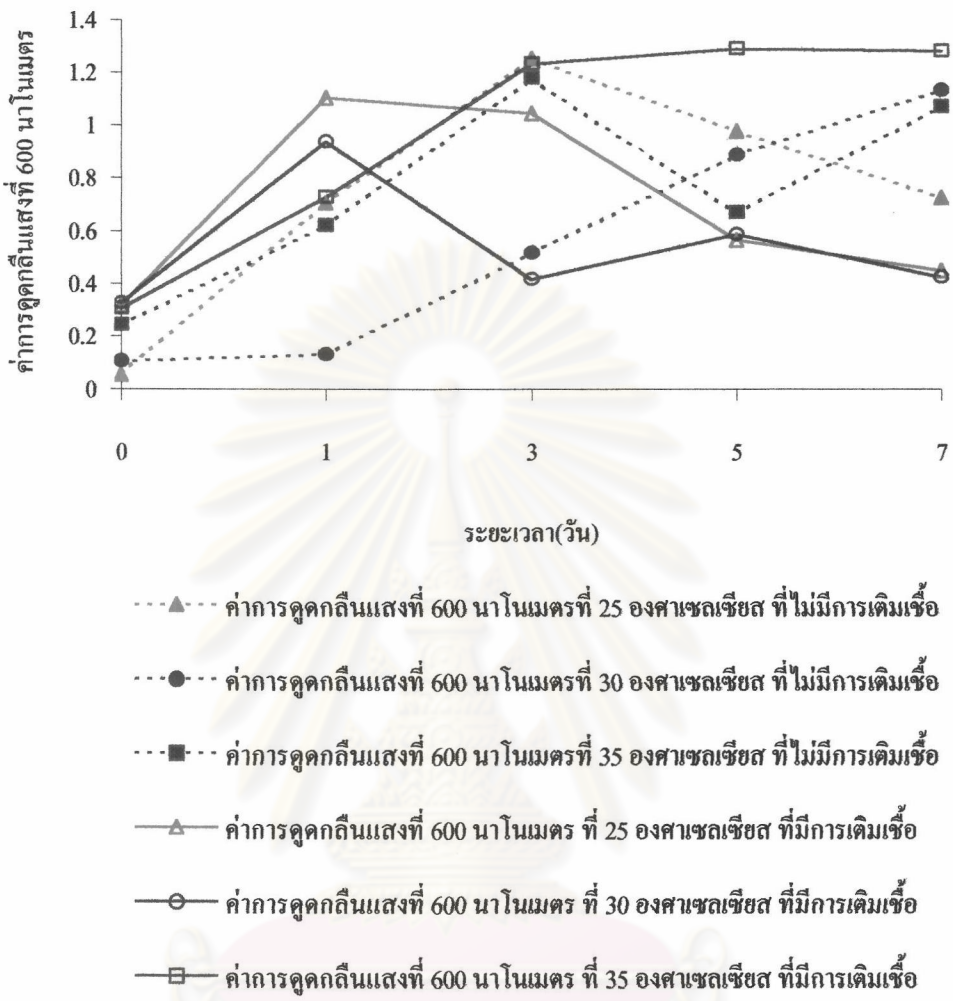


รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลืออยู่โดยแปรผันอุณหภูมิในการเลี้ยงเชื้อผสม เป็น 25 °ซ , 30 °ซ และ 35 °ซ ที่ภาวะค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 กับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ ที่ 25 °ซ , 30 °ซ และ 35 °ซ

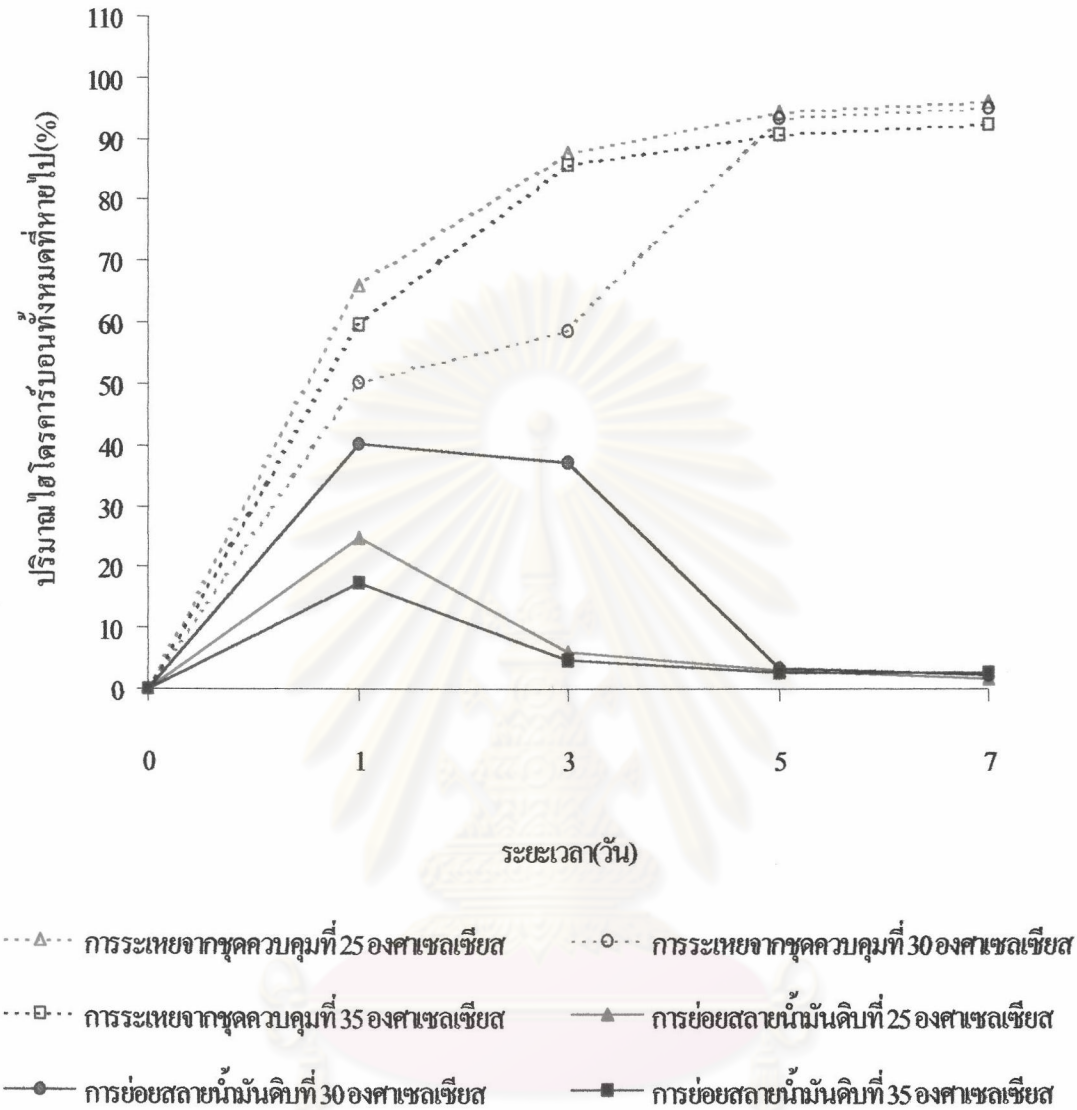
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าจำนวนเซลล์ที่มีชีวิต (logCFU/ml) ระหว่างที่มีการเติมหัวเชื้อด้วยอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 กับที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ โดยแปรผันอุณหภูมิในการเลี้ยงเชื้อผสม เป็น 25 °ซ , 30 °ซ และ 35 °ซ ที่ภาวะค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที)



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร ระหว่างที่มีการเติมหัวเชื้อด้วยอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้เท่ากับ 2 : 1 กับไม่มีการเติมจุลินทรีย์ โดยแปรผันอุณหภูมิเป็น 25 °ซ , 30 °ซ และ 35 °ซ ที่ภาวะค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที)



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่หายไป (%) จากการระเหยและจากการย่อยสลายน้ำมันดิบโดยกลุ่มจุลินทรีย์ โดยแปรผันอุณหภูมิในการเลี้ยงเชื้อผสม เป็น 25 °ซ , 30 °ซ และ 35 °ซ ที่ภาวะค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 กับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ ที่ 25 °ซ , 30 °ซ และ 35 °ซ

4.4.4 ผลของอัตราการให้อากาศที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายน้ำมันดิบในถังหมัก

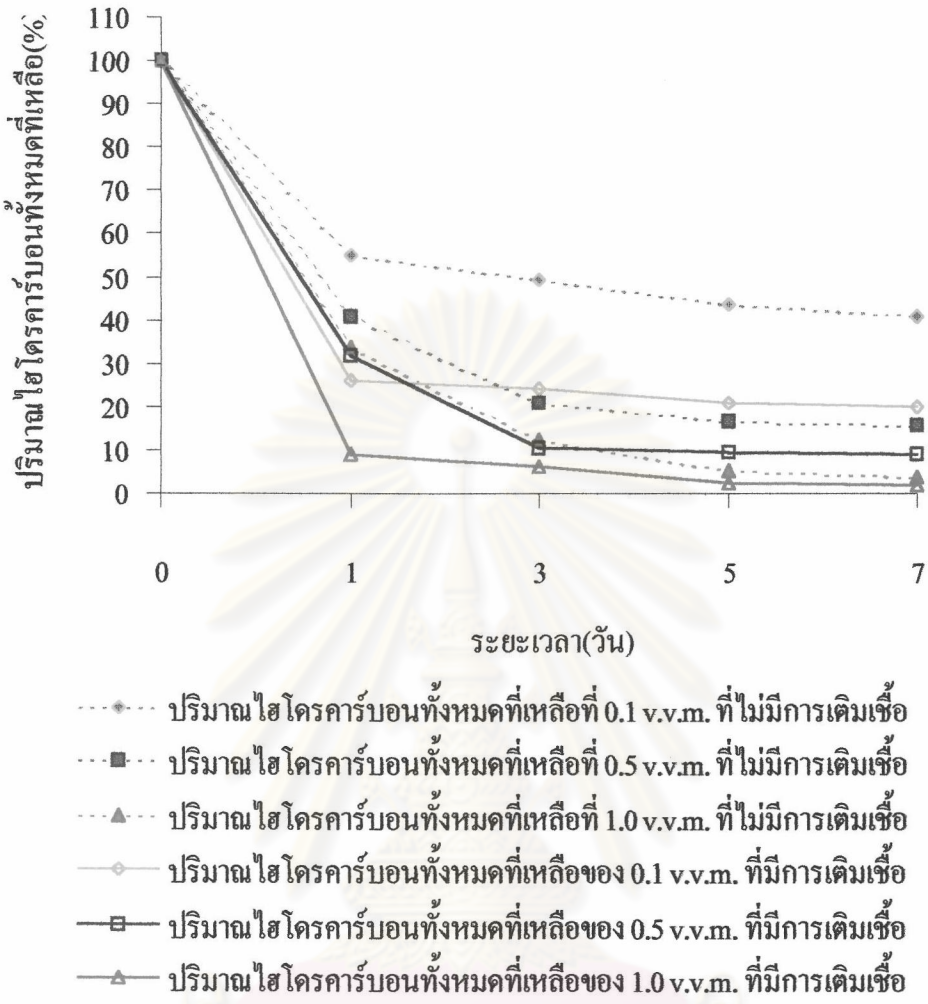
จากการศึกษาหาอัตราการให้อากาศที่เหมาะสมในการย่อยสลายน้ำมันดิบของจุลินทรีย์ในถังหมัก โดยมีการแปรผันอัตราการให้อากาศเป็น 0.1 , 0.5 และ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และใช้ภาวะความเป็นกรด – ด่างเท่ากับ 8.0 ที่อุณหภูมิเท่ากับ 25 °ซ และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 โดยเก็บตัวอย่างทุกวันที่ 0 ,1 ,3 , 5 และ 7 ดังตารางที่4.8 และรูปที่ 4.16, 4.17 ,4.18 และ 4.19 พบว่า กลุ่มจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ทุกภาวะของอัตราการให้อากาศให้อยู่ในช่วง 0.1 – 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) ซึ่งมีการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์ได้อย่างรวดเร็วภายในวันที่ 1 ของการทดลอง โดยมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อมีอัตราการให้อากาศแก่ระบบเท่ากับ 0.1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) , 0.5 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) มีค่าเท่ากับ 5×10^7 CFU/มิลลิลิตร, 6×10^7 CFU/มิลลิลิตร และ 6.0×10^8 CFU/มิลลิลิตร ตามลำดับ และหลังจากวันที่ 1 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์จะค่อย ๆ ลดลงในทุกภาวะจนกระทั่งในวันที่ 7 ของการทดลอง มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ เท่ากับ 1.0×10^7 CFU/มิลลิลิตร , 8×10^6 CFU/มิลลิลิตร และ 3×10^7 CFU/มิลลิลิตร ที่อัตราการให้อากาศแก่ระบบเท่ากับ 0.1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) , 0.5 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) ตามลำดับ จากผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า กลุ่มจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) ซึ่งสอดคล้องกับค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร ที่มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.105 ของวันที่ 1 เช่นกัน ส่วนในวันที่ 3 - 7 ของการทดลองค่าจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตมีค่าไม่สอดคล้องกับค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากได้รับการรบกวนจากอนุภาคของไฮโดรคาร์บอนที่เหลือจากการย่อยสลายในระบบ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ พบว่า ที่อัตราการให้อากาศ 1.0 v.v.m. (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) จะมีการระเหยของน้ำมันดิบไปมากกว่า ที่อัตราการให้อากาศ 0.5 v.v.m. (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และ ที่อัตราการให้อากาศ 0.1 v.v.m. (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) ตามลำดับ แต่เมื่อมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ พบว่า ที่อัตราการให้อากาศ 0.1 v.v.m. (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) จะเกิดการย่อยสลายน้ำมันดิบมากกว่า ที่อัตราการให้อากาศ 0.5 v.v.m. (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และ ที่อัตราการให้อากาศ 1.0 v.v.m. (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการลดลงของน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) ในถังหมัก พบว่า เมื่อใช้อัตราการให้อากาศแก่ระบบเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) จะมีประสิทธิภาพในการลดลงของน้ำมันดิบได้ดีที่สุด เท่ากับ 98.17 เปอร์เซ็นต์

ภายในระยะเวลา 7 วันของการทดลอง โดยมีปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด ลดลงจาก 3,997 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 73.15 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 1.83 เปอร์เซ็นต์ และถ้าใช้อัตราการให้อากาศแก่ระบบเท่ากับ 0.1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และ 0.5 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) จะมีประสิทธิภาพในการลดลงของน้ำมันดิบ เท่ากับ 80.05 เปอร์เซ็นต์ และ 90.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดเหลืออยู่เท่ากับ 19.95 เปอร์เซ็นต์ และ 9.08 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 7 วันของการทดลอง ตามลำดับ

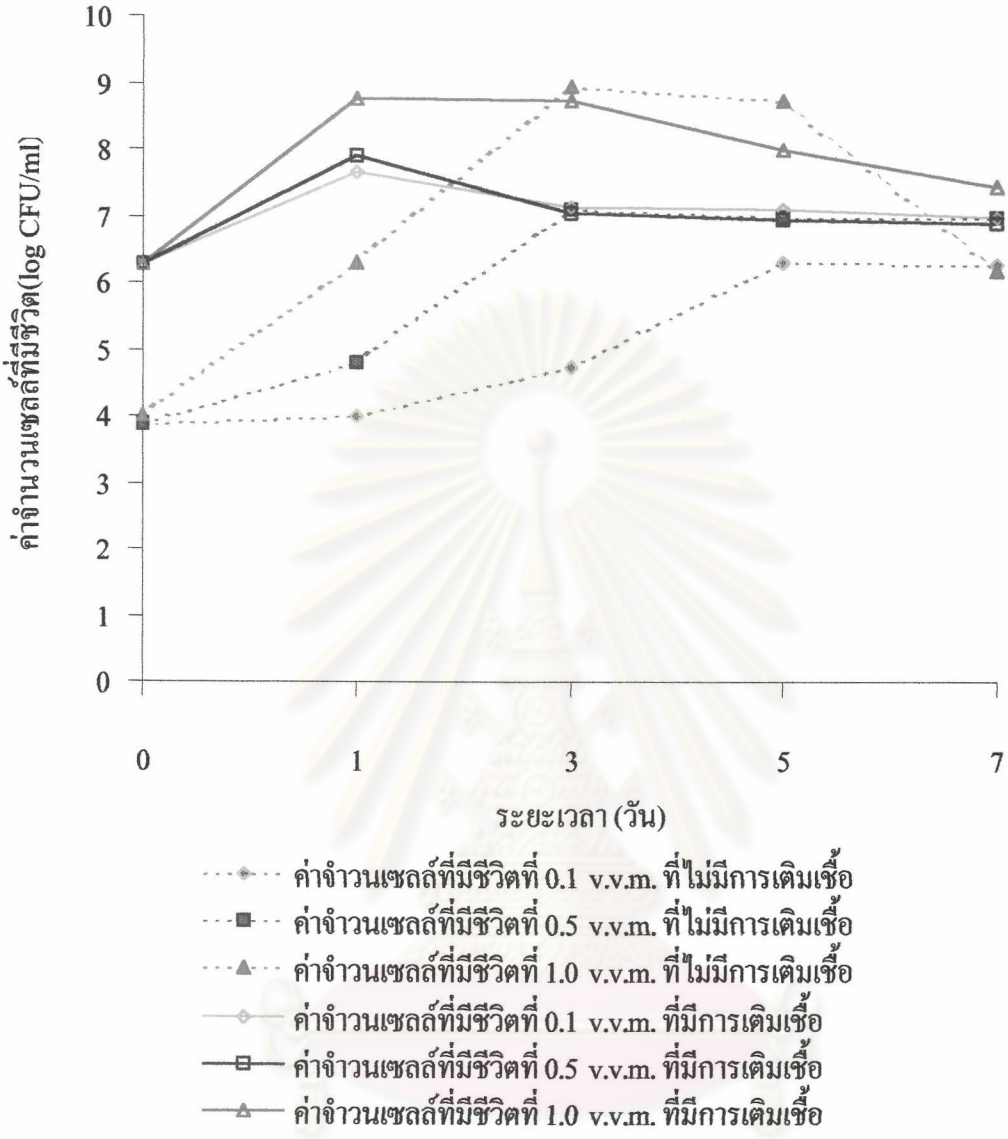
ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลืออยู่โดยแปรผันอัตราการให้อากาศเท่ากับ 0.1 v.v.m , 0.5 v.v.m , 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) ที่ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 25 °ซ ค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้นเท่ากับ 8.0 และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 กับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ที่อัตราการให้อากาศ เท่ากับ 0.1 v.v.m , 0.5 v.v.m , 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที)

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือ (%)					
	0.1 v.v.m.		0.5 v.v.m.		1.0 v.v.m.	
	ชุดควบคุม	เติมเชื้อ	ชุดควบคุม	เติมเชื้อ	ชุดควบคุม	เติมเชื้อ
0	100	100	100	100	100	100
1	55.19	25.9	40.59	31.93	33.8	9.12
3	49.25	24.22	20.91	10.59	12.16	6.26
5	43.74	20.71	16.52	9.64	5.27	2.18
7	40.57	19.95	15.75	9.08	3.62	1.83

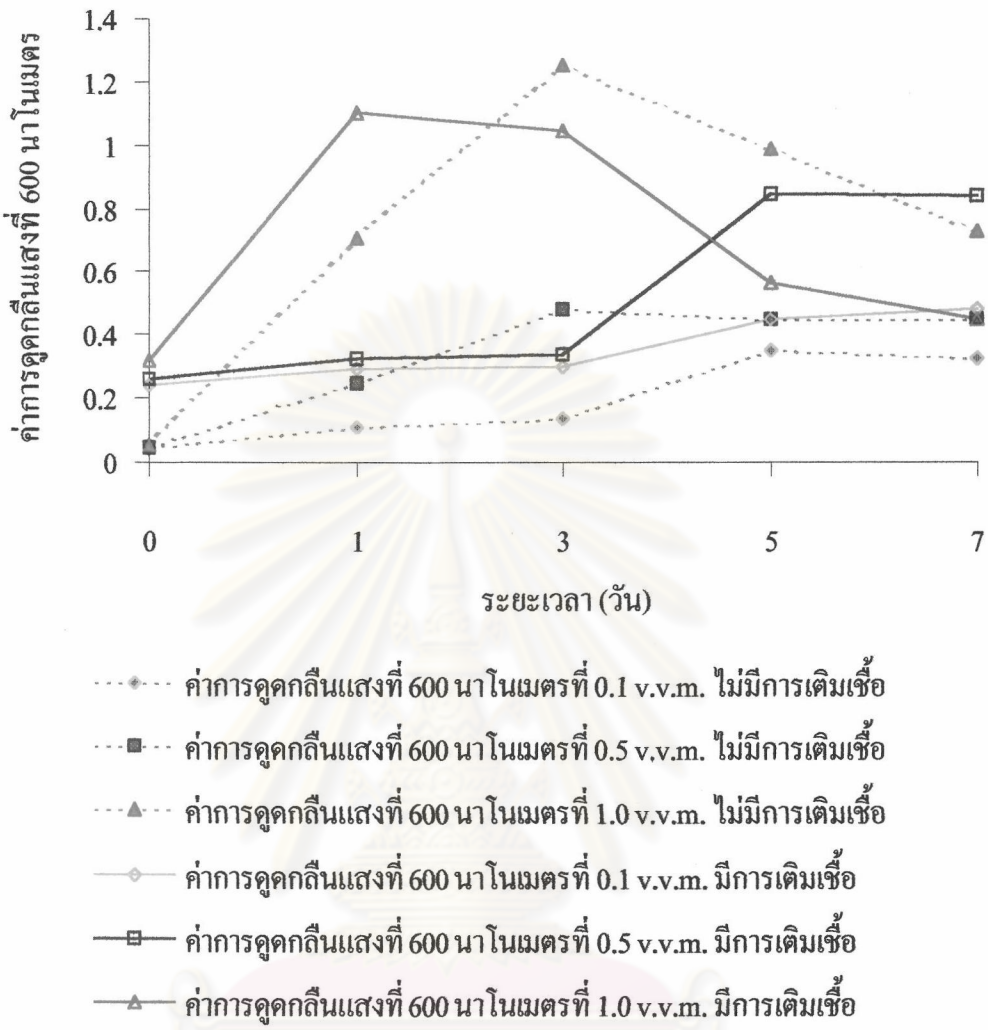
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



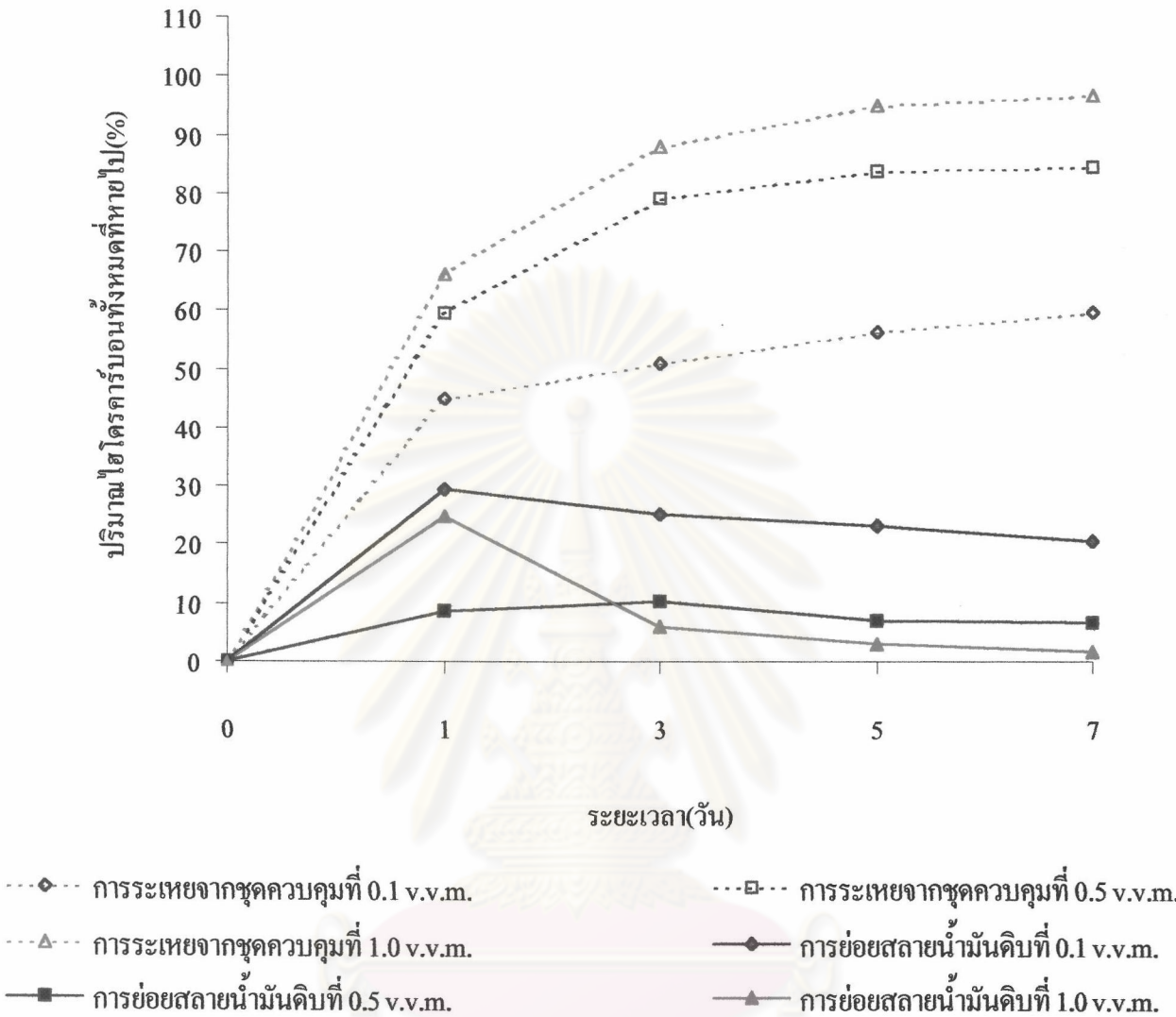
รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือ (%) โดยแปรผันอัตราการให้อากาศในการเลี้ยงเชื้อผสม เป็น 0.1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) , 0.5 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และ 1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) ที่ภาวะค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อุณหภูมิเท่ากับ 25 °ซ และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 กับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ที่ 0.1 v.v.m , 0.5 v.v.m และ 1.0 v.v.m



รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบค่าจำนวนเซลล์ที่มีชีวิต (logCFU/ml) ระหว่างที่มีการเติมหัวเชื้อด้วยอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้เท่ากับ 2 : 1 กับที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ โดยแปรผันอัตราการให้อากาศเป็น 0.1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) , 0.5 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และ 1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) ที่ภาวะค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 และอุณหภูมิเท่ากับ 25 °ซ



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตรระหว่างที่มีการเติมหัวเชื้อด้วยอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 กับที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ โดยแปรผันอัตราการให้อากาศเป็น 0.1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) , 0.5 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) ที่ภาวะค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อุณหภูมิเท่ากับ 25 °ซ



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่หายไป (%) จากการระเหยและจากการย่อยสลายน้ำมันดิบโดยกลุ่มจุลินทรีย์ โดยแปรผันอัตราการให้อากาศในการเลี้ยงเชื้อผสม เป็น 0.1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) , 0.5 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และ 1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) ที่ภาวะค่าความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อุณหภูมิเท่ากับ 25 °ซ และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 กับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ที่ 0.1 v.v.m , 0.5 v.v.m และ 1.0 v.v.m

4.4.5 การเปรียบเทียบที่ไม่มีการเติมสารอาหารกับที่มีการเติมสารอาหารอย่างต่อเนื่อง ในถังหมักระดับห้องปฏิบัติการ

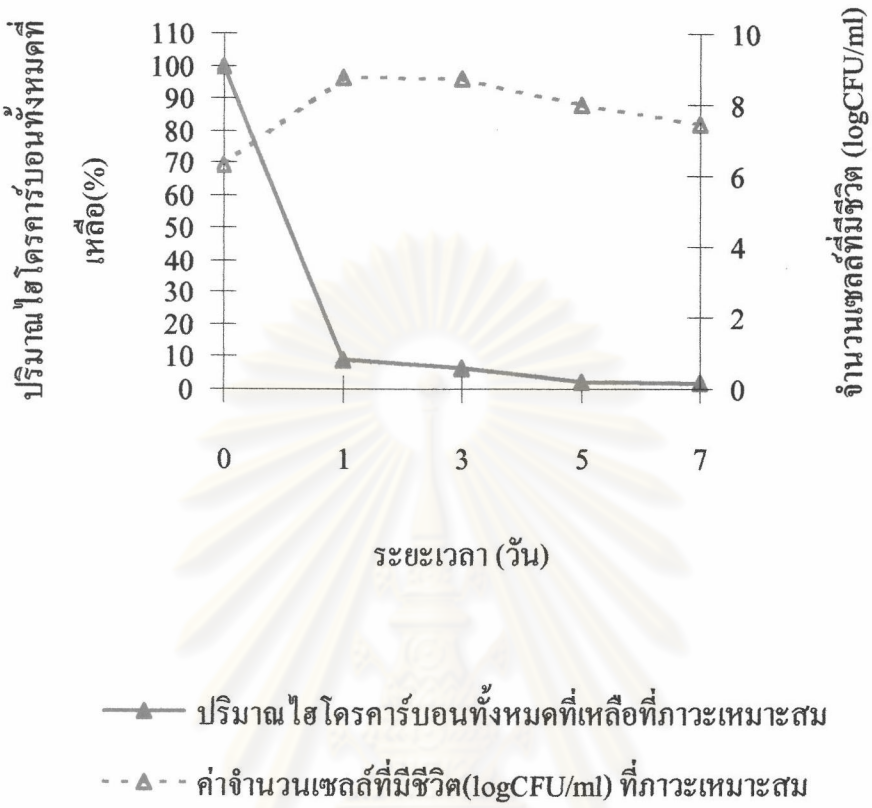
โดยสารอาหารที่เติมให้ ในที่นี้จะเติมในรูปของอาหารเลี้ยงเชื้อ Bushnell and Haas และน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

(ก) เมื่อไม่มีการเติมสารอาหารในถังหมักระดับห้องปฏิบัติการ ที่ภาวะเหมาะสม คือ ที่ความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 ที่อุณหภูมิ เท่ากับ 25 °ซ อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 พบว่า เริ่มต้นมีน้ำมันดิบอยู่ในถังหมัก 3,997 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อเวลาผ่านไป 5 ชั่วโมง ปริมาณน้ำมันดิบถูกย่อยสลายไป 756.77 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 18.93 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำมันดิบในระบบมีปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจาก 3,997 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 3,240.23 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 81.07 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ปริมาณน้ำมันดิบถูกย่อยสลายไป 3,632.47 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 90.88 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำมันดิบในระบบมีปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจาก 3,997 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 364.53 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 9.12 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่จำนวนเซลล์ที่มีชีวิตทั้งหมดในระบบเพิ่มขึ้นจาก 2 X 10^6 CFU/มิลลิลิตร เป็น 6 X 10^8 CFU/มิลลิลิตร และค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตรมีค่าเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกันกับจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตทั้งหมด แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลืออยู่ในระบบค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ ในขณะที่จำนวนเซลล์ที่มีชีวิตทั้งหมดและค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตรมีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลงเช่นกัน จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไปครบ 7 วันของการทดลอง พบว่ามีจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตทั้งหมดลดลงเหลือ 3 X 10^7 CFU/มิลลิลิตร และมีปริมาณน้ำมันดิบถูกย่อยสลายไป 3,923.85 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 98.17 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดเหลืออยู่ 73.15 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 1.83 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.20 และ รูปที่ 4.21

(ข) การเติมสารอาหารอย่างต่อเนื่อง ในถังหมักระดับห้องปฏิบัติการทำโดยให้สารอาหารคือ อาหารเลี้ยงเชื้อ Bushnell and Haas (ตามภาคผนวก ก) และน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แก่ระบบอย่างต่อเนื่อง เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บตัวอย่างต่อเนื่องทุก ๆ ชั่วโมง ที่ภาวะเหมาะสม คือ ที่ความเป็นกรด – ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 ที่อุณหภูมิ 25 °ซ อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 พบว่า เริ่มต้นระบบมีน้ำมันดิบหรือไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด เท่ากับ 3,997 มิลลิกรัมต่อลิตร และชั่วโมงที่ 0 เริ่มเติมอาหารเลี้ยงเชื้อ Bushnell and Haas (ตามภาคผนวก ก) ปริมาตร 451.78

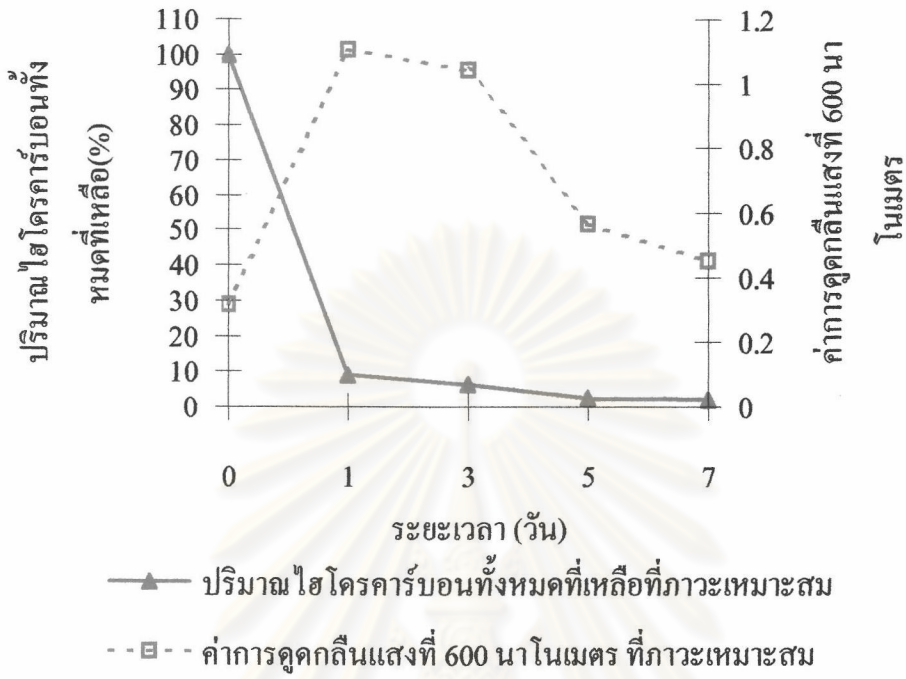
มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และเติมน้ำมันดิบปริมาตร 2.27 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังนั้นน้ำมันดิบในระบบจะมีปริมาตรรวม เท่ากับ 3,997 + 54.48 = 4,051.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อวัน เมื่อเวลาผ่านไป 5 ชั่วโมง ปริมาณน้ำมันดิบถูกย่อยสลายไป 3,924.35 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 97.90 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำมันดิบในระบบมีปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจาก 4,008.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 84 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 2.10 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ปริมาณน้ำมันดิบถูกย่อยสลายไป 3,966.68 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 97.91 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำมันดิบในระบบมีปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจาก 4,051.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 84.80 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 2.09 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่จำนวนเซลล์ที่มีชีวิตในระบบเพิ่มขึ้นจาก 2 X 10^6 CFU/มิลลิลิตร เป็น 7 X 10^8 CFU/มิลลิลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 5 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง และค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตรมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.310 เฉลี่ยเท่ากับ 0.730 มื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง โดยค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตรกับค่าจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตทั้งหมดมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลองและแปรผกผันกับปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือในระบบในลักษณะคงที่ ดังรูปที่ 4.22 และ รูปที่ 4.23

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



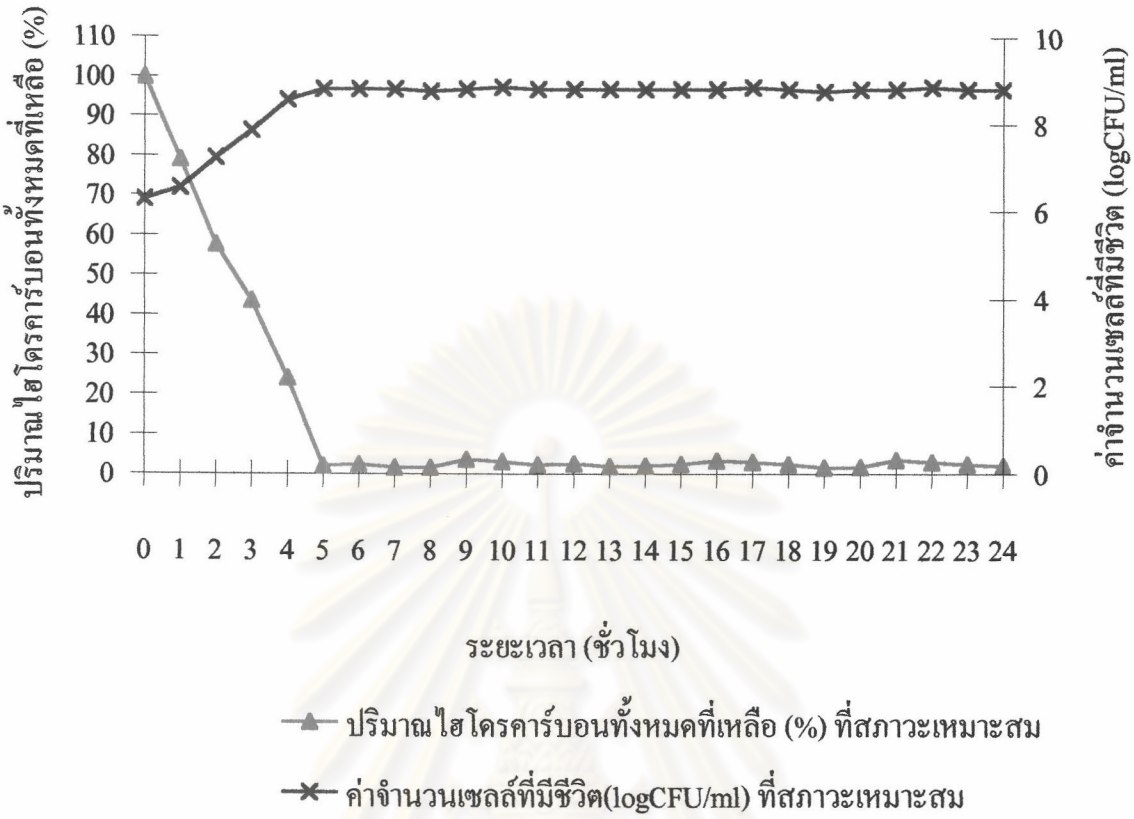
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือกับการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์ในภาวะที่เหมาะสม เมื่อมีการใช้เกลือแร่ในรูปของอาหารเลี้ยงเชื้อ Bushnell and Haas และน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ไม่มีการเติมสารอาหารในถังหมัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



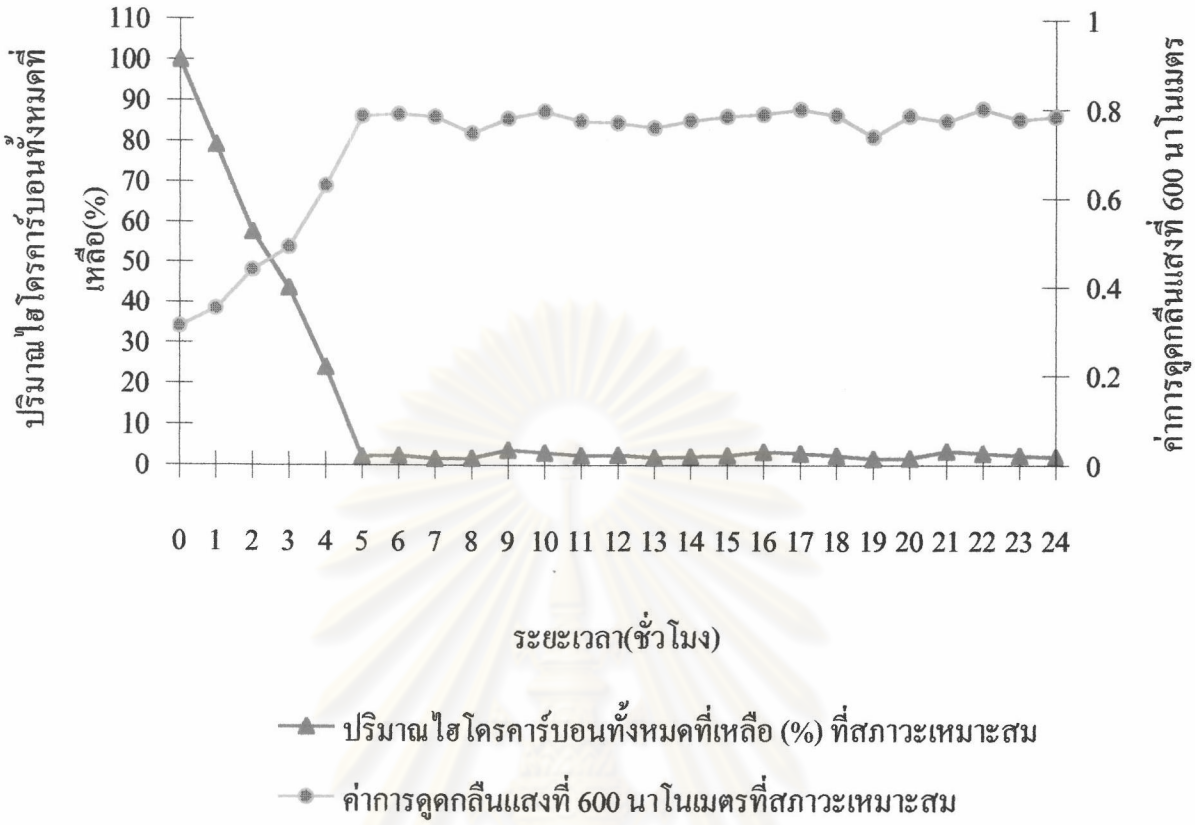
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือกับค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตรในภาวะที่เหมาะสม เมื่อมีการใช้เกลือแร่ในรูปของอาหารเลี้ยงเชื้อ Bushnell and Haas และน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ไม่มีการเติมสารอาหารในถังหมัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือกับการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์ (จำนวนเซลล์ที่มีชีวิต : logCFU/ml) ในภาวะที่เหมาะสม เมื่อมีการใช้เกลือแร่ในรูปของอาหารเลี้ยงเชื้อ Bushnell and Haas และน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่มีการเติมสารอาหารอย่างต่อเนื่องในถังหมัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือกับค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตรในภาวะที่เหมาะสม เมื่อมีการใช้เกลือแร่ในรูปของอาหารเลี้ยงเชื้อ Bushnell and Haas และน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่มีการเติมสารอาหารอย่างต่อเนื่องในถังหมัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย