

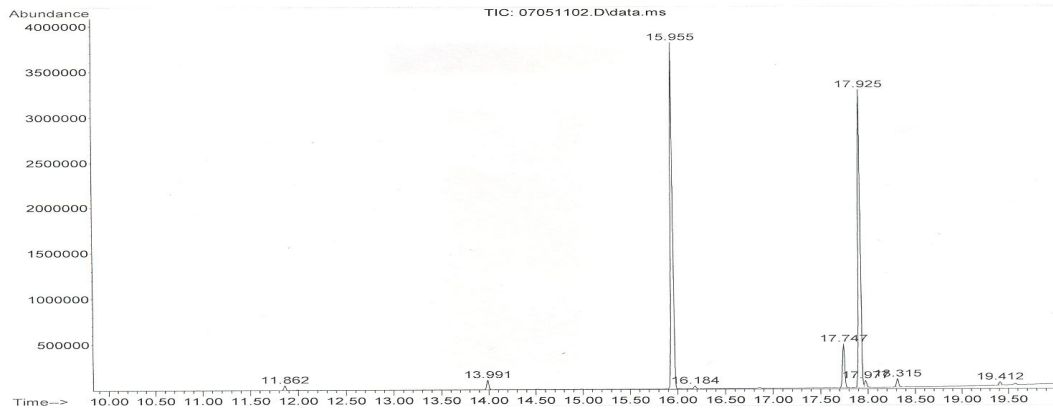
บทที่ 4

ผลการวิจัย

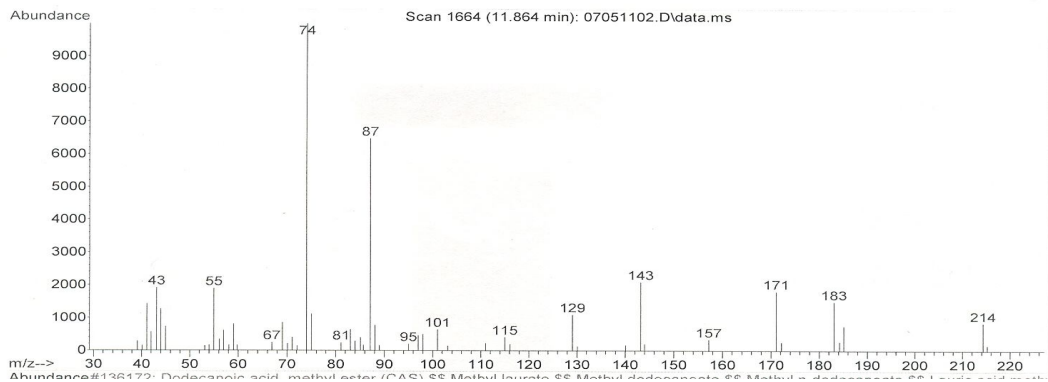
น้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบ ด้วยวิธีGC-MS พบว่าประกอบด้วยกรดไขมันหลายชนิด ได้แก่ กรดลอริก กรดไมริสติก กรดพาล์มิทิก กรดพาล์มิทอเลอิก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก กรดไลโนเลอิก และกรดไอโคซานอิก ไลเปสจากยางมะละกอดูถูกแยกออกจากสารละลายนี้ ภายหลังทำให้แห้ง ศึกษารวสอบคุณสมบัติเบื้องต้น เช่น อุณหภูมิและพีเอชที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันที่เหลือจากการทอด อาหาร จากนั้นไลเปสแห้งถูกปรับปรุงความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ในไอโซโพรพานอล 3 ชั่วโมง และตามด้วยน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารอีก 3 ชั่วโมง ซึ่งสามารถช่วยให้ไลเปสเร่งปฏิกิริยาเมทานอไลซิสของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารได้ดีขึ้น แล้วตรวจสอบสถานะที่ เหมาะสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซล และการนำไปโอดีเซลที่ผลิตได้ไปทดลองใช้กับเครื่องยนต์ความเร็วรอบต่ำ

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบในน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร

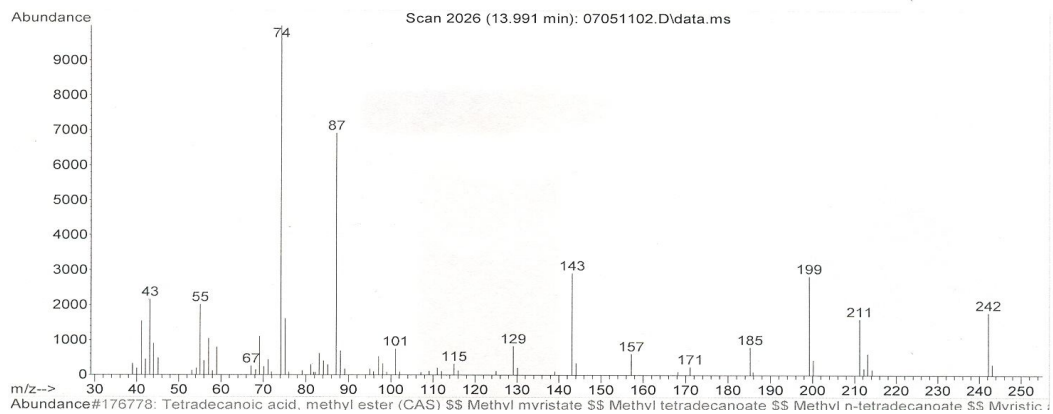
น้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารหลังจากกรองเอาตะกอนออกแล้ว เมื่อนำมาทำปฏิกิริยาเคมี (saponification) กับด่าง จะได้เกลือของกรดไขมัน ซึ่งเปลี่ยนให้เป็นเมซิลเอสเทอร์ของกรดไขมันโดยใช้โบรอนไตรฟลูออไรด์-เมทานอล จากนั้นแยกผลิตภัณฑ์เมซิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นออกจากสารละลายปฏิกิริยาด้วย TLC แล้วนำไปวิเคราะห์หาชนิดของเมซิลเอสเทอร์โดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปคโทเมตรี ได้ผล GC โครมาโตแกรมดังรูป 4.1 ซึ่งเมซิลเอสเทอร์แต่ละชนิดที่ปรากฏใน GC โครมาโตแกรม มี MS สเปคตรัม ดังรูป 4.2 ก-ซ ตำแหน่งของเมซิลเอสเทอร์ 8 ชนิดที่ปรากฏใน GC โครมาโตแกรม ได้สรุปไว้ในตาราง 4.1 จากรูป 4.2 ก-ซ ได้ค่า Molecular ion และ m/e ที่สำคัญๆ ของเอสเทอร์ทั้ง 8 ชนิด ดังแสดงในตารางเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบ GC โครมาโตแกรมและ MS สเปคตรัมของเมซิลเอสเทอร์ที่สกัดได้กับ MS สเปคตรัมของสารมาตรฐานเมซิลเอสเทอร์ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารประกอบด้วยกรดไขมันหลายชนิดคือ กรดลอริก กรดไมริสติก กรดพาล์มิทิก กรดพาล์มิทอเลอิก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก กรดไลโนเลอิก และกรดไอโคซานอิก โดยพบปริมาณของกรดพาล์มิทิกและกรดโอเลอิกมากกว่ากรดชนิดอื่น (ตาราง 4.2)



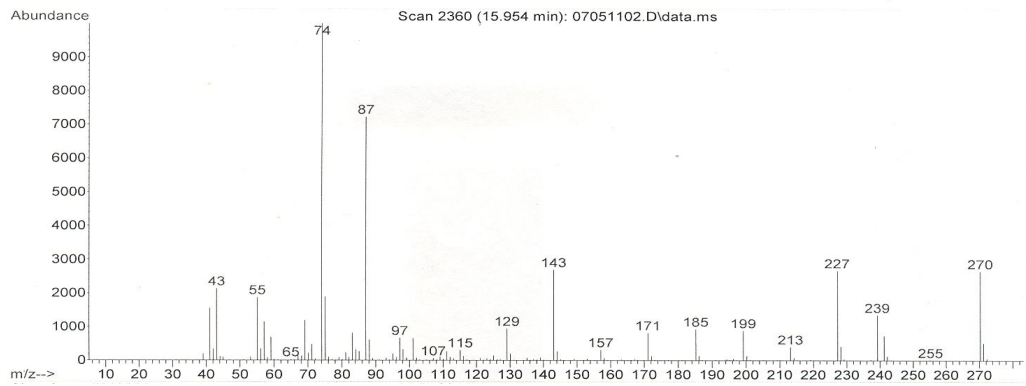
รูป 4.1 GC โครมาโตแกรมของเมธิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเคมีของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร



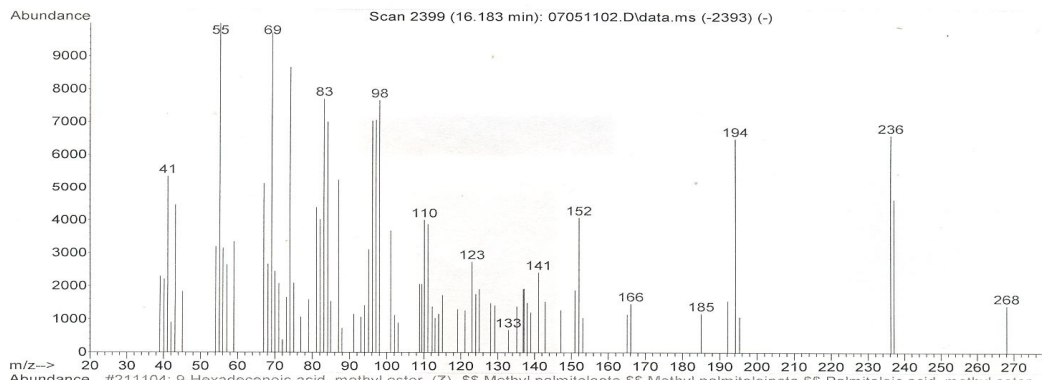
รูป 4.2 ก MS สเปกตรัมของพิกที่ RT 11.864 นาที



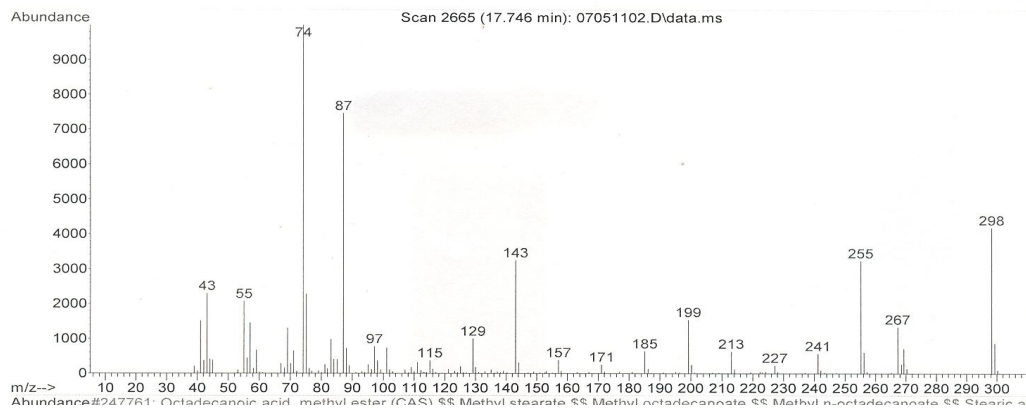
รูป 4.2 ข MS สเปกตรัมของพิกที่ RT 13.991 นาที



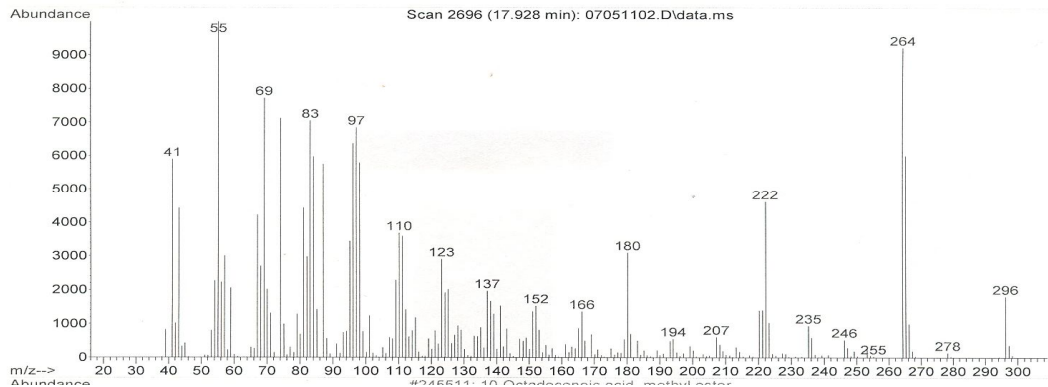
รูป 4.2 ค MS สเปกตรัมของพีคที่ RT 15.954 นาที



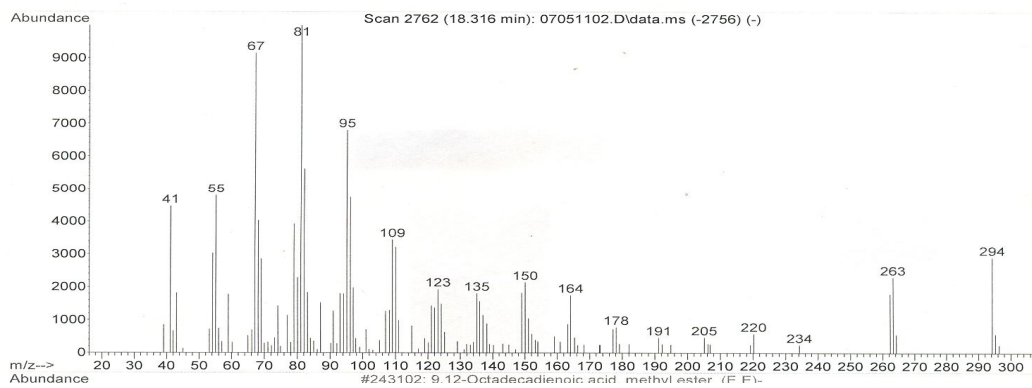
รูป 4.2 ง MS สเปกตรัมของพีคที่ RT 16.183 นาที



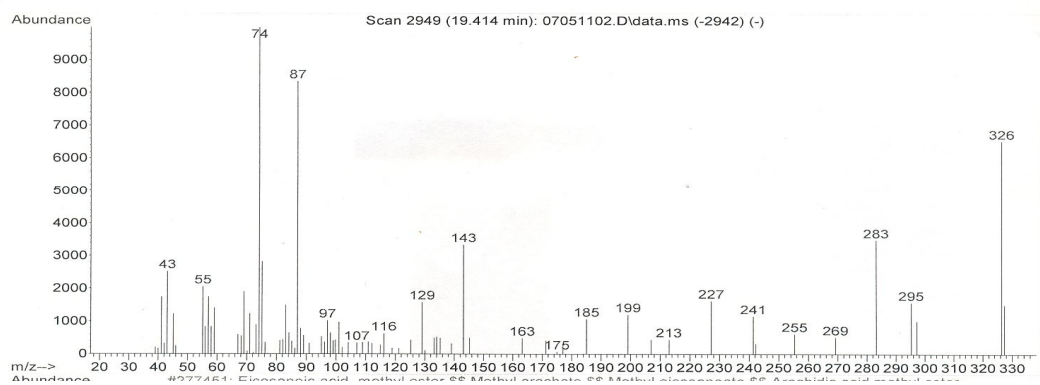
รูป 4.2 จ MS สเปกตรัมของพีคที่ RT 17.746 นาที



รูป 4.2 ฉ MS สเปกตรัมของพีคที่ RT 17.928 นาที



รูป 4.2 ช MS สเปกตรัมของพีคที่ RT 18.316 นาที



รูป 4.2 ซ MS สเปกตรัมของพีคที่ RT 19.414 นาที

ตาราง 4.1 Retention time, Molecular ion และ m/e ที่สำคัญของเมธิลเอสเทอร์ซึ่งได้จากการทำปฏิกิริยาเคมีของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร

Retention time (นาที)	MS สเปกตรัม (รูป)	M ⁺	m/e ของ fragments ที่สำคัญ	ชนิดเมธิลเอสเทอร์
11.864	4.2 ก	214	74, 87, 143, 171	เมธิลลอเรน
13.991	4.2 ข	242	74, 87, 143, 199	เมธิลไมริสเตท
15.954	4.2 ค	270	74, 87, 143, 227	เมธิลปาล์มมิเตท
16.183	4.2 ง	268	55, 69, 83, 98	เมธิลปาล์มมิโทลิเอท
17.746	4.2 จ	298	74, 87, 143, 255	เมธิลสเตียเรท
17.928	4.2 ฉ	296	55, 41, 69, 83	เมธิลโอลีเอต
18.316	4.2 ช	294	81, 67, 95, 55	เมธิลไลโนลิเอท
19.414	4.2 ซ	326	74, 87, 143, 283	เมธิลไอโคซานเอต

ตาราง 4.2 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร

กรดไขมัน	ปริมาณ (%)
กรดลอริก	0.60
กรดไมริสติก	1.23
กรดพาล์มมิติก	47.22
กรดพาล์มมิโทลิอิก	0.38
กรดสเตียริก	5.84
กรดโอลีอิก	43.00
กรดไลโนลิอิก	1.24
กรดไอโคซานอิก	0.49

4.2 ผลผลิตไล่เปสจากยางมะลอะก

ยางมะลอะกสด 100 กรัม ได้มาจากการกรี๊ดผลมะลอะกดิบประมาณ 30 ผล เมื่อทำการแยกตะกอนโดยล้างด้วยน้ำ ากลั้ ๒ ครั้ง และทำการปั่นแยกด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่มีความเร็ว 8,000 รอบ

ต่อมาที่ นาน 10 นาที ได้ตะกอนเปียก 70 กรัม เมื่อนำมาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ได้น้ำหนักแห้ง 0 กรัม การตรวจสอบความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ไลเปสในแต่ละส่วนของยางมะละกอที่แยกได้ โดยการนำไปเร่งปฏิกิริยาที่มีสารละลายผสมของน้ำมันที่เหลือจากการทอดและสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.10 โมลาร์ พีเอช 8 ที่มีโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.15 โมลาร์ อยู่ด้วย ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หลังจากหยุดปฏิกิริยาแล้วไตเตรทสารละลายปฏิกิริยาด้วย 0.1000 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อคำนวณแอกติวิตีของไลเปสดังกล่าวพบ ก ให้ผลดังตาราง 4.3 พบว่าไลเปสที่เตรียมได้มีแอกติวิตีเหลืออยู่ 70%

ตาราง 4.3 น้ำหนักและแอกติวิตีของไลเปสที่เตรียมได้

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ไฮโดรไลซิสแอกติวิตี (ยูนิต/กรัม)	แอกติวิตีทั้งหมด (ยูนิต)	แอกติวิตีที่เหลือ (%)
ยางมะละกอสด	100	62 ± 35	6200	100
ตะกอนเปียก	70	284 ± 55	4828	78
ตะกอนแห้ง	10	425 ± 40	4250	68

4.3 คุณสมบัติของไลเปส

ในการนำยางมะละกอล้างด้วยน้ำ ล้าง 3 ครั้ง แล้วนำไปหมუნเหี่ยวน้ำให้ได้ส่วนของตะกอนซึ่งเป็นเอนไซม์ไลเปส หลังจากอบที่ 50 องศาเซลเซียสให้แห้งแล้วนำไปตรวจสอบแอกติวิตีนี้ ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารที่ อุณหภูมิ 25 – 60 องศาเซลเซียส และในสารละลายปฏิกิริยาที่มีพีเอช 5 – 9

4.3.1 แอกติวิตีน้ำของไลเปส

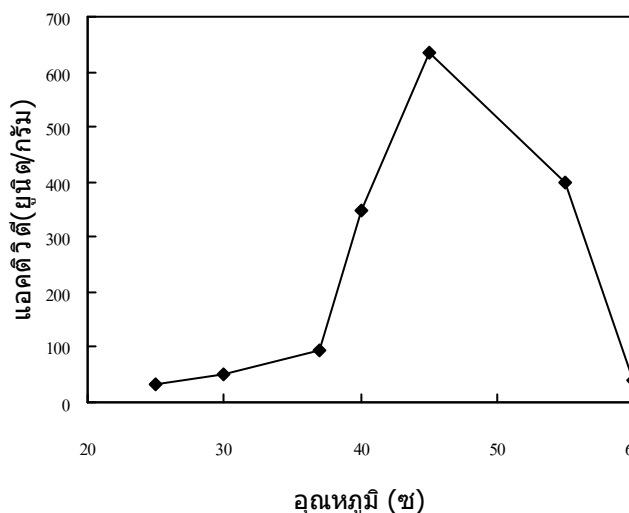
น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์ ในสถานะที่อยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์ ดังนั้นเอนไซม์ที่จะใช้ในปฏิกิริยาที่มีน้ำอยู่น้อยจะต้องทราบปริมาณน้ำในเอนไซม์ ซึ่งโดยทั่วไปควรจะต่ำกว่า 10% โดยน้ำหนักไลเปสจากยางมะละกอที่ถูกทำให้แห้งจึงถูกนำไปหาแอกติวิตีนี้ ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตาราง 4.4 ซึ่งแสดงว่าไลเปสจากยางมะละกอที่เตรียมได้มีแอกติวิตีนี้ เท่ากับ 0.395

ตาราง 4.4 แอคติวิตีน้ำ ของไลเปสที่แยกได้จากยางมะละกอ

ตัวอย่างไลเปส	น้ำหนักไลเปส (มก.)	ความชื้น (%)	แอคติวิตีน้ำ (a_w)
1	100.0	41.2	0.412
2	105.0	41.5	0.415
3	100.0	39.0	0.390
4	100.0	38.1	0.381
5	107.0	42.0	0.420
6	105.0	41.1	0.411
7	100.0	38.5	0.385
8	100.0	36.9	0.369
9	100.0	40.0	0.400
10	100.0	37.0	0.370
เฉลี่ย	101.7	39.5	0.395

4.3.2 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไลเปสจากยางมะละกอ

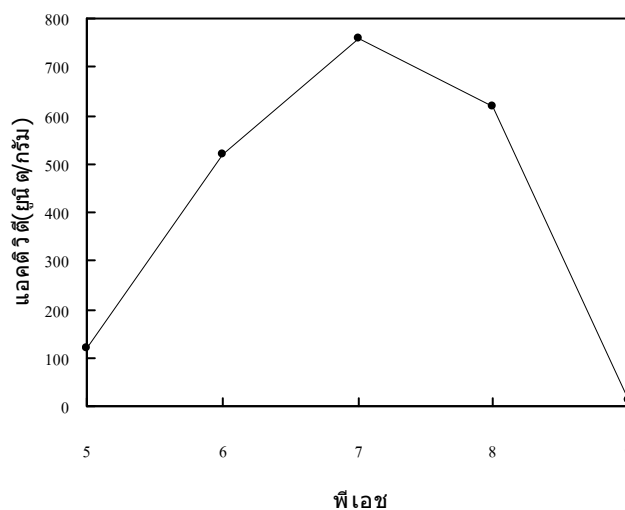
การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารซึ่งเร่งปฏิกิริยาด้วยไลเปสจากยางมะละกอ โดยใช้สารละลายผสมที่ประกอบด้วยน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร และสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์เข้มข้น 0.10 โมลาร์ มีค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเท่ากับ 8 ที่มีโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.15 โมลาร์อยู่ด้วยเป็นสารตั้งต้น หลังจากนำไปป้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 25-60 องศาเซลเซียส แล้วตรวจสอบปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร โดยวิธีไตเตรทสารละลายปฏิกิริยาด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ เมื่อนำไปคำนวณแอคติวิตีของเอนไซม์ดังกล่าวพบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ไลเปสจากยางมะละกามีแอคติวิตีสูงที่สุด (รูป 4.3) และที่อุณหภูมิต่ำกว่า หรือ สูงกว่า 45 องศาเซลเซียส แอคติวิตีของไลเปสจากยางมะละกอจะลดลง



รูป 4.3 แอมิตีวิตีของไลเปสที่อุณหภูมิต่าง ๆ

4.3.3 พืเอชที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไลเปสจากยางมะละกอ

การหาค่าพืเอชที่เหมาะสม สำหรับการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันที่ลือจากการทอดอาหารซึ่งเร่งปฏิกิริยาค้วยไลเปสจากยางมะละกอ โดยใช้สารละลายผสมที่ประกอบด้วยน้ำมันที่ลือจากการทอดอาหาร และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.10 โมลาร์ มีค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายตั้งแต้ 5-9 ซึ่งมีสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.15 โมลาร์อยู่ค้วย เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา หลังจากนั้นไปบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แล้วตรวจสอบปริมาณกรดไขมันอิสระ ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันที่ลือจากการทอดอาหารโดยวิธีไตเตรทสารละลายปฏิกิริยาค้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ เมื่อนำไปคำนวณแอมิตีวิตีของเอนไซม์ดังกล่าวพบว่พืเอช 7 ไลเปสจากยางมะละกอมิแอมิตีวิตีสูงที่สุด (รูป 4.4) และที่ค่าพืเอชของสารละลายปฏิกิริยาน้อยกว่า หรือ มากกว่า 7 ไลเปสจากยางมะละกอแสดงค่าแอมิตีวิตีลดลง



รูป 4.4 แอดดิวิตีของไลเปสจากยางมะละกอที่ค่าฟิชเลขต่าง ๆ

4.4 ผลการปรับปรุงความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเมทานอลิซิสของไลเปสจากยางมะละกอ

เมื่อใช้ไลเปสแห้งที่แยกจากยางมะละกอ เร่งปฏิกิริยาเมทานอลิซิสของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเป็นเมทิลเอสเทอร์เพียง 10% ดังนั้นจึงมีการแก้ไขเพื่อให้ได้ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น โดยการแช่เอนไซม์ในไอโซโพรพานอล ซึ่งจะช่วยกำจัดน้ำในเอนไซม์ได้อย่างรวดเร็ว ด้วยกลไกที่ไม่ทำให้เกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติและทำให้โมเลกุลส่วนมากของเอนไซม์มีประสิทธิภาพคงอยู่ ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทดลองปรับปรุงแอดดิวิตีของเอนไซม์ 2 วิธี คือ (1) การแช่เอนไซม์ในไอโซ-โพรพานอลนาน 3 ชั่วโมง แล้วตามด้วยการแช่น้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร อีก 3 ชั่วโมง (2) แช่เอนไซม์ในไอโซ-โพรพานอลนาน 3 ชั่วโมง แล้วตามด้วยการแช่ในเมทิลโอเลตอีก 1 ชั่วโมง ผลปรากฏว่าไลเปสจากยางมะละกอที่แช่ในไอโซ-โพรพานอลแล้วตามด้วยน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเมทานอลิซิสได้ดี ที่สุด (ตาราง 4.5) สามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้ถึง 50% รองลงมาคือไลเปสที่แช่ในไอโซ-โพรพานอลแล้วตามด้วยเมทิลโอเลต และไลเปสที่แช่ในไอโซ-โพรพานอลเพียงอย่างเดียว

ตาราง 4.5 ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากเมทานอลไลซีสของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารซึ่งเร่งด้วยไลเปสจากยางมะละกอที่ปรับปรุงแอกติวิตีด้วยวิธีต่าง ๆ

การปรับปรุงแอกติวิตีของเอนไซม์	ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ (%)
ไลเปสจากยางมะละกอแช่ในไอโซโพรพานอล 3 ชั่วโมง	30.0
ไลเปสจากยางมะละกอแช่ในไอโซโพรพานอล 3 ชั่วโมง + น้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร 1 ชั่วโมง	50.0
ไลเปสจากยางมะละกอแช่ในไอโซโพรพานอล 3 ชั่วโมง + เมทิลโอเลต 1 ชั่วโมง	35.0

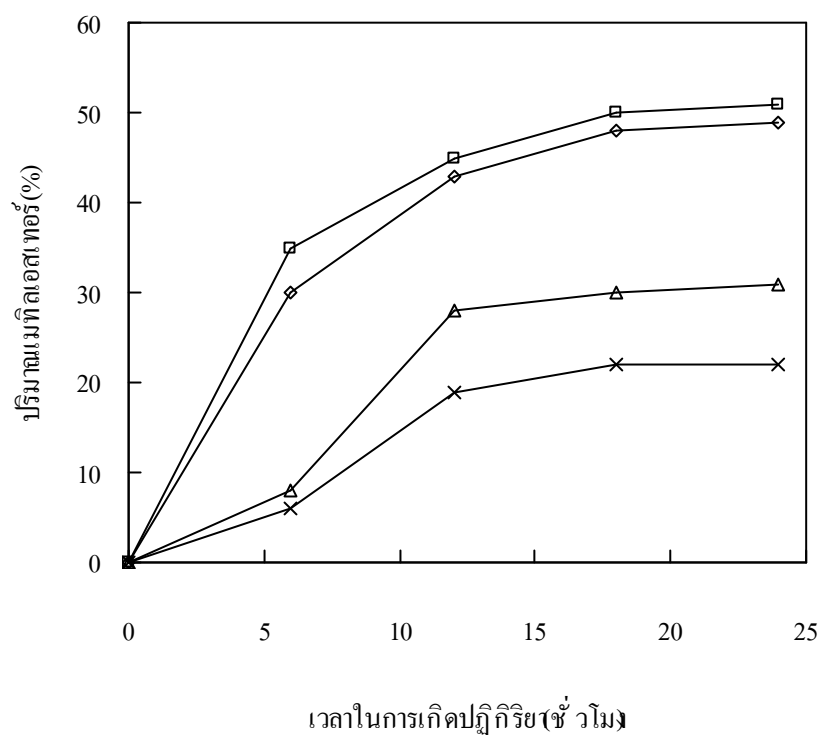
4.5 ผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์โดยไลเปสจากยางมะละกอ

การหาสถานะที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาเมทานอลไลซีสของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารโดยไลเปสจากยางมะละกอที่ผ่านการปรับปรุงแอกติวิตี โดยแช่ในไอโซ-โพรพานอล 3 ชั่วโมง และ เมทิลโอเลต 1 ชั่วโมง จะช่วยให้ได้สถานะที่จะทำให้ได้เมทิลเอสเทอร์มากที่สุด

4.5.1 อัตราส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมของสับสเตรท

เนื่องจากตามทฤษฎีอัตราส่วนของน้ำมันต่อเมทานอล ที่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลไลซีสคือ 1: 3 ดังนั้นอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารตั้งแต่ 3-6 โมล จึงถูกศึกษา เพื่อดูผลกระทบของเมทานอลต่อแอกติวิตีของไลเปสจากยางมะละกอ จากรูป 4.5 จะเห็นได้ว่าการใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารต่างกัน ทำให้ไลเปสจากยางมะละกอทำงานได้แตกต่างกันเมื่ออัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารเพิ่มขึ้นจาก 3 ถึง 4 เท่า พบว่าร้อยละผลผลิตของเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเมทานอลไลซีสเพิ่มขึ้นในปริมาณใกล้เคียงกัน โดยพบปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุดเมื่อใช้เมทานอลเป็น 4 เท่า ของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร เมื่ออัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารเพิ่มขึ้นจาก 4 เท่า ไปจนถึง 6 เท่า พบว่าร้อยละผลผลิตของเมทิลเอสเทอร์ลดลง โดยเฉพาะที่อัตราส่วนเมทานอลเป็น 6 เท่าของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร ร้อยละผลผลิตของเมทิลเอสเทอร์ลดลงเหลือประมาณ 20% ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไป

จะเลือกใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารที่ 4 : 1 เนื่องจากไลเปสจากยางมะละกอสามารถเร่งปฏิกิริยามะทานอไลซิสแล้วให้ผลผลิตมากที่สุด

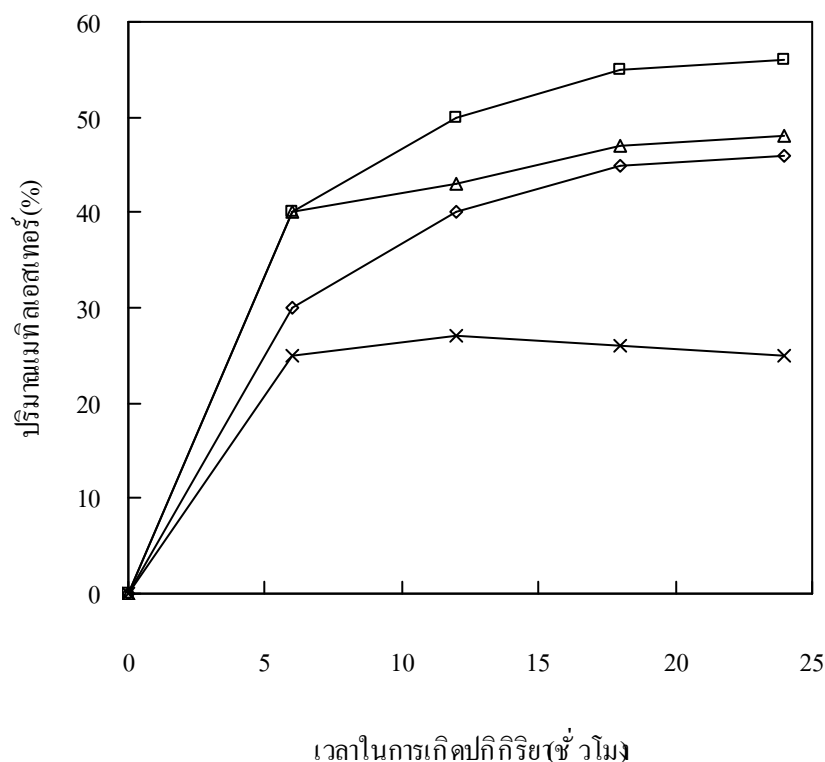


รูป 4.5 ร้อยละผลผลิตของเมทิลเอสเทอร์จากเมทานอไลซิสของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร ซึ่งใช้ปริมาณโดยโมลของเมทานอลเป็น 3 เท่า (◇), 4 เท่า (□), 5 เท่า (△) และ 6 เท่า (×) ของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร

4.5.2 อุณหภูมิที่เหมาะสม

อุณหภูมิของปฏิกิริยามีอิทธิพลต่อแอกติวิตีและความเสถียรของเอนไซม์ ดังนั้นการเร่งปฏิกิริยามะทานอไลซิสของไลเปสจากยางมะละกอจึงถูกศึกษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ตั้งแต่ 30 – 60 องศาเซลเซียส จากผลการทดลอง (รูป 4.6) พบว่าเมื่ออุณหภูมิของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 30 – 40 องศาเซลเซียส ร้อยละผลผลิตเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจาก 30% – 56% โดยที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุดคือ ร้อยละ 56 ที่เวลา 24 ชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

จาก 40 – 60 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ลดลง และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์เพียง 25%

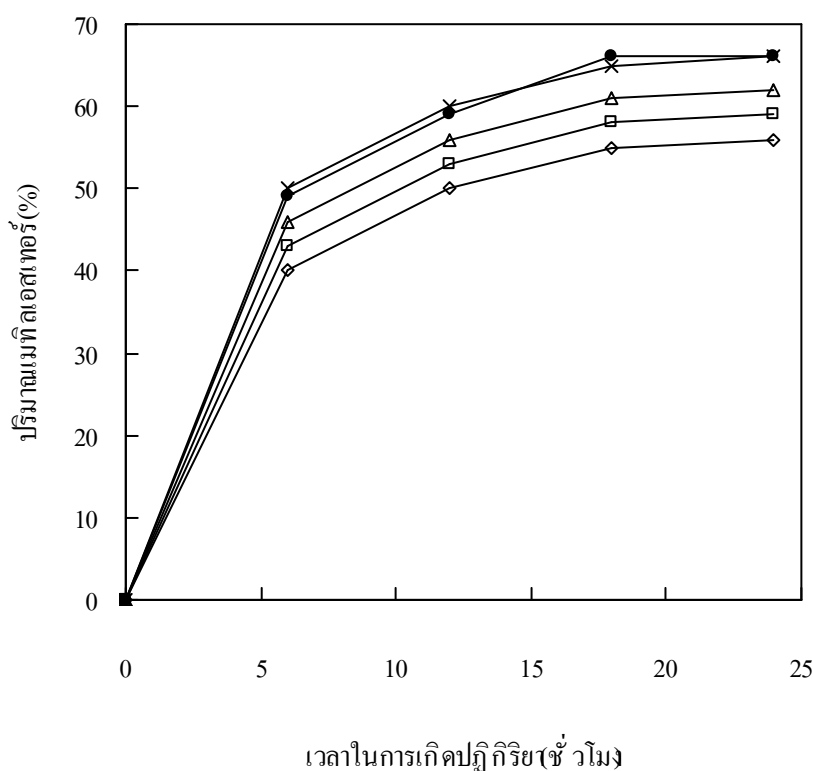


รูป 4.6 ร้อยละผลผลิตของเมทิลเอสเทอร์จากเมทานอลิซิสของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร ที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 30 (◇), 40 (□), 50 (△) และ 60 (×) องศาเซลเซียส

4.5.3 ปริมาณไลเปสจากยางมะละกอที่เหมาะสม

การใช้ปริมาณไลเปสจากยางมะละกอที่แตกต่างกันเร่งปฏิกิริยาเมทานอลิซิสของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร แล้วทำให้ได้ผลผลิตของเมทิลเอสเทอร์ในปริมาณที่แตกต่างกัน รูป 4.7 แสดงให้เห็นว่าการใช้ไลเปสจากยางมะละกอในปริมาณน้อยจะทำให้ได้ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์น้อยตามไปด้วยเมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์ขึ้น พบว่าร้อยละผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ของปฏิกิริยาก็เพิ่มขึ้นด้วย โดยปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ร้อยละ 2 และ 2.5 โดยน้ำหนักของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารสามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้ในปริมาณสูงถึงร้อยละ 65-66 ภายในเวลาเพียง 18

ชั่วโมงและถึงแม้ว่าจะใช้ปริมาณเอนไซม์ 2.5% โดยน้ำหนักของน้ำมันที่เหลือจากการทอดที่ไม่ได้ทำให้ได้ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจะเลือกใช้ไลเปสจากยางมะละกอในปริมาณ 2% โดยน้ำหนักของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารเพื่อประหยัดปริมาณของเอนไซม์

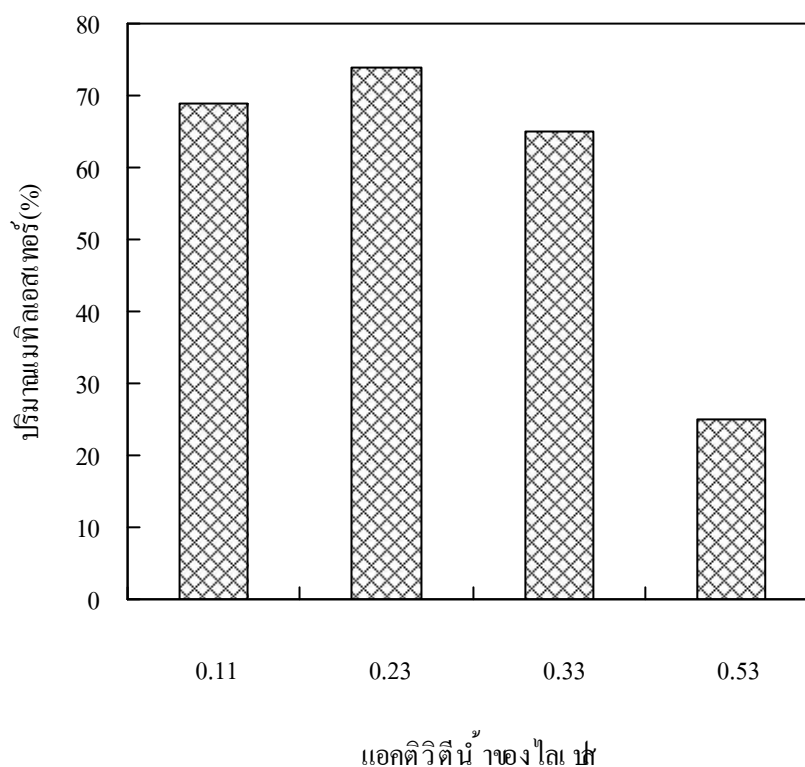


รูป 4.7 ร้อยละผลผลิตของเมทิลเอสเทอร์ จากเมทานอลซิสของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารเมื่อใช้ไลเปสจากยางมะละกอเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 0.5% (◇), 1.0% (□), 1.5% (△), 2.0% (×) และ 2.5% (●) โดยน้ำหนักของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร

4.5.4 อธิพลของแอกติวิตีน้ำของเอนไซม์

ปริมาณน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเร่งปฏิกิริยาในตัวกลางที่ไม่มีน้ำของเอนไซม์ไลเปสเพราะเอนไซม์ต้องการปริมาณน้ำจำนวนหนึ่ง ซึ่งไม่มากในการรักษาโครงสร้างของเอนไซม์ไว้ไม่ให้เสียสภาพไปเมื่ออยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์ ถ้าในปฏิกิริยามีปริมาณน้ำมากเกินไปจะทำให้

เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันมากกว่า ที่จะเกิดปฏิกิริยาเมทานอลิซิส ดังนั้นปริมาณแอกติวิติน้ำของไลเปสจากยางมะละกอที่เหมาะสมสำหรับเร่งปฏิกิริยาเมทานอลิซิสจึงถูกศึกษา โดยการทำให้ไลเปสจากยางมะละกอมีปริมาณแอกติวิติน้ำเท่ากับ 0.11, 0.23, 0.33 และ 0.53 แล้วนำไปเร่งปฏิกิริยาเมทานอลิซิสของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร ซึ่งมีอัตราส่วนของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารต่อเมทานอลเท่ากับ 1: 4 เป็นสัดส่วนตรง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมงผลการทดลองแสดงดังรูป 4.8 จะเห็นได้ว่าการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลิซิสของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารขึ้นอยู่กับ ปริมาณแอกติวิติน้ำของเอนไซม์ โดยร้อยละผลผลิตของเมทิลเอสเทอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแอกติวิติน้ำเพิ่มขึ้นจาก 0.11 – 0.23 เมื่อไลเปสจากยางมะละกอที่ใช้มีปริมาณแอกติวิติน้ำเท่ากับ 0.23 จะทำให้เกิดเมทิลเอสเทอร์ในปริมาณมากที่สุดคือร้อยละ 74 แต่เมื่อปริมาณแอกติวิติน้ำของเอนไซม์ มากกว่า 0.23 จะทำให้ผลผลิตของเมทิลเอสเทอร์ลดลงอย่างรวดเร็ว



รูป 4.8 ร้อยละผลผลิตของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากเมทานอลิซิสของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารซึ่งเร่งด้วยไลเปสจากยางมะละกอที่มีปริมาณแอกติวิติน้ำต่าง ๆ กัน

4.5.5 อิทธิพลของตัวทำละลายอินทรีย์

จากตาราง 4.6 จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยามะทานอไลซิสของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารซึ่งเร่งด้วยไลเปสจากยางมะละกอ ที่ไม่มีตัวทำละลายอินทรีย์ พบปริมาณเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 74 ขณะที่ปฏิกิริยาซึ่งเกิดขึ้นในระบบที่มีตัวทำละลายอินทรีย์ต่างชนิดกันมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้แตกต่างกัน โดยได้ผลผลิตของเมทิลเอสเทอร์สูงสุดคือ ร้อยละ 80 ในระบบที่มีเฮกเซนและเฮพเทนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ ระบบที่มีเทอร์-บิวทานอลให้ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์เท่ากับระบบที่ไม่เติมตัวทำละลายอินทรีย์ ในขณะที่ระบบซึ่งมีไดเอทิลอีเธอร์เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ ทำให้ได้ผลผลิตต่ำที่สุดคือ ร้อยละ 20

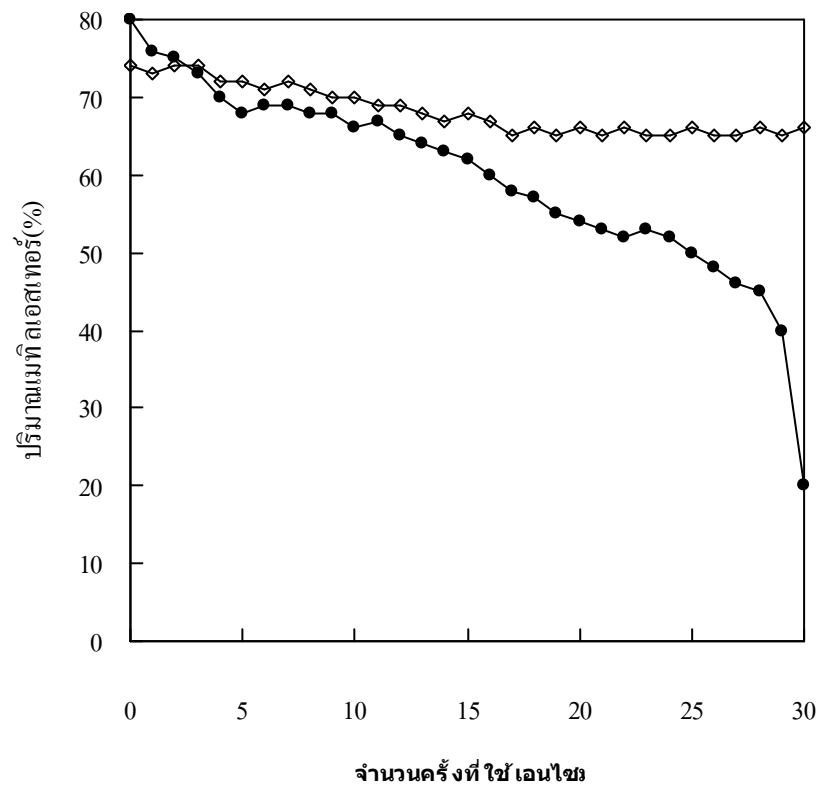
ตาราง 4.6 ร้อยละผลผลิตของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากเมทานอไลซิสของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร ในระบบที่มีตัวทำละลายอินทรีย์แตกต่างกัน

ชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์	Log P	ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (%) \pm SD
ไม่มีตัวทำละลายอินทรีย์	-	74 \pm 1.5
เทอร์-บิวทานอล	0.79	74 \pm 1.8
เฮกเซน	3.50	80 \pm 1.3
เฮพเทน	4.00	80 \pm 1.0
ไดเอทิลอีเธอร์	0.89	20 \pm 0.9

4.6 ผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพของเอนไซม์ที่ใช้แล้ว

การใช้เอนไซม์เร่งปฏิกิริยามะทานอไลซิสของน้ำมันเพื่อผลิตไบโอดีเซลในระดับอุตสาหกรรมยังไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากเอนไซม์ไลเปสมีราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นการนำไลเปสที่เร่งปฏิกิริยาแล้วกลับมาใช้อีก จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิต ในงานวิจัยนี้ได้ทำการนำไลเปสจากยางมะละกอที่เร่งปฏิกิริยามะทานอไลซิสของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารแล้วเป็นเวลา 24 ชั่วโมงทั้งที่ใช้ในระบบที่มีเฮกเซนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ผสม และไม่มีตัวทำละลายอินทรีย์ กลับมาเร่งปฏิกิริยามะทานอไลซิสซ้ำอีก 30 ครั้ง เพื่อศึกษาความเสถียรของไลเปสจากยางมะละกอ ผลการทดลองแสดงดังรูป 4.9 จะเห็นได้ว่าไลเปสจากยางมะละกอมีความเสถียรในปฏิกิริยามะทานอไลซิสของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารในระบบที่ไม่มีตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดีกว่าปฏิกิริยามะทานอไลซิสในระบบที่มีเทอร์-บิวทานอล เป็นตัวทำละลายร่วม โดยผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ยังคงผลิตได้ประมาณร้อยละ 66 เมื่อใช้เอนไซม์ซ้ำไปแล้ว 30 ครั้ง ในขณะที่ระบบที่มี

เทอร์-บิวทานอลเป็นตัวทำละลายร่วมพบว่าผลผลิตเมทิลเอสเทอร์เริ่มลดลงตั้งแต่การใช้เอโนไซม์ซ้ำ ในครั้งที่ 2 แล้วลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งการใช้ซ้ำครั้งที่ 30 ทำให้ได้ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์เพียง 20%



รูป 4.9 ร้อยละผลผลิตของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้เอโนไซม์ซ้ำ 30 ครั้ง ในการเร่งปฏิกิริยามทานอลไลซิสของน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหารในระบบที่มีเทอร์บิวทานอล เป็นตัวทำละลายร่วม (●) และไม่มีตัวทำละลายร่วม (◊)

4.7 ผลของการทดลองใช้ไบโอดีเซล

จากการทดลองผสมไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากห้องปฏิบัติการ กับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วน 20 : 80 โดยปริมาตร แล้วนำมาทดลองใช้กับเครื่องยนต์ยี่ห้อ ยี่ห้อ ขนาด 7 แรงม้า โดยไม่มีการตัดแปลงเครื่องยนต์ในระยะสั้น ผลการทดลองพบว่า เครื่องยนต์ใช้งานได้ดี ติดเครื่องได้ง่าย เกิดการสันดาปได้อย่างต่อเนื่อง และไม่เกิดปัญหาเครื่องยนต์เดินสะดุดที่รอบต่ำ จากการวัดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เมื่อใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ขึ้นผสมกับน้ำมันดีเซล (20 : 80) กับเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบสูงสุด 2,400 รอบต่อนาที พบว่ามีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 1.97 ลิตรต่อชั่วโมง ขณะที่น้ำมันดีเซลที่ขายในท้องตลาด มีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 2.09 ลิตรต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 20 : 80 ทำให้ประหยัดการใช้น้ำมันดีเซลได้ถึง 0.12 ลิตรต่อชั่วโมง