# การสลายทางชีวภาพของน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ โดย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis*

นางสาวศิริลักษณ์ ลีระศิริ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974 - 633 - 942 - 7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17060898

# BIODEGRADATION OF SYNTHETIC LUBRICATING OIL BY *Pseudomonas putida* AND *Bacillus subtilis*

MISS SIRILAK LEERASIRI

A Thesis Submitted in Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Inter - Department of Environmental Science
Graduate School
Chulalongkorn University
1996

ISBN 974 - 633 - 942 - 7

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การสลายทางชีวภาพของน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ โดย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* |
| โดย | นางสาวศิริลักษณ์ ลีระศิริ |
| สหสาขาวิชา | วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | นางสุรางค์ เดชศิริเลิศ |

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
( รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำธร ธีรคุปต์ )

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม )

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
( นางสุรางค์ เดชศิริเลิศ )

.....กรรมการ
( รองศาสตราจารย์ ดร. โสภณ เรืองสำราญ )

.....กรรมการ
( อาจารย์ ดร. ศุภชร พัฒนอักษร )

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ศิริลักษณ์ ลีระศิริ : การสลายทางชีวภาพของน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ โดย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ( BIODEGRADATION OF SYNTHETIC LUBRICATING OIL BY *Pseudomonas putida* AND *Bacillus subtilis* ) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. อมร เพชรสม, อ.ที่ปรึกษาร่วม : นางสุรางค์ เตชศิริเลิศ, 166 หน้า. ISBN 974 - 633 - 942 - 7

การสลายทางชีวภาพของน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีสารอาหารสมบูรณ์ (tryptic soy broth) และที่มีสารอาหารพื้นฐาน (mineral base medium) โดย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยทดลองในสารอาหารพื้นฐานที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron และ Castrol GTX ความเข้มข้น 0 (ตัวควบคุม), 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 เปอร์เซนต์) (ปริมาตรต่อปริมาตร) การทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่ง คือ การหาระยะเวลาแบ่งตัวต่อรุ่นของ *P. putida* และ *B. subtilis* ด้วยวิธี total plate count ส่วนที่สอง คือ การวิเคราะห์การสลายทางชีวภาพของน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ในอาหารชนิดเหลว MBM โดย *P. putida, B. subtilis* และเชื้อทั้งสองชนิดร่วมกัน และส่วนที่สาม คือ การวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารพื้นฐานที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้แก่ โซเดียม, โปตัสเซียม, แอมโมเนียม, มักนีเซียม, คลอไรด์, ซัลเฟต และ ฟอสเฟต

ผลการทดลอง พบว่า ในอาหารชนิดเหลว TSB ทั้ง *P. putida* และ *B. subtilis* ใช้ระยะเวลาแบ่งตัวต่อรุ่น เพียงเท่ากับ 1.608 และ 1.604 ชั่วโมงต่อรุ่น ส่วนในอาหารชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นฯ Castrol GTX 2 มิลลิลิตรต่อลิตร ใช้ระยะเวลาแบ่งตัวต่อรุ่น เท่ากับ 1.631 และ 1.689 ชั่วโมงต่อรุ่น ตามลำดับ และในอาหารชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นฯ Esso Ultron 2 มิลลิลิตรต่อลิตร ใช้ระยะเวลาแบ่งตัวต่อรุ่น เท่ากับ 1.652 และ 1.715 ชั่วโมงต่อรุ่น ตามลำดับ และพบว่าทั้ง *P. putida* และ *B. subtilis* ในอาหารชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นฯแต่ละชนิด ในแต่ละระดับความเข้มข้น มีค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์แบคทีเรียต่อมิลลิลิตรที่ไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์แบคทีเรียต่อมิลลิลิตร ในอาหารชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นฯ แต่ละชนิด ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์แบคทีเรียต่อมิลลิลิตรในอาหารชนิดเหลว TSB อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

การสลายทางชีวภาพของน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX และ Esso Ultron โดย *P. putida, B. subtilis* และเชื้อทั้ง 2 ชนิดร่วมกัน อยู่ในค่าระหว่าง 27 - 32 เปอร์เซนต์ และ 25 - 30 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ และมีการใช้สารอาหารพื้นฐานไปประมาณ 12 - 36 เปอร์เซนต์ จากการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าทั้ง *P. putida* และ *B. subtilis* สามารถนำไปใช้ในการสลายทางชีวภาพของน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ได้

ภาควิชา จุลชีววิทยา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## C626476 : MAJOR INTER - DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEY WORD: BIODEGRADATION / SYNTHETIC LUBRICATING OIL / *Pseudomonas putida* / *Bacillus subtilis*
SIRILAK LEERASIRI : BIODEGRADATION OF SYNTHETIC LUBRICATING OIL BY *Pseudomonas putida* AND *Bacillus subtilis*.
THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. AMORN PRETSOM, Ph.D.,
THESIS CO - ADVISOR SURANG DEJSIRILERT, 166 pp.
ISBN 974 - 633 - 942 - 7

The efficiency of biodegradation of synthetic lubricating oil in tryptic soy broth and mineral base medium by *Pseudomonas putida* and *Bacillus subtilis* was investigated. Esso Ultron and Castrol GTX at 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5 percent (volume/volume) in mineral base medium were used as models. The study was divided into three parts. The first part was the determination of generation time of *P. putida* and *B. subtilis* by total plate count. The second part was the biodegradation of synthetic lubricating oil in mineral base medium by *P. putida* , *B. subtilis* and combination of both bacteria. The third part was the determination of some elements essential to the growth of bacteria such as sodium, potassium, ammonium, magnesium, chloride, sulfate and phosphate.

The results indicated that *P. putida* and *B. subtilis* in tryptic soy broth. took only 1.608 and 1.604 hours per generation. In mineral base medium with 2 ml/l of Castrol GTX they took 1.631 and 1.689 hours per generation, respectively. With 2 ml/l of Esso Ultron in mineral base medium they took 1.652 and 1.715 hours, respectively. It was found that both *P. putida* and *B. subtilis* in mineral base medium containing each lubricating oil gave the same number average of bacterial cell per millilitre. However number average of bacterial cell per millilitre. in mineral base medium with each lubricating oil was significant different from tryptic soy broth with each lubricating oil. The confidential level was 95 percent.

Biodegradation of Castrol GTX and Esso Ultron by *P. putida*, *B. subtilis* and combination of both was in the rang of 27 - 32 percent and 25 - 30 percent, respectively. Bacic elements consumption was 12 - 36 percent. This investigation revealed that both *P. putida* and *B. subtilis* could be effectively used in biodegradation of synthetic lubricating oils.

ภาควิชา INTER - DEPARTMENT ลายมือชื่อนิสิต Sirilak Leerasiri

สาขาวิชา ENVIRONMENTAL SCIENCE ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 1995 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำ ปรึกษา และเอาใจใส่ตลอดมา ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำธร ธีรคุปต์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. โสภณ เริงสำราญ และอาจารย์ ดร. ศุภษร พัฒนอักษร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาตรวจทานและแก้ไข เพื่อให้วิทยานิพนธ์ได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ คุณสุรางค์ เดชศิริเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม หัวหน้าฝ่ายบักเตรีทั่วไป กองพยาธิวิทยาคลีนิค กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ที่ได้เมตตาให้ความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์เชื้อแบคทีเรีย เครื่องมือ สารเคมี อาหารเลี้ยงเชื้อ และอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการทดลอง รวมทั้งเจ้าหน้าที่ฝ่ายบักเตรีทั่วไป และงานเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อทุกท่านที่กรุณาถ่ายทอดความรู้ ความเข้าใจ ในด้านการศึกษาที่เกี่ยวกับแบคทีเรีย

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นบางส่วน

ขอขอบพระคุณ คุณละออง ศรีสุวรรณวิไล หัวหน้าฝ่ายชันสูตรโรค กองควบคุมโรค สำนักอนามัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และเอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ อุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทดลอง รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกต่อผู้เขียน

ขอขอบคุณกองอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักอนามัยที่ได้ให้โอกาสแก่ข้าพเจ้าลาศึกษาต่อในครั้งนี้

ขอขอบคุณและซาบซึ้งในน้ำใจของน้อง ๆ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อมทุกท่าน โดยเฉพาะน้องร่วมรุ่นที่ได้ให้กำลังใจตลอดมา และขอขอบคุณ คุณจิรัฐิติ ตั้งสุวรรณ คุณชัยนาม เปรมปรีชากุล คุณชัยวัฒน์ งามเจตน์วัฒน์ และคุณบรรเลง นราพินิจ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดทำวิทยานิพนธ์ และด้านต่าง ๆ จนสำเร็จลุล่วงมาด้วยดี

ขอขอบคุณพี่สาวและน้องสาว ที่ได้สละแรงกายและแรงใจ ช่วยเหลือ สนับสนุนในทุก ๆ ด้าน และท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความรัก ความเข้าใจ และกำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญตาราง.....ช
สารบัญรูป.....ฐ
บทที่
1. บทนำ.....1
2. การสอบสวนเอกสาร.....5
3. วิธีดำเนินการศึกษา.....37
4. ผลการศึกษา และวิจารณ์ผลการศึกษา.....57
5. สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ.....107
รายการอ้างอิง.....115
ภาคผนวก.....122
ประวัติผู้เขียน.....166

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า


2.1 ความสามารถในการละลายน้ำของสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว และสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ที่อุณหภูมิห้อง....11

4.1 ก การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว TSB และ MBM....61

4.1 ข.การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว TSB และ MBM....61

4.2 . การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว TSB....61

4.3 การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว MBM....61

4.4 ก.การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ความเข้มข้น 1 มิลลิลิตรต่อลิตร....68

4.4 ข.การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ความเข้มข้น 1 มิลลิลิตรต่อลิตร....68

4.5 ก.การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ความเข้มข้น 2 มิลลิลิตรต่อลิตร....68

4.5 ข.การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ความเข้มข้น 2 มิลลิลิตรต่อลิตร....68

4.6 ก.การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ความเข้มข้น 3 มิลลิลิตรต่อลิตร....69

4.6 ข.การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว
ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ความเข้มข้น 3 มิลลิลิตรต่อลิตร.....69
4.7 ก.การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์
แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว
ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ความเข้มข้น 4 มิลลิลิตรต่อลิตร.....69
4.7 ข.การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์
แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว
ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ความเข้มข้น 4 มิลลิลิตรต่อลิตร.....69
4.8 ก.การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์
แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว
ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ความเข้มข้น 5 มิลลิลิตรต่อลิตร.....70
4.8 ข. การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์
แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว
ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ความเข้มข้น 5 มิลลิลิตรต่อลิตร.....70
4.9 ก.การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์
แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมัน
หล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron และ Castrol GTX ความเข้มข้น 1 มิลลิลิตรต่อลิตร.....72
4.9 ข. การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์
แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมัน
หล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron และ Castrol GTX ความเข้มข้น 1 มิลลิลิตรต่อลิตร.....72
4.10 ก.การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์
แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมัน
หล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron และ Castrol GTX ความเข้มข้น 2 มิลลิลิตรต่อลิตร.....72
4.10 ข.การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์
แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมัน
หล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron และ Castrol GTX ความเข้มข้น 2 มิลลิลิตรต่อลิตร.....72
4.11 ก.การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron และ Castrol GTX ความเข้มข้น 3 มิลลิลิตรต่อลิตร.....73
4.11 ข. การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron และ Castrol GTX ความเข้มข้น 3 มิลลิลิตรต่อลิตร.....73
4.12 ก .การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron และ Castrol GTX ความเข้มข้น 4 มิลลิลิตรต่อลิตร.....73
4.12 ข. การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron และ Castrol GTX ความเข้มข้น 4 มิลลิลิตรต่อลิตร.....73
4.13 ก. การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron และ Castrol GTX ความเข้มข้น 5 มิลลิลิตรต่อลิตร.....74
4.13 ข. การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron และ Castrol GTX ความเข้มข้น 5 มิลลิลิตรต่อลิตร.....74
4.14 การทดสอบทางสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต ในรูปจำนวนเซลล์แบคทีเรีย ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว TSB และ MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ.....75
4.15 การทดสอบทางสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และปริมาณน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ ที่ละลายในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมัน หล่อลื่นสังเคราะห์ ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ.....83
ข.1 คุณสมบัติทางชีวเคมีของแบคทีเรีย *Pseudomonas putida*.....123
ข.2 คุณสมบัติทางชีวเคมีของแบคทีเรีย *Bacillus subtilis*.....125
ค.1 ก ค่าเฉลี่ยระยะเวลาในการแบ่งตัวต่อรุ่นของ *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีสารอาหารสมบูรณ์ (TSB) และที่มีสารอาหารพื้นฐาน(MBM)

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง.....127
ค.1 ข ค่าเฉลี่ยระยะเวลาในการแบ่งตัวต่อรุ่นของ *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ใน อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีสารอาหารสมบูรณ์ (TSB) และที่มีสารอาหารพื้นฐาน (MBM) ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง....127
ค.2 การเจริญเติบโตในรูปจำนวนเซลล์แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีสารอาหารสมบูรณ์ (TSB) และที่มีสารอาหารพื้นฐาน (MBM) ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์. Esso ultron. ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง.....128
ค.3 การเจริญเติบโตในรูปจำนวนเซลล์แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีสารอาหารสมบูรณ์ (TSB) และที่มีสารอาหารพื้นฐาน (MBM) ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง.....129
ค.4 สรุปค่าจำนวนเซลล์ของการเจริญเติบโตแบคทีเรีย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว TSB และ MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron.....130
ค.5 สรุปค่าจำนวนเซลล์ของการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว TSB และ MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX.....131
ง.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron และเปอร์เซนต์การลดลงในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ.....132
ง.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX และเปอร์เซนต์การลดลงในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ.....133
ฉ.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโซเดียม ($Na^+$)เฉลี่ย และเปอร์เซนต์การลดลงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีสารอาหารพื้นฐาน MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ.....138
ฉ.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโซเดียม ($Na^+$) เฉลี่ย และเปอร์เซนต์การลดลงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีสารอาหารพื้นฐาน MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ.....139
ฉ.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปตัสเซียม ($K^+$) เฉลี่ย และเปอร์เซนต์การลดลงในอาหารเลี้ยง

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

เชื้อชนิดเหลวที่มีสารอาหารพื้นฐาน MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ..... 140

ฉ.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปตัสเซียม ($K^+$) เฉลี่ย และเปอร์เซนต์การลดลงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีสารอาหารพื้นฐาน MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ..... 141

ฉ.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียม ($NH_4^+$) เฉลี่ย และเปอร์เซนต์การลดลงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีสารอาหารพื้นฐาน MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ..... 142

ฉ.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียม ($NH_4^+$) เฉลี่ย และเปอร์เซนต์การลดลงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีสารอาหารพื้นฐาน MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ..... 143

ฉ.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณมักนีเซียม ($Mg_2^+$) เฉลี่ย และเปอร์เซนต์การลดลงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีสารอาหารพื้นฐาน MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ..... 144

ฉ.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณมักนีเซียม ($Mg_2^+$) เฉลี่ย และเปอร์เซนต์การลดลงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีสารอาหารพื้นฐาน MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ..... 145

ฉ.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอไรด์ ($Cl^-$) เฉลี่ย และเปอร์เซนต์การลดลงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีสารอาหารพื้นฐาน MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ..... 146

ฉ.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอไรด์ ($Cl^-$) เฉลี่ย และเปอร์เซนต์การลดลงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีสารอาหารพื้นฐาน MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ..... 147

ฉ.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซัลเฟต ($SO_4^{2-}$) เฉลี่ย และเปอร์เซนต์การลดลงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีสารอาหารพื้นฐาน MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ..... 148

ฉ.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซัลเฟต ($SO_4^{2-}$) เฉลี่ย และเปอร์เซนต์การลดลงในอาหารเลี้ยง

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

เชื้อชนิดเหลวที่มีสารอาหารพื้นฐาน MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ..... 149

ฉ.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ ฟอสเฟต ($PO_4^{3-}$) เฉลี่ย และเปอร์เซนต์การลดลงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีสารอาหารพื้นฐาน MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ..... 150

ฉ.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ ฟอสเฟต ($PO_4^{3-}$) เฉลี่ย และเปอร์เซนต์การลดลงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีสารอาหารพื้นฐาน MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ..... 151

ฉ.15 การเปลี่ยนแปลงค่าพี เอชและอุณหภูมิของสารอาหารพื้นฐาน ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ..... 152

ฉ.16 การเปลี่ยนแปลงค่าพี - เอช และอุณหภูมิของสารอาหารพื้นฐาน ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol....GTX ..... 153

ช.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง จุลินทรีย์ชนิดโปรคารีโอติก (Prokaryoyic) และชนิดยูคารีโอติก (Eukaryotic) ..... 154

ช..2 สมบัติ และส่วนประกอบของเซลล์ที่แตกต่างระหว่าง แบคทีเรียแกรมบวก และแบคทีเรียแกรมลบ ..... 155

# สารบัญรูป

รูปที่ หน้า


2.1 พฤติกรรมของน้ำมันเมื่อปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ ..... 9

4.1 ก.ระยะเวลาแบ่งตัวต่อรุ่นของการเจริญเติบโตของ *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ..... 59

4.1 ข ระยะเวลาแบ่งตัวต่อรุ่นของการเจริญเติบโตของ *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ..... 59

4.2 ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของ *Pseudomonas putida* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว TSB และ MBM ที่อุณหภูมิห้อง ..... 60

4.3 ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว TSB และ MBM ที่อุณหภูมิห้อง ..... 60

4.4 ก. ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของ *Pseudomonas putida* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง ..... 63

4.4 ข. ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของ *Pseudomonas putida* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง ..... 63

4.5 ก. ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง ..... 64

4.5 ข. ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของ *Bacillus subtilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง ..... 64

4.6 ก การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นฯ 1 มิลลิลิตรต่อลิตร ..... 78

4.6 ข การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นฯ 1 มิลลิลิตรต่อลิตร ..... 78

4.7 ก การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นฯ 2 มิลลิลิตรต่อลิตร ..... 79

4.7 ข การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นฯ 2 มิลลิลิตรต่อลิตร ..... 79

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.8 ก เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นฯ 1 มิลลิลิตรต่อลิตร....80
4.8 ข เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นฯ 1 มิลลิลิตรต่อลิตร....80
4.9 ก เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นฯ 2 มิลลิลิตรต่อลิตร....81
4.9 ข เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นฯ 2 มิลลิลิตรต่อลิตร....81
4.10 เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณโซเดียม ( $Na^+$ ) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว....86
4.11 ก เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณโซเดียม ( $Na^+$ )ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron 1 มิลลิลิตรต่อลิตร....86
4.11 ข เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณโซเดียม ( $Na^+$ )ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron 2 มิลลิลิตรต่อลิตร....86
4.12 ก เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณโซเดียม ( $Na^+$ )ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX 1 มิลลิลิตรต่อลิตร....87
4.12 ข เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณโซเดียม ( $Na^+$ )ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX 2 มิลลิลิตรต่อลิตร....87
4.13 เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณโปตัสเซียม ( $K^+$ ) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว....89
4.14 ก เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณโปตัสเซียม ( $K^+$ ) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron 1 มิลลิลิตรต่อลิตร....89
4.14 ข เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณโปตัสเซียม ( $K^+$ ) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron 2 มิลลิลิตรต่อลิตร....89
4.15 ก เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณโปตัสเซียม ( $K^+$ ) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX 1 มิลลิลิตรต่อลิตร....90
4.15 ข เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณโปตัสเซียม ( $K^+$ ) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX 2 มิลลิลิตรต่อลิตร....90
4.16 เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณแอมโมเนียม ( $NH_4^+$ ) ในอาหารเลี้ยง เชื้อชนิดเหลว....92

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.17 ก เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณแอมโมเนียม ( $NH_4^+$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron 1 มิลลิลิตรต่อลิตร....92
4.17 ข เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณแอมโมเนียม ( $NH_4^+$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron 2 มิลลิลิตรต่อลิตร....92
4.18 ก เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณแอมโมเนียม ( $NH_4^+$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX 1 มิลลิลิตรต่อลิตร....93
4.18 ข เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณแอมโมเนียม ( $NH_4^+$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX 2 มิลลิลิตรต่อลิตร....93
4.19 เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณมักนีเซียม ( $Mg_2^+$)ในอาหารเลี้ยง เชื้อชนิดเหลว....94
4.20 ก เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณมักนีเซียม ( $Mg_2^+$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron 1 มิลลิลิตรต่อลิตร....94
4.20 ข เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณมักนีเซียม ( $Mg_2^+$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron 2 มิลลิลิตรต่อลิตร....94
4.21 ก เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณมักนีเซียม ( $Mg_2^+$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX 1 มิลลิลิตรต่อลิตร....95
4.21 ข เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณมักนีเซียม ( $Mg_2^+$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX 2 มิลลิลิตรต่อลิตร....95
4.22 เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณคลอไรด์ ( $Cl^-$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว....97
4.23 ก เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณคลอไรด์ ( $Cl^-$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron 1 มิลลิลิตรต่อลิตร....97
4.23 ข เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณคลอไรด์ ( $Cl^-$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron 2 มิลลิลิตรต่อลิตร....97
4.24 ก เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณคลอไรด์ ( $Cl^-$) ในอาหารเลี้ยงชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX 1 มิลลิลิตรต่อลิตร....98
4.24 ข เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณคลอไรด์ ( $Cl^-$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX 2 มิลลิลิตรต่อลิตร....98
4.25 เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณซัลเฟต ( $SO_4^{2-}$) ในอาหารเลี้ยง เชื้อชนิดเหลว....100

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.26 ก เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณซัลเฟต ( $SO_4^{2-}$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติม
น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron 1 มิลลิลิตรต่อลิตร....100
4.26 ข เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณซัลเฟต ( $SO_4^{2-}$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติม
น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron 2 มิลลิลิตรต่อลิตร....100
4.27 ก เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณซัลเฟต ( $SO_4^{2-}$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว
ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX 1 มิลลิลิตรต่อลิตร....101
4.27 ข เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณซัลเฟต ( $SO_4^{2-}$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติม
น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX 2 มิลลิลิตรต่อลิตร....101
4.28 เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณฟอสเฟต ( $PO_4^{3-}$) ในอาหารเลี้ยง เชื้อชนิดเหลว....102
4.29 ก เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณฟอสเฟต ( $PO_4^{3-}$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติม
น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron 1 มิลลิลิตรต่อลิตร....102
4.29 ข เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณฟอสเฟต ( $PO_4^{3-}$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติม
น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron 2 มิลลิลิตรต่อลิตร....102
4.30 ก เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณฟอสเฟต ( $PO_4^{3-}$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติม
น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX 1 มิลลิลิตรต่อลิตร....103
4.30 ข เปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณฟอสเฟต ( $PO_4^{3-}$) ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่เติม
น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX 2 มิลลิลิตรต่อลิตร....103
ก.1 *Pseudomonas putida* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Blood agar และ Tryptic soy agar บ่มที่อุณหภูมิ
37 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง....122
ก.2 *Bacillus subtilis* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Blood agar และ Tryptic soy agar บ่มที่อุณหภูมิ
37 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง....122
จ.1 โครมาโทรแกรม HPLC ของตัวอย่างอาหารชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมัน
หล่อลื่นฯ Esso ultron 2 มิลลิลิตรต่อลิตร....134
จ.2 โครมาโทรแกรม HPLC ของตัวอย่างอาหารชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมัน
หล่อลื่นฯ Esso ultron 2 มิลลิลิตรต่อลิตร และ เชื้อทั้ง 2 ชนิดร่วมกัน เวลา 28 วัน....134
จ.3 โครมาโทรแกรม HPLC ของตัวอย่างอาหารชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมัน
หล่อลื่นฯ Esso ultron 2 มิลลิลิตรต่อลิตร และ *Pseudomonas putida* เวลา 28 วัน....135

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

จ.4 โครมาโทรแกรม HPLC ของตัวอย่างอาหารชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นฯ Esso ultron 2 มิลลิลิตรต่อลิตร และ *Bacillus subtilis* เวลา 28 วัน.....135
จ.5 โครมาโทรแกรม HPLC ของตัวอย่างอาหารชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นฯ Castrol GTX 2 มิลลิลิตรต่อลิตร.....136
จ.6 โครมาโทรแกรม HPLC ของตัวอย่างอาหารชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นฯ Castrol GTX 2 มิลลิลิตรต่อลิตร และเชื้อทั้ง 2 ชนิดร่วมกัน เวลา 28 วัน.....136
จ.7 โครมาโทรแกรม HPLC ของตัวอย่างอาหารชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นฯ Castrol GTX 2 มิลลิลิตรต่อลิตร และ *Pseudomonas putida* เวลา 28 วัน.....137
จ.8 โครมาโทรแกรม HPLC ของตัวอย่างอาหารชนิดเหลว MBM ที่เติมน้ำมันหล่อลื่นฯ Castrol GTX 2 มิลลิลิตรต่อลิตร และ *Bacillus subtilis* เวลา 28 วัน.....137