บทที่ 3
วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว แสดงดังรูป 3.2

3.1 การกำจัดน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ที่ใช้งานแล้ว

จากเอกสารอ้างอิง[5.21] ได้รายงานไว้ว่าในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วนั้น จะมีน้ำผสมอยู่ด้วย ดังนั้นในการทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้วจึงมีการกำจัดน้ำออกก่อน ซึ่งในการทดลองนี้ทำการกลั่นน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว โดยให้ความร้อนตั้งแต่ 100^{0}C-150^{0}C พบว่ามีไอน้ำเล็กน้อยที่เกาะอยู่ ในภาชนะที่ใส่น้ำมันหล่อลื่นซึ่งไม่สามารถแยกออกมาได้ ซึ่งน้ำที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในน้ำมันหล่อนั้น อาจมาจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

1. ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น อาจมีน้ำที่ติดอยู่ในภาชนะรองรับ หรือจากสิ่งแวดล้อมรอบข้าง เช่น ฝนตกอาจทำให้เกิดไอน้ำกระเด็นในภาชนะรองรับที่ถ่ายน้ำมันหล่อลื่นได้

2. จากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้เกิดน้ำขึ้นและอาจมีไอน้ำบางส่วนที่เข้ามาผสมอยู่ในห้องเครื่องโดยลอดผ่านแหวนลูกสูบ

3. จากการควบแน่น[2] คือ เครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ทำงานที่อุณหภูมิต่ำเกินไปเป็นเวลานาน ๆ หรือเกิดจากการรั่วของระบบหล่อเย็น

สำหรับวิธีการทดสอบหาปริมาณน้ำโดยใช้วิธี ASTM D 95 ซึ่งมีเกณฑ์กำหนดปริมาณในตาราง 3.1 สำหรับน้ำมันที่ยังไม่ได้ใช้งานและน้ำมันที่ทำการปรับปรุงแล้วเมื่อนำมากลั่น พบว่าไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ

ตารางที่ 3.1 เกณฑ์กำหนดปริมาณน้ำโดยทั่วไป เป็น%

น้ำมันหล่อลื่น	เกณฑ์การเปลี่ยนแปลง	
	เริ่มระวัง	ควรเปลี่ยนถ่าย
HIGHT SPEED DIESEL ENGINE	0.2	0.5
MEDIUM SPEED DIESEL ENGINE	0.2	0.5
GAS ENGGINES (SAE GRADE)	0.2	0.5
GAS TURBINES (ISO VG GRADE)	0.1	0.2
COMPRESSOR (SAE GRADE)	0.2	0.5
HYDRAULIC SYSTEMS	0.1	0.5
GEARDDOXES	0.5	1.0

3.2 การกำจัดสิ่งสกปรก และปรับปรุงสีในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

เมื่อนำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วมากำจัดสิ่งสกปรกโดยการทำให้ตกตะกอนด้วยสารละลาย ethyl acetate พบว่าตะกอนจะมีลักษณะสีดำ เหนียวหนืดเหมือนยางมะตอยคิดเป็น 21.07% ส่วนสารละลายที่อยู่ด้านบนซึ่งมีสีน้ำตาลเข้ม เมื่อนำมาบำบัดต่อด้วย clay 20% และactivated charcoal 10% ได้สารละลายสีเหลือง ภายหลังการระเหยเอาตัวทำละลายออกได้น้ำมันหล่อลื่นที่ปรับปรุง 71.89% และสีของน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการปรับปรุงจะมีสีที่เข้มกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งาน

เมื่อนำน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการปรับปรุงปรุงแล้วไปตรวจดูว่ามีสิ่งสกปรก เช่น ผงคาร์บอน โดยใช้กล้องจุลทัศน์ถ่ายรูปที่ใช้กำลังขยายในกล้องถ่ายรูป 3.3 เท่าและกำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) 100 เท่า พบว่าไม่มีสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการปรับปรุงเช่นเดียวกันน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งาน แต่ในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วซึ่งมีสีดำจะมีสิ่งสกปรกเป็นจุดสีดำ ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นผงคาร์บอน

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ไปนาน ๆ จะทำให้สีเปลี่ยนเป็นสีดำ เกิดยางเหนียว ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของน้ำมัน เขม่าและฝุ่นผง ซึ่งขั้นตอนในการกำจัดสิ่งสกปรกและปรับปรุงสีในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วแสดงในรูป 3.1

3.3 การตรวจสอบผงโลหะในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

เมื่อนำตะกอนของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่ปนเปื้อนอยู่บนสำลีมาตรวจสอบผงโลหะด้วยวิธีการเผาไหม้ด้วยตะเกียง bunsen และเตาอบที่อุณหภูมิ 800^{0}C โดยศึกษาเทียบกับสำลีบริสุทธิ์ พบว่าสำลีบริสุทธิ์ มีส่วนที่เผาไหม้ไม่หมดคิดเป็น 0.33% ในขณะที่สำลีที่มีตะกอนของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วปนเปื้อน ส่วนที่เผาไหม้ไม่หมดคิดเป็น 11.6% แต่ตะกอนที่ติดอยู่บนสำลีไม่ใช่ปริมาณตะกอนที่แท้จริงทั้งนี้เพราะมีตะกอนบางส่วนที่ติดอยู่บน Silica gel อีกด้วย

ได้นำตะกอนที่ปนเปื้อนอยู่บนสำลี (ที่ไม่ได้นำไปเผา) นำมาวิเคราะห์ด้วย infrared spectroscopy พบว่ามี C-H stretching ที่ 2900 cm^{-1} ดังนั้นตะกอนที่เผาไหม้ไม่หมดคาดว่าอาจมี ส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนเหลืออยู่ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ยืนยันโดยการนำตะกอนส่วนที่เผาไหม้ไม่หมด มาวิเคราะห์ด้วย infrared spectroscopy พบว่า peak ที่ได้ จะไม่ปรากฏ functional group ใดๆ เลย ดังนั้นคิดว่า ตะกอนที่คงเหลืออยู่อาจเป็นผงโลหะซึ่ง ผงโลหะเมื่อเผาไหม้ จะถูก oxidize เป็นโลหะออกไซด์ และโลหะนี้จะเกิดจากการเสียดสีของเครื่องยนต์

3.4 การตรวจสอบหาสิ่งที่ไม่ละลาย[32] (Insoluble)

จากการตรวจสอบดูว่าในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วมีสิ่งสกปรกและสารปนเปื้อนอยู่หรือไม่ซึ่งใช้วิธี ASTM D 893 โดยการนำมาละลายในตัวทำละลาย n-pentane แล้วนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ด้วยความเร็วสูง โดยเทียบกันระหว่างน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว และน้ำมันหล่อลื่นที่เราทำการปรับปรุงแล้วพบว่า น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว จะมีสิ่งตกตะกอนเกิดขึ้น คิดเป็น 14.5 % ซึ่งมีลักษณะเหนียวสีดำ ติดอยู่ที่ก้นหลอด centrifuge ซึ่งสิ่งที่ตกตะกอน คิดว่าอาจเป็น

1. ยางเหนียว
2. เศษโลหะ
3. ฝุ่นผง
4. กากถ่าน เขม่า

ในขณะที่ในน้ำมันหล่อลื่นที่เราทำการปรับปรุงแล้วและน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้ไม่มีตะกอน

3.5 การทดสอบความเป็นกรด (Total Acid Number, TAN)

ทดสอบค่าความเป็นกรดของน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการปรับปรุงเกี่ยวกับน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งานด้วยวิธีการไตเตรตตามวิธี ASTM D 739 โดยใช้สารละลาย standard alcoholic potassium hydroxide ดังนั้นค่าความเป็นกรดที่ได้จะใช้จำนวนมิลลิกรัมของ KOH ต่อน้ำมันหล่อลื่น 1 gm ค่าที่ได้เรียกว่าค่า Total Acid Number (TAN) โดยมาตรฐาน ASTM กำหนดให้ค่า TAN ในน้ำมันหล่อลื่นไม่ควรเกิน 2.5

จากการทดสอบพบว่าค่า TAN ของน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการปรับปรุงแล้วจากปั๊มน้ำมัน, จากอู่ซ่อมรถ, ยี่ห้อ penzoil เป็น 2.02, 1.92 , 1.65 ตามลำดับ ส่วนน้ำมันหล่อลื่นใหม่ยี่ห้อ penzoil เป็น 1.01 ซึ่งค่า TAN ของน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการปรับปรุงแล้วจะมีค่าสูงกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งานแต่ไม่เกินมาตรฐาน ASTM สำหรับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วซึ่งมีสีดำจะไม่สามารถวัดค่า TAN ได้เนื่องจากวิธี ASTM D 739 จะใช้สำหรับน้ำมันที่ไม่ทึบแสง

น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้วที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงซึ่งจากการศึกษาของพิษณุ มอญพันธุ์ ได้รายงานว่าจะมีค่าความเป็นกรดสูง มี pH ประมาณ 5 ซึ่งคาดว่าสภาพความเป็นกรดที่เกิดขึ้นเกิดจากกำมะถันรวมตัวกับออกซิเจนจากอากาศในขณะที่เกิดจากการเผาไหม้เกิดเป็น sulfurdioxide (SO_2) และเมื่อ SO_2 รวมตัวกับน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้แล้วผ่านลงไปในน้ำมันหล่อลื่นในห้องเครื่องซึ่งกำมะถันที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นนั้นเป็นสาเหตุมาจากในกระบวนการผลิตหรือกลั่นน้ำมัน ผู้ผลิตไม่สามารถกำจัดเอากำมะถันออกหมดได้ ดังนั้นจึงทำให้เชื้อเพลิงต่าง ๆ รวมทั้งน้ำมันหล่อลื่น จึงมีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย

องค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำมันดิบ

คาร์บอน	83-90 %
ไฮโดรเจน	10-15%
ออกซิเจน	5 %
กำมะถัน	7 %
ไนโตรเจน	0.5 %
เกลือแร่ (โลหะ)	0.1 %

ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วมีสภาพเป็นกรด แต่ในน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการปรับปรุงแล้วค่า TAN ไม่เกินมาตรฐานอาจเป็นเพราะ ในขั้นตอนการบำบัดด้วย clay และ activated charcoal ซึ่งจะดูดซับความเป็นกรดจากน้ำมันหล่อลื่น จึงทำให้ค่า TAN ที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่เป็นมาตรฐาน

3.6 การทดสอบความหนืด (Viscosity Test)

จากการวัดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นโดยใช้ Saybolt Viscometer พบว่า น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว มีความหนืดจลน์ (kinematic viscosity) สูงมาก เมื่อเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้ โดยมีค่าความหนืดจลน์ที่ 100^0 C เฉลี่ย 25.0 – 28.3 cSt และที่ 40^0 C เฉลี่ย 138.6 – 179.6 cSt สำหรับน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการปรับปรุง มีค่าความหนืดจลน์ ต่ำมากเมื่อเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้โดยมีค่าความหนืดจลน์ที่ 100^0 C เฉลี่ย 8.2 – 8.8 cSt และที่ 40^0 C เฉลี่ย 56.3 – 58.4 cSt ในขณะที่น้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้มีค่าความหนืดจลน์ที่ 100^0 C เฉลี่ย 14.3 – 18.8 cSt ที่ 40^0 C เฉลี่ย 101.8 – 109.0 cSt ซึ่งสรุปดังตาราง 3.2

ตาราง 3.2 ค่าความหนืดจลน์ ของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ชนิดต่าง ๆ

ชนิดน้ำมันหล่อลื่น	ค่าความหนืดจลน์ (Kinematic Viscosity), cSt	
	40^0 C	100^0 C
น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	138.6-179.6	25.0 – 28.3
น้ำมันหล่อลื่นที่ปรับปรุง	56.3 – 58.4	8.2 – 8.8
น้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้	101.8 – 109.0	14.3 – 18.18

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว (มีสีดำ) มีความหนืดสูงอาจเกิดสาเหตุต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. เกิดจากน้ำ, ผงโลหะ, ฝุ่นผงและเขม่า
2. สารเบาระเหยออกไปจากการใช้งานที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน
3. เกิดจากการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนของน้ำมันหล่อลื่นและสิ่งสกปรกทำให้เกิดเป็นลักษณะยางเหนียวสีดำ เหมือนยางมะตอย เป็นตม ซึ่งตมเหล่านี้จะมีลักษณะใกล้เคียงของแข็ง ทำให้ค่า viscosity index (VI) น้ำมันหล่อลื่นที่มีค่า VI สูง จะมีประสิทธิภาพในการหล่อลื่นดี แต่ค่า VI ในลักษณะเช่นนี้ไม่ช่วยลดในการหล่อลื่นดังนั้นจึงอาจทำความเสียหายแก่เครื่องยนต์ได้

น้ำมันหล่อลื่นทำการปรับปรุงนั้นมีความหนืดต่ำ เนื่องจากในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วซึ่งมีความหนืดสูงจากสารที่มีลักษณะยางมะตอย แต่เมื่อนำมาบำบัดโดยการนำมาตกตะกอนด้วย ethyl acetate ส่วนที่เป็นยางมะตอยจะตกตะกอนและสาร polymer ที่เติมในน้ำมันหล่อลื่นในกระบวนการผลิตอาจเสื่อมคุณภาพหรือหมดไปจึงทำให้น้ำมันหล่อลื่นที่ปรับปรุงมีความหนืดต่ำ

น้ำมันหล่อลื่นที่ทำการปรับปรุง (purified) พบว่ามีความหนืดต่ำจึงทำการปรับปรุงด้านความหนืด โดยการเติมสาร polymer คือ polypropylene และ polyisoprene ลงไป

สำหรับ polypropylene ที่ใช้เติมลงไปในน้ำมันหล่อลื่นที่ปรับปรุงแล้ว 0.1 , 0.2 , 0.3, 0.4 และ 0.5 % เมื่อนำมาไปวัดความหนืดพบว่า ค่าความหนืดที่ได้ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งไม่ว่าจะเติม polypropylene 0.3 , 0.4 และ 0.5 % แต่ค่าความหนืดที่ได้จะใกล้เคียงกับ 0.2 % ซึ่งเป็นเพราะ polypropylene ที่เติมลงไป จะเกิดการตกตะกอน หรืออิ่มตัวในสารละลาย เมื่อเพิ่มเกิน 0.2 % ทั้งนี้ไม่ว่าจะเพิ่มปริมาณ polypropylene มากขึ้น แต่ค่าความหนืดที่ได้ก็ไม่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความหนืดจลน์ที่ 100^{0} C เฉลี่ย 14.1 cSt และที่ 40^{0} C เฉลี่ย 95.5 cSt

สำหรับ polypropylene ที่เติมลงไปในน้ำมันหล่อลื่นที่ปรับปรุงแล้วโดยเติม 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 % พบว่าค่าความหนืดจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นยิ่งเติมปริมาณมากขึ้นค่าความหนืดก็เพิ่มมากขึ้นด้วย สรุปได้ดังตาราง 3.3

ตาราง 3.3 ค่าความหนืดจลน์ ของน้ำมันหล่อลื่นที่เติม polypropylene ในอัตราส่วนต่าง ๆ

ชนิดน้ำมันหล่อลื่น	ค่าความหนืดจลน์ (cSt)	
	40 ^{0}C	**100^{0} C**
น้ำมัน + PI 1.0 %	62.3	9.5
น้ำมัน + PI 2.0 %	69.7	11.2
น้ำมัน + PI 3.0 %	84.1	13.7
น้ำมัน + PI 4.0 %	99.6	14.4
น้ำมัน + PI 5.0 %	116.0	16.0
น้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งาน	101.8 – 109.01	14.3 – 18.8

พบว่าปริมาณ polypropylene ที่เติมลงไปในปริมาณ 4.0 – 5.0 % จะทำให้ได้น้ำมันหล่อลื่นที่มีค่าความหนืดจลน์ใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งาน

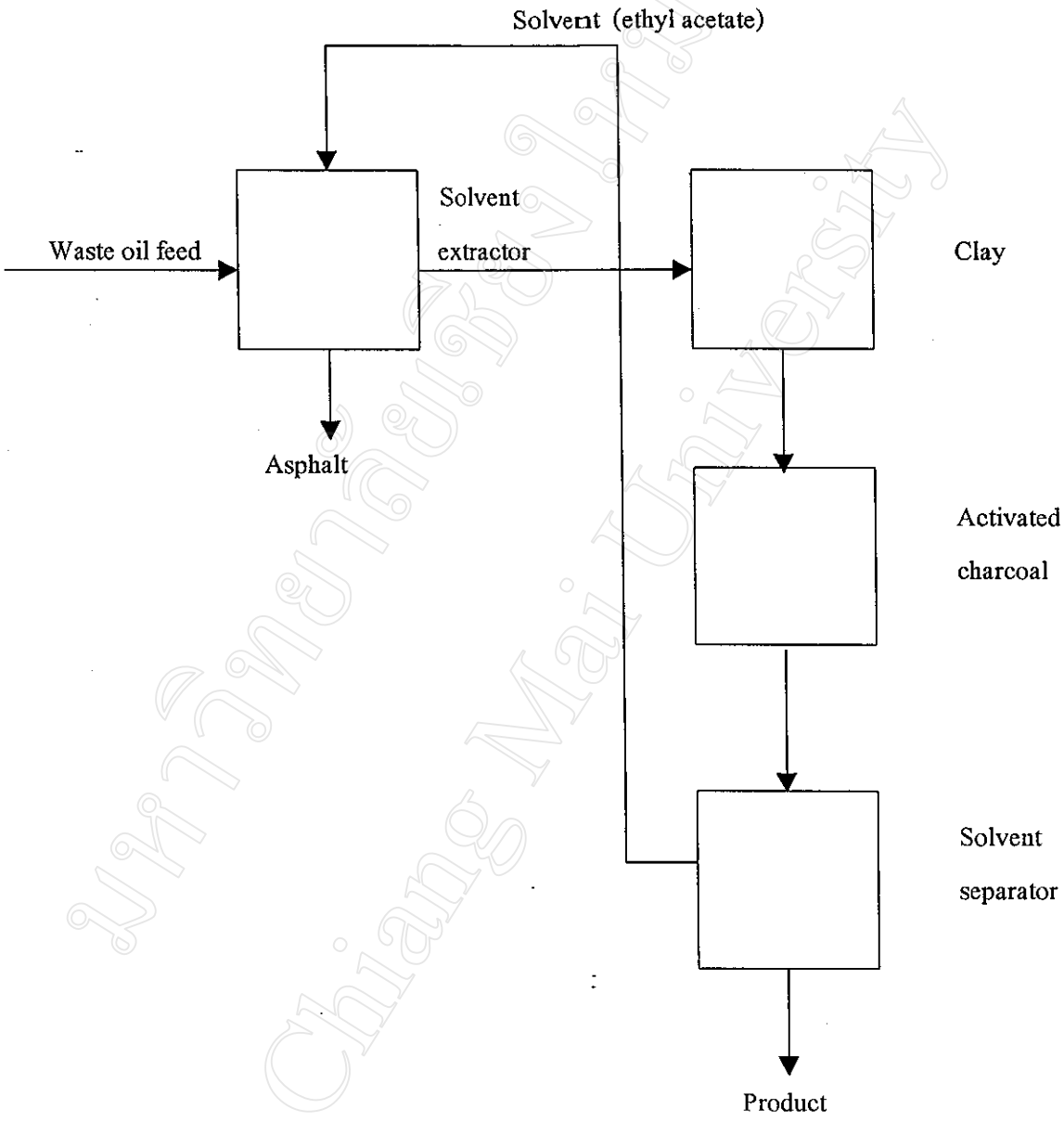
จากการที่เติม polymer ลงไปแล้ว ทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีค่าความหนืดสูงขึ้นเป็นสาเหตุมาจาก polymer ที่เติมลงไปจะเข้าไปรวมตัวกับส่วนปลาย (open chain) ของโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอน ทำให้ได้โมเลกุลที่ยาวและเมื่ออุณหภูมิต่ำ (40^0 C) ค่าความหนืดที่วัดได้จะมีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิสูง (100^0C) ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำ โมเลกุลที่ยาวจะเกิดการหดตัวเป็นกลุ่มก้อนและเมื่ออุณหภูมิสูงโมเลกุลจะคลายตัวออก

3.7 การวิเคราะห์ส่วนประกอบของน้ำมันหล่อลื่นโดยวิธี GC – MS

เมื่อนำน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการปรับปรุง น้ำมันหล่อลื่นที่เติมสาร polymer ลงไปมาวิเคราะห์ถึงส่วนประกอบ โดยเปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้โดยใช้ gas chromatography ซึ่งต่อกับ mass spectrometer พบว่า ในช่วง R.T 1.53 – 13.16 chromatogram ของน้ำมันหล่อลื่นที่เติมสาร polymer ลงไปจะมีลักษณะใกล้เคียงกับ chromatogram ของน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้ ส่วน chromatogram ของน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการปรับปรุง (treated) ในช่วง R.T. 5.49 – 13.16 จะให้ peak ที่มี intensity ต่ำ แต่เมื่อเติมสาร polymer ลงไปจะให้ peak ที่มี intensity สูง ดังนั้นแสดงว่า chromatogram ที่แตกต่างกันของน้ำมันหล่อที่ปรับปรุง, น้ำมันหล่อลื่นที่เติม polymer และน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้น่าจะเป็นผลมาจากสาร polymer ที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่น

ในการทำการวิจัยต่อไปควรมีการทำเป็น pilot plant และคำนวณต้นทุนในการทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีคุณภาพดีขึ้นและควรมีการเตรียม polymer ที่ขนาดของโมเลกุลไม่ใหญ่และสามารถละลายได้ดีในน้ำมันหล่อลื่น

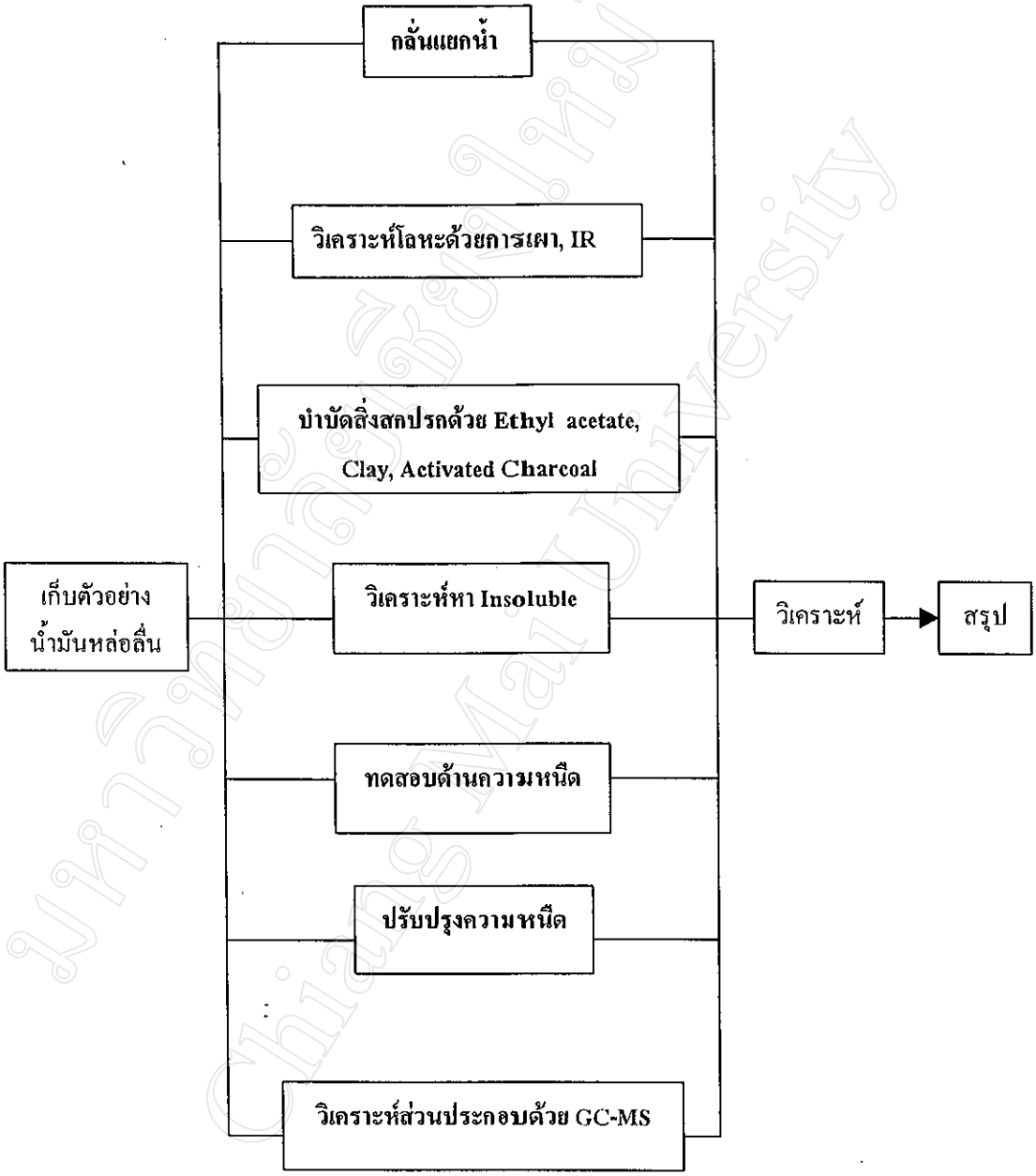
สรุปวิธีการปรับปรุง (Purified) น้ำมันหล่อลื่น ดังรูป 3.1



รูป 3.1 ขั้นตอนการ purified น้ำมันหล่อลื่น

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

สรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยได้ดังรูป 3.2



รูป 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย