

การแยกน้ำมันออกจากปิโตรเลียมแวกซ์
Oil Separation from Petroleum Waxes



ศุภรินทร์ ไชยกลางเมือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง " การแยกน้ำมันออกจากปิโตรเลียมแว็กซ์ " (Oil Separation from Petroleum Waxes) นี้ ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2541 ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณมา ณ. ที่นี้

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายท่านในบางเรื่อง ผู้วิจัยขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. นรินทร์ สิริกุลรัตน์ ซึ่งช่วยเหลือเกี่ยวกับการใช้กล้องขยายเพื่อดูผิวภายนอกของแว็กซ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จริพร สัตยาวิวิฏ และอาจารย์สาธิต ปิไลนยมาศ ที่ให้คำปรึกษาคณะเขาวลิต สโมสรการผล ประชานกรรมการห้างหุ้นส่วนจำกัดชาติปิโตรเคมีคอล บริษัทแสงธรรมจำกัด ศูนย์พัฒนาปิโตรเลียมภาคเหนือ กรมการพลังงานทหาร และกรมทรัพยากรธรณีภาคเหนือ ซึ่งช่วยเหลือเกี่ยวกับตัวอย่างแว็กซ์ - ตัวอย่างวัตถุดิบในการผลิตเทียนไขและข้อมูลจากโรงงานผลิตแว็กซ์และเทียนไข และเครื่องมือบางอย่าง ขอขอบคุณ นายมนตรี หลวงใจ นายฉานเกษม เจริญผล นายฐิติ นพวงศ์ และนางสาวนิธรา ศรีสุวรรณ ที่ได้มีส่วนร่วมในงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้สนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้ด้วยเครื่องและวัสดุบางอย่าง

ศุภรินทร์ ไชยกลางเมือง

ชื่อเรื่องงานวิจัย การแยกน้ำมันออกจากปิโตรเลียมแว็กซ์

ชื่อผู้เขียน ศุภรินทร์ ไชยกลางเมือง

บทคัดย่อ

ปิโตรเลียมแว็กซ์จากจีนและฝาง ปาล์มแว็กซ์ ไมโครแว็กซ์เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเทียนไข ของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กในจังหวัดเชียงใหม่ งานวิจัยได้ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบดังกล่าว คือ ความหนาแน่น ปริมาณน้ำมัน ความหนืด ความขาว และจุดหลอมเหลว จากการทดลองพบว่า ความหนาแน่นของแว็กซ์จากจีน ปาล์มแว็กซ์ ไมโครแว็กซ์ และแว็กซ์จากฝาง (ฟอกสี) มีค่าเท่ากับ 0.5421, 1.2101, 0.8414 และ 0.6495 กรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ ปริมาณน้ำมันในแว็กซ์จากจีนและแว็กซ์จากฝาง (ฟอกสี) มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 4.10 และ 10.44 ความหนืดของแว็กซ์จากจีนและแว็กซ์จากฝาง (ฟอกสี) มีค่าเท่ากับ 0.7936 และ 0.7124 เซนติพอยต์ (ที่ 60 องศาเซลเซียส) ความขาวของแว็กซ์จากจีน ปาล์มแว็กซ์ ไมโครแว็กซ์และแว็กซ์จากฝาง (ฟอกสี) มีค่าร้อยละ 82.30, 68.16, 22.44 และ 67.46 ตามลำดับ ได้ทำการศึกษาหาจุดหลอมเหลวของแว็กซ์โดยวิธีกราฟเย็นตัว และใช้เครื่องหาจุดหลอมเหลวแบบบุชเชอเอ็มพี 20 (Buchi SMP-20 Melting Point Determinater) ซึ่งพบว่าจุดหลอมเหลวที่ได้จากวิธีการทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน

งานวิจัยได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการขจัดน้ำมันออกจากปิโตรเลียมแว็กซ์ โดยเครื่องกดอัดแบบขึ้นรูป (compression molding) และเครื่องกดอัดแบบไฮดรอลิกและใช้ปิโตรเลียมแว็กซ์ที่ผ่านกระบวนการแยกแว็กซ์แล้วจากโรงกลั่นน้ำมัน อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ผสมกับปิโตรเลียมแว็กซ์จากบริษัทชาติปิโตรเคมีคอล ในอัตราส่วน 5:1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ความดันและเวลาที่ใช้ในการกดอัด จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกดอัดสำหรับเครื่องกดอัดแบบขึ้นรูปคือที่ความดัน 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลา 7 นาที ปริมาณน้ำมันที่ขจัดออกได้มากที่สุดคือ ร้อยละ 26.45 ส่วนสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอัดแบบไฮดรอลิกคือ ความดัน 8,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณน้ำมันที่ขจัดออกได้มากที่สุดคือ ร้อยละ 18.30

เมื่อนำแว็กซ์มาศึกษาผลึกโดยดูจากผิวภายนอก พบว่าไมโครแว็กซ์และปาล์มแว็กซ์มีลักษณะผลึกละเอียด แว็กซ์ชนิดอื่น ๆ มีลักษณะหยาบ ผลึกของปิโตรเลียมแว็กซ์ก่อนและหลังการกดอัดไม่เปลี่ยนแปลง แต่หลังการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและฟอกแล้วผลึกจัดเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้น

Research Title *Oil Separation from Petroleum Waxes*

Author *Suparin Chaiklangmuang*

Abstract

Petroleum waxes from China and Fang, Microwax and Palm wax are raw materials for producing candles of the small factories in Chiang Mai. The research work was experimented to analyze the physical properties of them. Their properties were density, oil content, viscosity, brightness and melting point. From the result of experiment, it was found that density of Chinese wax, Palm wax, Microwax and Wax from Fang (bleaching) were 0.5421, 1.2101, 0.8414 and 0.6495 g/cm³ respectively. Oil contents of Chinese wax and Wax from Fang (bleaching) were 4.10 and 10.44%. Viscosity of Chinese wax and Wax from Fang (bleaching) were 0.7124 and 0.7936 centipoise (at 60°C). Brightness of Chinese wax, Palm wax, Microwax and Wax from Fang (bleaching) were 82.30, 68.16, 22.44 and 67.46% respectively. The melting points of petroleum waxes were performed by cooling curve method and using Buchi SMP-20 melting point determinator. It was reported that the melting points from both instruments were the similar values.

The research studied for determination of optimum conditions which separated oil from petroleum waxes by compression molding and hydraulic press. Petroleum wax samples in this research had already passed dewaxing process from Fang Oil Refinery, Fang, Chiang Mai and mixed with petroleum wax from Chaleet Petrochemical Ltd. in the ratio of 5:1 by weight. Pressure and time used in compression were studied. From the experiment results, it was found that the optimum conditions for compression molding were 800 psi. and 7 minutes. The maximum percentage of oil separation was 26.45%. For the optimum condition of hydraulic press was 8,000 psi. and the maximum percentage of separated oil was 18.30%.

When the waxes were studied crystal by observing their surface, it was found that Microwax and Palm wax were fine crystalline structure and other waxes were coarse. The crystal forms of petroleum waxes before and after pressing were unchanged. In the other hand, after extraction with solvent mixture and bleaching, the crystal forms were well established.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรม	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
1. บทนำ	1
1.1 ความหมายของแวกซ์	1
1.2 คุณสมบัติของแวกซ์	2
1.3 ประเภทของแวกซ์	2
1.4 กระบวนการในการแยกพาราฟินแวกซ์	5
1.5 การผลิตแวกซ์	6
1.6 วิธีตรวจสอบพาราฟินแวกซ์ ไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์และปีโตรทาลัม	8
1.7 การประยุกต์ใช้และการนำไปใช้ประโยชน์	9
1.8 ความเป็นพิษของแวกซ์	10
2. การทดลอง	11
2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของปีโตรเลียมแวกซ์ ตัวอย่างแวกซ์ชนิดอื่น ๆ และผลิตภัณฑ์เทียนไข	11
2.2 ศึกษาวิธีทางกายภาพที่สามารถจัดน้ำมันออกจากปีโตรเลียมแวกซ์	16
2.3 โครงสร้างผลึกของตัวอย่างปีโตรเลียมแวกซ์	22
3. ผลการทดลอง	24
3.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของปีโตรเลียมแวกซ์	24
3.2 ผลการศึกษาทางกายภาพที่สามารถจัดน้ำมันออกจากปีโตรเลียมแวกซ์	26
4. สรุปและวิจารณ์	51
บรรณานุกรม	58
ภาคผนวก	59

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สรุปผลการทดลอง	24
3.2 จุดหลอมเหลวที่ได้จากเครื่อง Buchi SMP-20	25
3.3 การหาปริมาณน้ำมันในแว็กซ์ผสมก่อนอัด	26
3.4 ผลการหาค่าความขาวและความหนาแน่นของบีโตรีเลียมแว็กซ์ผสมเริ่มต้น	27
3.5 ผลการหาจุดหลอมเหลวของบีโตรีเลียมแว็กซ์ผสม	27
3.6 ผลการหาร้อยละของน้ำมันที่ขจัดได้หลังการกดอัดที่ความดัน 600, 700 และ 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว	28
3.7 ผลการกดอัดที่เวลา 5, 7 และ 10 นาทีกับร้อยละของน้ำมันที่ขจัดได้	30
3.8 ผลการหาจุดหลอมเหลวของบีโตรีเลียมแว็กซ์	31
3.9 ผลความหนาแน่นของบีโตรีเลียมแว็กซ์	33
3.10 ผลการวัดความขาวของบีโตรีเลียมแว็กซ์	34
3.11 ผลการทดลองแสดงเวลาการเผาไหม้ของบีโตรีเลียมแว็กซ์	35
3.12 อัตราการเผาไหม้ของบีโตรีเลียมแว็กซ์ในช่วงระยะทาง 5 และ 10 ซม.	35
3.13 ผลการหาร้อยละของน้ำมันที่ขจัดออกไปหลังการกดอัดที่ความดันต่าง ๆ	39
3.14 ผลการหาค่าความขาวของบีโตรีเลียมแว็กซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดันต่าง ๆ	41
3.15 ผลการหาจุดหลอมเหลวของบีโตรีเลียมแว็กซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดันต่าง ๆ	42
3.16 ผลความหนาแน่นของบีโตรีเลียมแว็กซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดันต่าง ๆ	44
4.1 เปรียบเทียบจุดหลอมเหลวซึ่งได้จากกราฟการเย็นตัวและเครื่อง Buchi SMP-20	52

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 การผลิตแวกซ์โดยวิธี sweating	7
1.2 กระบวนการแยกน้ำมันออกจากแวกซ์โดยใช้เมทิลเอธิลคีโตน	7
2.1 แวกซ์จากฝางไม่ฟอกสี	11
2.2 แวกซ์จากฝางฟอกสี	12
2.3 แวกซ์จากจีน	12
2.4 ป่าส้มแวกซ์	13
2.5 ไมโครแวกซ์	13
2.6 เครื่องมือหาจุดหลอมเหลวจากกราฟการเย็นตัว	14
2.7 เครื่องอัด compression molding	16
2.8 เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก	20
2.9 ลักษณะของปิโตรเลียมแวกซ์ที่ถูกห่อด้วยผ้าลินิน	21
2.10 Reflection Microscope	23
3.1 ตัวอย่างการหาจุดหลอมเหลวของปิโตรเลียมแวกซ์จากฝาง (ไม่ฟอกสี) โดยวิธี กราฟการเย็นตัว	25
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ใช้กดอัดกับร้อยละน้ำมันที่เหลือ	29
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ใช้กดอัดกับร้อยละน้ำมันที่ขจัดได้	29
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่ขจัดออกจากปิโตรเลียมแวกซ์และเวลา ที่ใช้ในการกดอัด	30
3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดหลอมเหลวกับชนิดของปิโตรเลียมแวกซ์	32
3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับชนิดของปิโตรเลียมแวกซ์	33
3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขาวกับชนิดของปิโตรเลียมแวกซ์	34
3.8 อัตราการเผาไหม้ของปิโตรเลียมแวกซ์ในช่วงระยะทาง 0-5 เซนติเมตร	36
3.9 อัตราการเผาไหม้ของปิโตรเลียมแวกซ์ในช่วงระยะทาง 5-10 เซนติเมตร	36
3.10 ปิโตรเลียมแวกซ์ก่อนการกดอัด	37
3.11 ปิโตรเลียมแวกซ์หลังการกดอัด	37
3.12 ปิโตรเลียมแวกซ์หลังการสกัด	38

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 ตัวอย่างเทียนไขซึ่งผลิตจากปิโตรเลียมแวกซ์	38
3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ใช้กดอัดกับร้อยละน้ำมันที่ขจัดออกได้	40
3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ใช้กดอัดกับค่าความขาวของปิโตรเลียมแวกซ์	41
3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ใช้กดอัดกับความหนาแน่น	45
3.17 ไมโครแวกซ์	46
3.18 ปาล์มแวกซ์	47
3.19 แวกซ์จากจีน	47
3.20 แวกซ์ผสมก่อนการกดอัด	48
3.21 แวกซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดัน 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (ก่อนสกัด)	48
3.22 แวกซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดัน 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (หลังสกัด)	49
3.23 แวกซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดัน 8,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (ก่อนสกัด)	49
3.24 แวกซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดัน 8,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (หลังสกัด)	50
3.25 แวกซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดัน 8,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (หลังสกัด) และผ่านการฟอกแล้ว	50

1. บทนำ

ปิโตรเลียมแวกซ์เป็นผลพลอยได้ (by product) จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ ซึ่งปิโตรเลียมแวกซ์นี้ยังมีน้ำมันดิบปนอยู่สูงประมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก⁽¹⁾ ถ้านำปิโตรเลียมแวกซ์นี้มาผ่านกรรมวิธีการแยกขจัดน้ำมันปิโตรเลียมแวกซ์ออกจะทำให้ปิโตรเลียมแวกซ์มีความบริสุทธิ์สูง ปิโตรเลียมแวกซ์ที่มีความบริสุทธิ์สูงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้เช่น ใช้ทำกระดาษเคลือบไข เทียนไขและสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น

ในการผลิตเทียนไขนั้น ไข (waxes) ที่ใช้เป็นวัตถุดิบมาจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ กัน แต่ที่นิยมใช้มากคือปิโตรเลียมแวกซ์ (petroleum waxes) เพราะให้แสงสว่างจากการเผาไหม้สูงกว่าและให้คุณสมบัติในการเผาไหม้ที่ดี นอกจากนี้ยังง่ายต่อการขึ้นรูป ปิโตรเลียมแวกซ์เป็นสารไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัวส่วนมากเป็นพวกนอร์มอลหรือโซ่ตรง มีพวกไอโซหรือโซ่กิ่งปนอยู่เล็กน้อยได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ

เนื่องจากปิโตรเลียมแวกซ์ที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยตรง ดังนั้นจึงมีผู้ศึกษาวิจัยการขจัดน้ำมันในปิโตรเลียมแวกซ์ มาบ้างแล้วในประเทศไทย เพื่อพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม แต่ไม่ได้มุ่งเน้นสำหรับปิโตรเลียมแวกซ์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบการผลิตเทียนไขในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

การพัฒนาอุตสาหกรรมท้องถิ่นซึ่งเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการพัฒนาประเทศให้เจริญก้าวหน้า มีความมั่นคงทางเศรษฐกิจและเป็นการกระจายรายได้ประชากร เนื่องจากปัญหาการผลิตวัตถุดิบภายในประเทศ ทำให้ยังคงต้องนำเข้าวัตถุดิบที่มีคุณภาพสูงจากต่างประเทศ ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น ถ้าสามารถปรับปรุงคุณภาพวัตถุดิบเหล่านี้ได้จะทำให้อุตสาหกรรมท้องถิ่นมีการขยายตัวมากขึ้น สำหรับกรรมวิธีที่ใช้ควรเป็นการนำเทคโนโลยีที่ง่ายและลงทุนน้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาวิธีทางกายภาพที่สามารถขจัดน้ำมันออกจากปิโตรเลียมแวกซ์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเทียนไขให้มีคุณภาพสูงขึ้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าว

1.1 ความหมายของแวกซ์

แวกซ์ในทางปฏิบัติหมายถึง สารใดๆ ที่มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง⁽²⁾ เช่น พาราฟินแวกซ์ (สารผสมไฮโดรคาร์บอน) แต่ในทางเคมีแวกซ์หมายถึง เอสเทอร์ที่เกิดจากรวมตัวของระหว่างไฮโดรคาร์บอนที่มีโซ่ยาวกับกรดไขมันที่มีโซ่ยาว มีสูตรทั่วไปคือ RCOOR' โดยที่ R' เท่ากับ C_{24} ถึง C_{36} และมักจะเป็นสายโซ่ที่อิ่มตัว แต่ถ้ามีพันธะคู่ก็มักจะมีในส่วนที่เป็นอัลกอฮอล์คือ R'

1.2 คุณสมบัติของแว็กซ์

แว็กซ์เป็นสารเคมีที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ เป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันและอัลกอฮอล์ มีกลิ่น สีเฉพาะตัว ติดไฟได้ มีสมบัติเป็นไดอิเล็กตริกที่ดี ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ ไม่ละลายน้ำ

1.3 ประเภทของแว็กซ์

1.3.1 แว็กซ์ธรรมชาติ⁽⁸⁾

1.3.1.1 แว็กซ์จากพืช เป็นแว็กซ์ที่เกิดจากพืช พบอยู่ในพืชหลายชนิดมีอยู่แทบทั่วโลก แล้วแต่ว่าแว็กซ์ชนิดใดที่มีประโยชน์และมีคุณภาพดี แว็กซ์จากพืชที่ควรรู้จักมีดังนี้

1. Bayberry Wax เอามาจากเปลือก *myrica cerifera* ส่วนมากพบที่ประเทศสหรัฐอเมริกา บางตัวของ *myrica* พบที่แหลมกูคโฮบ หลอมเหลวที่อุณหภูมิ 40°C ถึง 44°C มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.97-0.99 มีค่าดัชนีหักเห (refractive index) เท่ากับ 1.4363 ที่ 80°C ใช้ในการทำเทียนไข ใช้ในการทำยา

2. Candelilla Wax พบจากการขับออกของ *euphorbia qatisyphilitica* ซึ่งมีอยู่ทางตอนเหนือของประเทศเม็กซิโกและทางตอนใต้ของสหรัฐอเมริกา จากไขของต้นไม้ชนิดนี้ถ้าเรานำมาต้มกับน้ำ และใส่กรดซัลฟูริกเข้มข้นลงไปเล็กน้อยจะได้ 2-3% ของแว็กซ์ สามารถละลายในคาร์บอนเตตระคลอไรด์ มีสีเหลืองปนน้ำตาล มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{30}H_{62}$ จุดหลอมเหลว 62°C ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.983-1.00 ค่าดัชนีหักเหเท่ากับ 1.4555 ที่ 71°C ใช้ทำเทียนไข น้ำมันขัดเงา แผ่นเสียง

3. Chinese Wax พบอยู่ตามกิ่งของ *fraxinix chinensis* พบมากที่ประเทศจีน ใช้ทำเทียนไข น้ำมันขัดเงา มีสีขาวหรือเหลือง ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.970

4. Coca Wax มีในใบพืชตระกูล *erythoxyac* พบในประเทศอินโดนีเซีย ศรีลังกา เปรู โบลิเวีย บราซิล มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{33}H_{66}O_2$ หลังจากทำให้บริสุทธิ์แล้วจะเป็นสีขาว จุดหลอมเหลวที่ 70°C และละลายได้ในเอทานอลที่ร้อน ใช้ทำหมากฝรั่ง

5. Carnauba Wax ได้จากใบและเมือของปาล์มมีในประเทศบราซิล และทางตอนใต้ของสหรัฐอเมริกา มีสีเหลืองอ่อนหรือสีเขียว มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.990-1.00 ที่ 15°C ละลายได้ในเอทานอลที่ร้อน ซึ่งแว็กซ์ตัวนี้มีชื่อทางการค้าต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ไฮโดรคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบ ใช้ทำประโยชน์ เช่น ทำเทียนไข น้ำมันขัดเงารองเท้า แผ่นเสียง

6. Japan Wax ได้จากผลของ *rhus succedanea* พบในประเทศญี่ปุ่น อินเดียตะวันออก อินโดจีน ไม่ใช่แว็กซ์ที่แท้จริงแต่เป็นกลีเซอไรด์ มีสีเหลือง มีจุดหลอมเหลวที่ 53°C ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.970-0.980 ใช้ทำสบู่ ไม้ขีดไฟ เทียนไข สารขัดเงา

7. กลีเซอไรด์แว็กซ์ พบจากเปลือกของ cane glass ในประเทศออสเตรเลีย มีส่วนผสมเป็นแบบเดียวกับ carnauba wax ละลายได้เล็กน้อยในอีเธอร์ มีจุดหลอมเหลวที่ 82°C

8. Sugar cane Wax เป็นผลมาจากการสกัดน้ำตาลที่ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งได้จากอ้อย จะมีสีม่วงแยกโดยการคั้นจากน้ำอ้อยแล้วนำน้ำอ้อยมากรองโดยใช้เบนซอล(benzol) เป็นตัวทำละลาย มีสมบัติคือ แข็ง มีสีเหลืองสามารถละลายได้ในน้ำร้อน มีจุดหลอมเหลวที่ 55-62°C ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.961

9. Ocuba Wax ได้จากผลไม้ววก myristica ocuba officinalis ซึ่งปลูกบนชายฝั่งของกลุ่มแม่น้ำอะเมซอน มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.920 จุดหลอมเหลว 39.4°C ในบราซิลใช้ทำเทียนไข

1.3.1.2 แวกซ์จากสัตว์

1. Wool fat ได้จากพวกขนแกะ ซึ่งไม่ค่อยจะบริสุทธิ์นัก ใช้เป็นองค์ประกอบในเครื่องสำอาง

2. Spermaceti ส่วนมากมีสีขาวพบมากในปลาวาฬ ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.945-0.960 จุดหลอมเหลว 44-47.5°C ใช้ทำเทียนไขและสบู่

3. Bees Wax ได้มาจากพวกผึ้งงาน ตอนยังไม่ได้ออกสีเรียกว่า ขี้ผึ้งเหลือง เมื่อออกสีแล้วเรียกว่า ขี้ผึ้งสีขาว ประโยชน์ในการทำเทียนไข เครื่องสำอาง และเทป

4. Shellac Wax พบในประเทศอินเดียไม่ค่อยได้ใช้ประโยชน์ในทางการค้า สามารถใช้ทำน้ำยาขัดเงาได้ มีจุดหลอมเหลวที่ 72-80°C

1.3.1.3 แวกซ์จากแร่

Mineral Wax เป็นสารที่สกัดมาจากถ่านหินสีน้ำตาลและถ่านหินลิกไนต์ โดยการนำถ่านหินมาทำให้แห้งแล้ว ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างอัลกอฮอล์และเบนซีน มีจุดหลอมเหลวที่ 84.0°C ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.00 ใช้ทำเทียนไข ทำแผ่นเสียง

1.3.1.4 ปีโตรเลียมแว็กซ์

เป็นแว็กซ์ที่เกิดจากพวกพืชและสัตว์ เป็นแหล่งที่ใหญ่ที่สุดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของแว็กซ์ ปีโตรเลียมแว็กซ์เราจะใช้ประโยชน์ในงานที่สำคัญคือ การทำกระดาษห่อขนม ทำเทียนไข ในอุตสาหกรรมปัจจุบันนี้แว็กซ์ที่ใช้ส่วนใหญ่มาจากปีโตรเลียมแว็กซ์ถึง 90% และแว็กซ์จากพืชและสัตว์ 10%

ปีโตรเลียมแว็กซ์มีความแตกต่างกันในธรรมชาติ โดยส่วนประกอบของไฮโดรคาร์บอนที่เป็นพาราฟินโซ่ตรง ไอโซพาราฟินและไซโคลพาราฟินเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีชื่อเรียกต่างๆ กันไป เช่น พาราฟินแว็กซ์ ไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ (microcrystalline wax) ปีโตรลาทัมแว็กซ์ (petrolatum wax) ส่วนใหญ่มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_3(CH_2)_nCH_3$ เมื่อ $n > 18$ เป็นของแข็งที่อุณหภูมิปกติ (25°C) และมีความหนืด 33-45 SUS ที่ 99°C

ปิโตรเลียมแวกซ์ สามารถแยกเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

1. พาราฟินแวกซ์ (paraffin wax)

ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัว (saturated hydrocarbon) ได้จากการกลั่นน้ำมันหล่อลื่นเบาและน้ำมันหล่อลื่นกลาง บางทีถูกเรียกว่าแวกซ์ที่กลั่นได้ (distillate wax) ผลิตภัณฑ์ที่กลั่นออกมาได้เมื่อปล่อยให้เย็นลงจะมีจุดหลอมเหลวที่ 48-65°C มีผลึกเป็นแผ่น ซึ่งเป็นพวกนอร์มอลพาราฟินเป็นส่วนใหญ่ มีไอโซพาราฟินและไซโคลพาราฟินปนอยู่ด้วย โดยปกติแล้วความยาวของสายโซ่โมเลกุลอยู่ในช่วง C₂₂-C₃₀ มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 360-420 และเป็นผลึกชนิดหยาบหรือเป็นแผ่น พาราฟินแวกซ์อาจแบ่งตามปริมาณน้ำมัน (oil content) ที่ยังคงผสมอยู่สามารถแบ่งย่อยได้อีกดังนี้

- Fully Refined Paraffin Wax จุดหลอมเหลว 50-71°C ไม่มีปริมาณน้ำมันเลยหรือถ้ามีปริมาณน้ำมันบ้างต้องมีน้อยกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก และมีเบอร์สีเท่ากับ +21 หรือมากกว่า (ASTM 156-64) ซึ่งเบอร์สีจะถูกวัดโดยใช้ saybolt chromometer scale (ถ้าเป็นสีเหลืองจะมีค่าเท่ากับ 0 แต่ถ้าเป็นสีขาวใสจะมีค่าเท่ากับ +30) ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น เนื่องจากมีความบริสุทธิ์ จึงใช้ในการเคลือบภาชนะบรรจุอาหาร อุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง

- Semi-refined Paraffin Wax หรือ Candle Wax มีปริมาณน้ำน้อยกว่า 1.5% โดยน้ำหนัก มีเบอร์สีเท่ากับ +21 หรือต่ำกว่า จะมีสีคล้ำกว่า fully refined paraffin wax และยังมีสมบัติอื่นๆ ด้อยกว่าอีกด้วย

- Scale Wax มีปริมาณน้ำมัน 2-3% โดยน้ำหนักหรืออาจสูงถึง 5% แวกซ์ชนิดนี้มีจุดหลอมเหลวต่ำถึง 43°C มีสีเหลือง และมีเบอร์สี +10

ซึ่งราคาของพาราฟินแวกซ์จะขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ โดยปกติแวกซ์ที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะมีเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์สูง

2. ไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ (microcrystalline wax)

ประกอบด้วยอัลเคนชนิดอิ่มตัวที่เป็นโซ่กิ่ง และโมเลกุลที่เป็นวงกลมมากกว่าโมเลกุลโซ่ตรง มีจำนวนคาร์บอนอะตอมในสายโซ่ประมาณ 36-60 อะตอม ได้จากการนำน้ำมันหล่อลื่นหนักมากลั่น มีจุดหลอมเหลวช่วง 65-100°C มีโมเลกุลใหญ่และมีความหนืดสูงกว่าพาราฟินแวกซ์ โดยปกติถ้าบริสุทธิ์จะมีสีขาว บางทีมีสีเหลือง สีทอง และสีน้ำตาล มีปริมาณน้ำมัน 0.5-5% โดยน้ำหนัก มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 600-800 ทำให้ยากในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบ เป็นแวกซ์ที่มีโมเลกุลโซ่กิ่งเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นทำให้แวกซ์มีโครงสร้างเป็นแบบผลึกละเอียดขนาดเล็ก นำ slack wax ที่ได้จากสิ่งกลั่นหนัก (heavy distillation) หรือจากน้ำมันมาสกัดด้วยตัวทำละลายเอาน้ำมันออก ในส่วนของตัวสกัดจะมีน้ำมันปนอยู่จะนำมาผลิตไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ได้

3. ปีโตรลาทัม (*petrolatum* หรือ *petroleum jelly*)

ประกอบด้วยไอโซพาราฟินและไซโคลพาราฟินเป็นส่วนใหญ่และมีอะโรแมติกปนอยู่บ้าง มีปริมาณน้ำมันสูงจึงมีลักษณะเหนียวหนืด ปีโตรลาทัมประกอบไปด้วยไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ แต่ไม่ใช่ว่าไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์เป็นปีโตรลาทัม ดังนั้นปีโตรลาทัมจึงขึ้นอยู่กับโครงสร้างและน้ำหนักโมเลกุลของแวกซ์มากกว่าจะขึ้นอยู่กับน้ำมันปีโตรเลียมที่สกัดแล้ว ปีโตรลาทัมสามารถผลิตมาจากส่วนของน้ำมันหล่อลื่นหนัก (heavy lubricating oil cut) โดยวิธีการใช้ตัวทำละลายและตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง จะมีสถานะกึ่งเหลวกึ่งแข็งและความหนืดประมาณ 60-120 SUS ที่อุณหภูมิ 99°C จุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 43-79°C มีปริมาณน้ำมันมากกว่า 10% โดยปริมาตร ระวังการทำให้ออกซิเดชันขึ้นกับการนำไปใช้งาน ซึ่งต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสม

1.3.2 แวกซ์สังเคราะห์ในทางเคมี

การสังเคราะห์แวกซ์อาจทำได้หลายวิธี⁽³⁾ ดังต่อไปนี้

1. โพลีเอธิลีนทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซีกรุป จะได้โพลีเอธิลีนแวกซ์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 2000
2. เอธิลีนออกไซด์รวมกับไดไฮดรอลิกอัลกอฮอล์ จะได้โพลีออกซีเอธิลีนไกลคอล
3. ปฏิกิริยาคลอรีนชันของเนฟธาลิน จะได้ฮาโลแวกซ์
4. แวกซ์ประเภทคีโตนมีทั้งที่เป็นสายโซ่และแบบเป็นวง (cyclic)
 - 4.1 จากคีโตนแบบเดียวกัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นกรดไขมัน
 - 4.2 จากคีโตนไม่ใช่แบบเดียวกัน ใช้วิธีฟรีเซลล์กราฟท์ของกรดไขมัน
5. เอไมด์ (amide) ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันทำให้สายโซ่ยาวขึ้น โดยการใช้ความร้อน
6. อิมไมด์ (imide) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาการควบแน่น ระหว่างฟาราลิกแอนไฮไดรด์ (phthalic anhydride) กับอะลิฟาติกเอมีนปฐมภูมิ (primary aliphatic amine) จะได้ฟาราลิไมด์ (phthalimide) ใช้ในการขัดเงาและอุตสาหกรรมกระดาษ

1.4 กระบวนการในการแยกพาราฟินแวกซ์

พาราฟินแวกซ์อาจได้มาจากกระบวนการ^(2,5) ดังนี้

1. การแยกแวกซ์โดยไม่ใช้ตัวทำให้เจือจาง (Dewaxing without the use of diluents) เป็นวิธีเก่าและง่ายที่สุดในการเอาแวกซ์ออกจากน้ำมัน คือนำแวกซ์ที่มีน้ำมันอยู่มาทำให้เย็น โดยไม่ต้องเติมตัวทำละลายใดๆ ลงไป และต้องรอให้แวกซ์ตกผลึกเป็นแผ่นใหญ่เท่าที่จะทำได้ จากนั้นแยกแวกซ์ออกจากน้ำมันโดยการกรองที่ใช้ความดันสูง พวกนอร์มอลพาราฟินจะให้ผลึกหยาบ (coarse crystal) ในขณะที่พวกไอโซพาราฟินและพวกไซโคลพาราฟินจะให้ผลึกโครงสร้างละเอียด (fine

structure) ดังนั้นการมีไอโซพาราฟินมากๆ จะทำให้มีข้อจำกัดโดยการกรองแว็กซ์ได้ยากหรือกรองไม่ได้เลย

2. การแยกแว็กซ์โดยใช้ตัวทำให้เจือจาง (Dewaxing with the use of diluents) การแยกแว็กซ์ออกโดยใช้ตัวทำให้เจือจางเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Solvent dewaxing method คือใช้ตัวทำละลายหรือตัวทำละลายผสมละลายน้ำมันที่ผสมอยู่ กรณีที่ตัวทำละลายเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะต้องมีคาร์บอนอะตอมน้อยกว่า 5 อะตอม อาจใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างเมธิลเอธิลคีโตนและโทลูอิน ส่วนคีโตนตัวอื่นๆ ก็นิยมใช้เช่นกัน ซึ่งจะใช้เพียงอย่างเดียว เช่น เมธิลไอโซบิวทิลคีโตน (methyl isobutyl ketone) และเมธิลนอร์มอลบิวทิลคีโตน (methyl n-butyl ketone) หรือผสมกับตัวทำละลายอะโรมาติก (aromatic solvent) ให้เป็นสารละลาย โดยทั่วไปจะใช้ตัวทำละลายเป็นเมธิลเอธิลคีโตนผสมกับโทลูอิน คีโตนจัดเป็นตัวทำให้แว็กซ์ตกตะกอน ส่วนโทลูอินจะเป็นตัวช่วยในการแยกน้ำมันออกจากแว็กซ์ ที่อุณหภูมิต่ำ

1.5 การผลิตแว็กซ์

กระบวนการผลิตแว็กซ์ในทางอุตสาหกรรม มีวิธีผลิตอยู่ 2 วิธีคือ

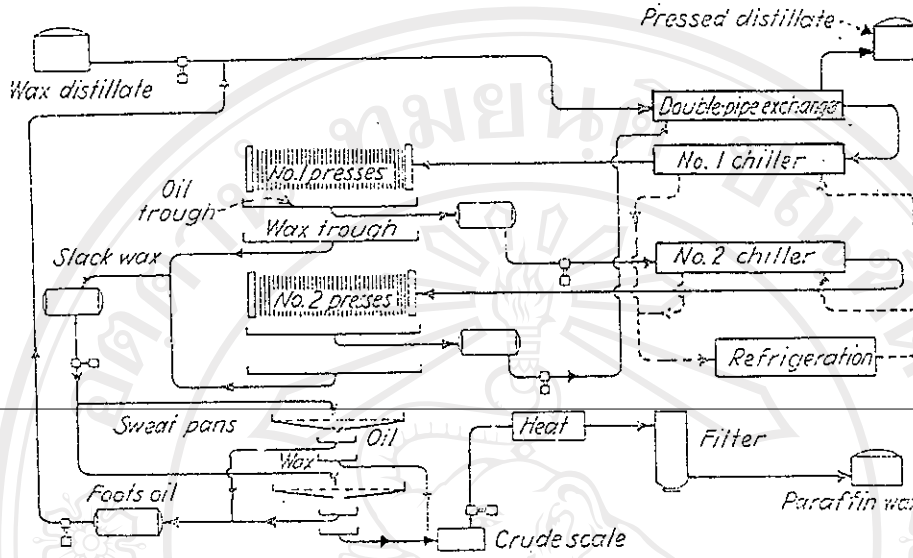
1. การผลิตแว็กซ์โดยวิธี sweating process

กระบวนการนี้เป็นการทำให้แว็กซ์ปราศจากน้ำมัน โดยการนำน้ำมันที่มีแว็กซ์ปนอยู่ที่หลอมเหลวใส่ลงในถาด กั้นถาดใส่ metal gauze สูงจากกั้นถาดประมาณ 10 cm. ถาดติดอยู่บนล้อเลื่อน ก่อนจะเทแว็กซ์ที่หลอมเหลวลงในถาดนี้จะต้องใส่น้ำจนท่วม metal gauze ซึ่งมีรูพรุน น้ำมันที่มีแว็กซ์ปนอยู่หลอมเหลวจะถูกทำให้แข็งตัวโดยการผ่านอากาศเย็นไปอย่างช้าๆ เหนือในถาดทิ้งไปแว็กซ์จะติดอยู่ที่ metal gauze เป็นแผ่นใหญ่ จากนั้นถาดจะถูกเลื่อนไปยัง sweating chamber (หรือ sweating tunnel) โดยถาดจะเลื่อนช้าๆ จากอุณหภูมิห้อง ไปยังส่วนที่ร้อนปลายสุดของอุโมงค์ น้ำมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ และยังมีปนอยู่กับแว็กซ์จะไหลแยกออกจากแผ่นแว็กซ์เป็นน้ำมันหยดลงมาเรียกว่า “foot oil” ส่วนแว็กซ์จะถูกเทออกจากถาด และนำไปหลอมให้เป็นของเหลวเพื่อนำไปเก็บไว้ในถังเก็บก่อนที่จะนำไปปรับสภาพเป็นครั้งสุดท้ายต่อไป ตัวอย่างกระบวนการ sweating แสดงในรูปที่ 1.1

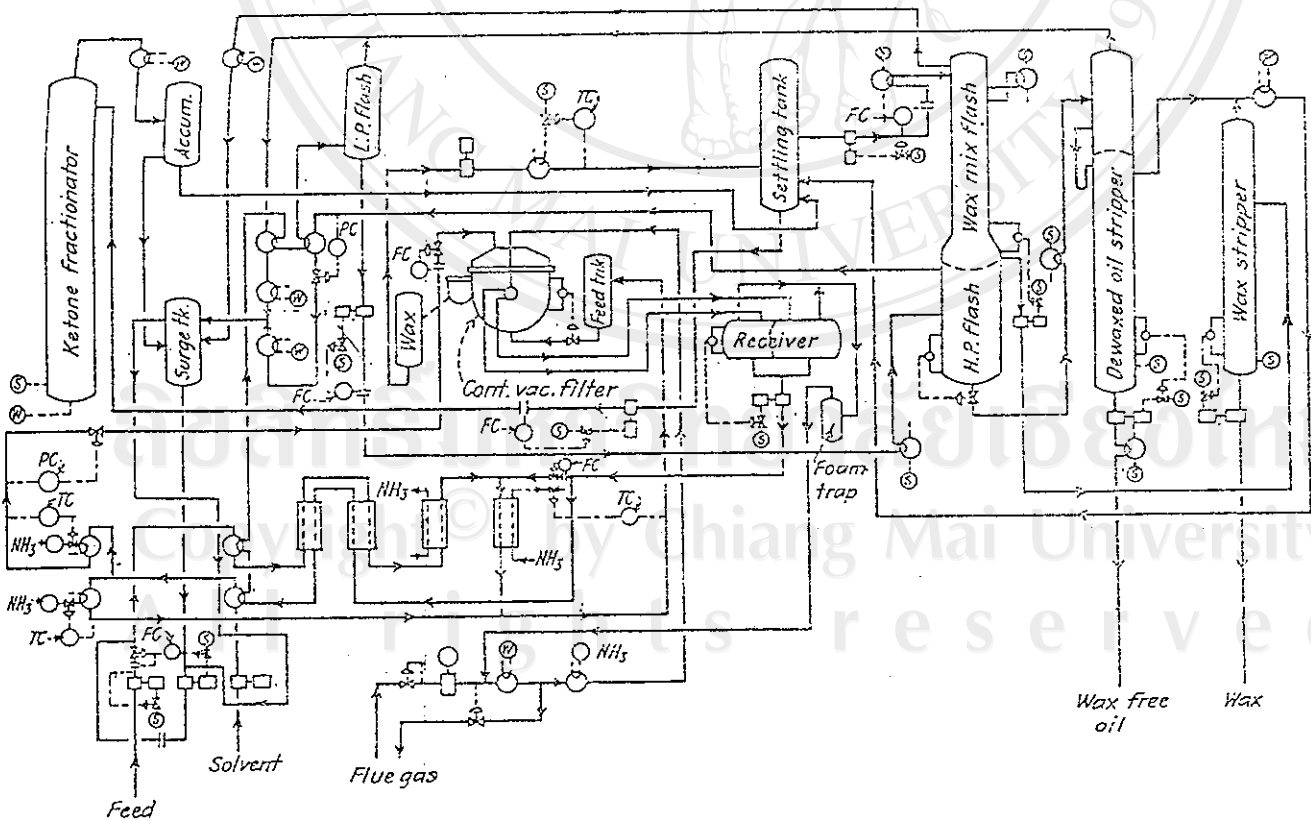
2. การผลิตแว็กซ์โดยใช้ตัวทำละลาย (solvent deoiling process)

เป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการกำจัดน้ำมันออกจากแว็กซ์ที่ดีกว่า sweating process และยังสามารถใช้กับแว็กซ์ที่มีโครงสร้างผลึกเล็กๆ ได้ เป็นวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไป ตัวทำละลายที่นิยมใช้คือ เมธิลเอธิลคีโตน/โทลูอิน โดยนำแว็กซ์ที่มีน้ำมันผสมอยู่มาละลายในตัวทำละลายผสม ดังกล่าวในสัดส่วนที่เหมาะสมขณะร้อน เมื่อทำให้เย็นลงแว็กซ์จะแยกตัวออกจากสารละลาย แล้วจึงกรองโดยมีการปรับความหนืด ด้วยการเติมตัวทำละลายที่ทำให้เย็นแล้วลงไป แว็กซ์ที่ผ่านกระบวนการ

แล้ว (wax finishing) ยังคงมีน้ำมันปนอยู่ประมาณ 8% นอกจากนี้ยังมีตัวทำละลายอื่น ๆ อีกเช่น ตัวทำละลายผสมเมทิลเอทิลคีโตนและเบนซิน เป็นต้น รูปที่ 1.2 แสดงการผลิตแว็กซ์โดยใช้เมทิลเอทิลคีโตน



รูปที่ 1.1 การผลิตแว็กซ์โดยวิธี sweating



รูปที่ 1.2 กระบวนการแยกน้ำมันออกจากแว็กซ์โดยใช้เมทิลเอทิลคีโตน

1.6 วิธีตรวจสอบพาราฟินแว็กซ์ ไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ และปิโตรลาตัม

(Methods of Testing Paraffin wax, Microcrystalline wax and Petrolatum)

การตรวจสอบสมบัติของแว็กซ์ที่ทำให้บริสุทธิ์มาแล้วมีหลายวิธี⁽⁶⁾ ดังต่อไปนี้

1. จุดหลอมเหลวและจุดแข็งตัว (Melting Point and Setting Temperature)

ปล่อยให้แว็กซ์ที่หลอมเหลวแล้วเย็นลงในเครื่องมือเฉพาะที่ใช้ในการหาจุดแข็งตัว โดยบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 30 วินาที ถ้าอุณหภูมิคงที่ในช่วง 0.1°C ให้อ่านอุณหภูมิทุกๆ 15 วินาที แล้วอ่าน 5 ครั้งแสดงว่าถึง setting point แล้ว (IP 55/67 ; ASTM D 87-66) อาจจะได้โดยใช้แว็กซ์ที่หลอมแล้วหยดลงในกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์แล้วสอดเข้าไปในขวด จากนั้นหมุนเทอร์โมมิเตอร์ช้าๆ อุณหภูมิของหยดปิโตรเลียมแว็กซ์ซึ่งหมุนเทอร์โมมิเตอร์ถูกบันทึกหาจุดที่เกิดการแข็งตัว

2. สี (Colour)

การดูสีอาศัยหลักการวัดสีในสถานะที่เป็นของเหลว จากนั้นเปรียบเทียบสีของแว็กซ์ที่หลอมเหลวกับแก้วสีมาตรฐาน (colored standard glasses) ที่ความเข้มของสีต่างๆ ถ้าใช้ saybolt method (ASTM D156-64) ความเข้มของสีแว็กซ์จะถูกเปรียบเทียบกับแก้วสีมาตรฐาน โดยการใช้เครื่องวัดสี (Lovibone tintometer)

3. กลิ่น (Odor)

วิธี IP 185/65 และ ASTM D1833/64 ได้กำหนดกลิ่นของแว็กซ์ โดยมีรายชื่ออย่างน้อย 5 ชนิด ความเข้มของกลิ่นจะแสดงโดยสเกล 1-4 แล้วบันทึกสิ่งที่สังเกตได้ทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย

4. องค์ประกอบของน้ำมัน (Oil content)

ละลายสารตัวอย่างแว็กซ์ในเมทริลเฮกซิลโคโธน แล้วปล่อยให้เย็นถึง -31.6°C (-25°F) กรองเอาตะกอนออกแล้วระเหยเอาตัวทำละลายออกจาก filtrate และชั่งน้ำหนัก residue ที่ได้ (ASTM D 721-65T, IP 158/66T) การทำทั้งหมดจะทำภายใต้สภาวะมาตรฐาน และในเครื่องมือที่มาตรฐาน ความถูกต้องจะใช้สำหรับความสามารถในการละลายได้ของแว็กซ์

5. ความทนแรงทะลุ (Penetration) (ASTM D 1321-65)

การทนแรงทะลุของแว็กซ์ทำได้ โดยการใช้เข็มมาตรฐานแทงให้ทะลุเข้าไปในเนื้อแว็กซ์เป็นระยะประมาณ 0.1 mm. เข้าไปในสารตัวอย่างในสภาวะที่กำหนด น้ำหนักที่ใช้ เวลาและอุณหภูมิ ค่าที่ได้แสดงถึงความแข็ง(hardness) ของแว็กซ์

6. ความทนแรงดึง (Tensile strength) (ASTM 1320-76 ; TAPPI 644 OS-67)

Tensile strength เป็นแรงที่ใช้ในการดึงขึ้นทดสอบแว็กซ์ที่มีรูปเป็นคัมเบลออกเป็นชิ้นเล็กๆ ค่าที่ได้ขึ้นกับวิธีเตรียมแว็กซ์ตัวอย่าง ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการเย็นตัวของแว็กซ์ และระยะเวลาที่ทิ้งไว้ด้วย ส่วนขนาดของแว็กซ์ที่จะใช้ก็ต้องใหญ่เพียงพอ จึงจะสามารถหาค่าได้

7. ความหนืด (*Viscosity*)

ความหนืดของแว็กซ์ที่หลอมเหลว มีความสำคัญมากในการนำแว็กซ์ไปใช้เคลือบกระดาษ ในอุตสาหกรรม การวัดค่าความหนืดของปิโตรเลียมแว็กซ์ จะผสมกับ additive แล้วทำ hot melt อธิบายไว้ใน ASTM D 2669-67

1.7 การประยุกต์ใช้และการนำไปใช้ประโยชน์

ปิโตรเลียมแว็กซ์แม้จะไม่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา แต่ในทางอุตสาหกรรมมีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างมากมาย ดังต่อไปนี้

1. อุตสาหกรรมทำเทียนไข (*candle marking industries*)

ในอุตสาหกรรมทำเทียนไขนี้ถือว่าเป็นผู้ที่ใช้ปิโตรเลียมแว็กซ์มากเป็นอันดับหนึ่ง โดยปกติจะใช้พาราฟินแว็กซ์ประเภท fully refined paraffin wax เป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังมีการเติมสารเติมแต่ง (additive) เช่นกรดสเตียริก (แว็กซ์สังเคราะห์) ปาล์มแว็กซ์ และไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ ผลิตโดยการใช้แม่พิมพ์ แต่ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมใหญ่ๆ มีการใช้วิธีอัดรีด (extrusion) กันอย่างกว้างขวาง

2. อุตสาหกรรมกระดาษ (*paper industries*)

ใช้เป็น sizing agent ซึ่งทำให้กระดาษมีคุณสมบัติดีขึ้น เช่น ลดการม้วนงอของกระดาษ เพิ่มความต้านทานน้ำ หมึก และกรด นอกจากนี้ยังทำให้กระดาษมีผิวเป็นมัน และยังใช้ในการเคลือบเพื่อความแข็งแรง เช่น กระดาษไข เคลือบด้านในของกล่องบรรจุอาหาร

3. อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ (*packaging industry*)

สำหรับกระดาษที่ใช้ในการบรรจุภัณฑ์ (packaging paper) และหีบห่อ (wrapping paper) มักจะปรับปรุงคุณภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งกระบวนการนี้จะรวมไปถึงการทำกระดาษให้มีความต้านทานต่อน้ำและไอน้ำ นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการเพิ่มการทนต่อแรงดึงให้กับกระดาษ

4. สารประกอบในอุตสาหกรรมยาง (*rubber compoundin*)

ปิโตรเลียมแว็กซ์ถูกใช้ในอุตสาหกรรมยาง เพื่อที่จะลดและป้องกันการแตกสลายเนื่องจากโอโซนของพันธะคู่ในโมเลกุลยาง โดยจะทำการละลายในยางที่ทำวัลคาไนเซชัน(vulcanization) แต่จะเข้ากันไม่ได้หรือไม่ละลายเมื่อมีอุณหภูมิต่ำลง ปิโตรเลียมแว็กซ์จะเกิดเป็นแผ่นเกาะที่ผิวหน้าของยางซึ่งคล้ายกับเป็นการป้องกันทางกายภาพจากการถูกโอโซนและอากาศ โดยปกติมักจะใช้ปิโตรเลียมแว็กซ์ชนิด พาราฟินแว็กซ์ในปริมาณ 0.1-3% ของน้ำหนัก

5. สารขัดเงา (*polishes*)

ปิโตรเลียมแว็กซ์สามารถใช้ผสมกับสารเคมีอื่นๆ เพื่อเป็นสารขัดเงาได้ โดยแว็กซ์จะกระจายตัวอยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่ระเหยได้ หรือกระจายตัวอยู่ในของเหลว (aqueous dispersions) เช่น ครีมน

6. *Wax emulsions*

โดยการผสมแว็กซ์ที่หลอมเหลวกับน้ำที่ร้อนซึ่งจะกลายเป็นอิมัลชันไฟอิ่งแว็กซ์(emulsifying wax) ซึ่งการเย็นตัวจะเป็นตัวควบคุมขนาดของอนุภาคและความหนืด นอกจากนี้ยังมีการผสมพอลิเมอร์เรซินลงไปด้วย ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษและกระดาษแข็ง (paperboard)

1.8 ความเป็นพิษของแว็กซ์

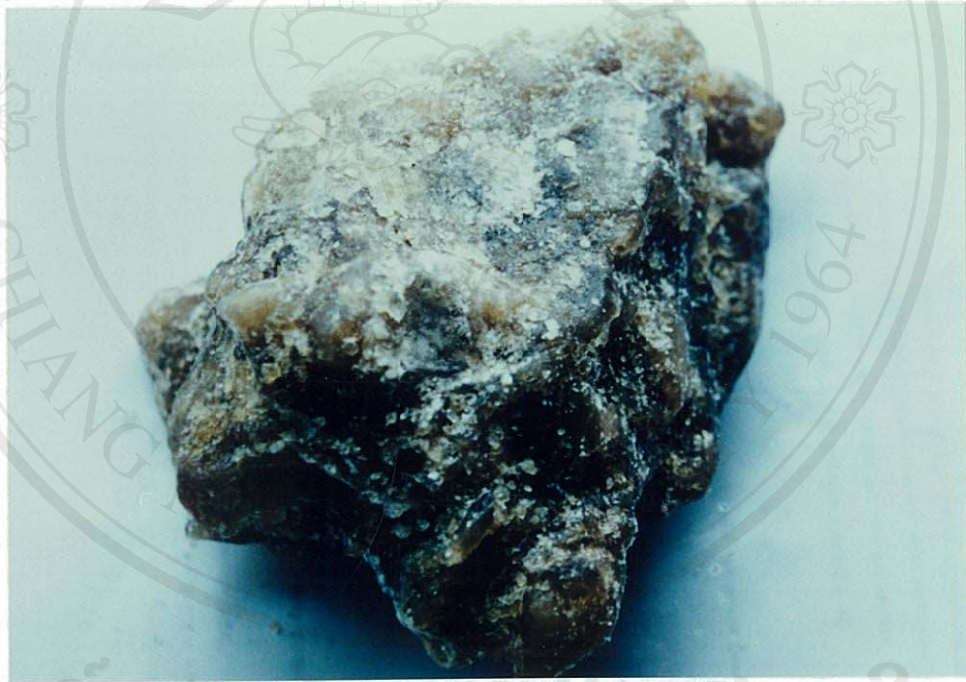
เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbon) เป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen) ซึ่งสารประกอบดังกล่าวเป็นสารที่มีจุดเดือดสูง อาจปะปนอยู่กับปิโตรเลียมแว็กซ์ได้ หลายประเทศได้ตระหนักถึงอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค ซึ่งเกิดจากการนำผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมแว็กซ์มาใช้ในการบรรจุหีบห่ออาหาร ปิโตรเลียมแว็กซ์ที่จะนำไปใช้จึงต้องกำจัดสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ดังกล่าวออกเสียก่อน โดยใช้ dimethyl sulfoxide แล้วนำเอาปิโตรเลียมแว็กซ์มาวัดการดูดกลืนรังสีช่วง ยูวี-วิสิเบิล เพื่อตรวจสอบว่าไม่มีโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนนี้

จากการตรวจหาสารก่อมะเร็งในแว็กซ์โดยใช้โครมาโตกราฟีกระดาษ (paper chromatography) ซึ่งเป็นวิธีของเยอรมัน พบว่ามีสารก่อมะเร็งชนิดโพลีอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polyaromatic hydrocarbon) ถึง 3 ชนิด Shubik และผู้ร่วมงานได้ทดลองใช้ปิโตรเลียมที่กำจัดสารก่อมะเร็งออกแล้วมาทดลองกับสัตว์ พบว่าไม่มีอันตรายต่อสัตว์ทดลองแต่ประการใด

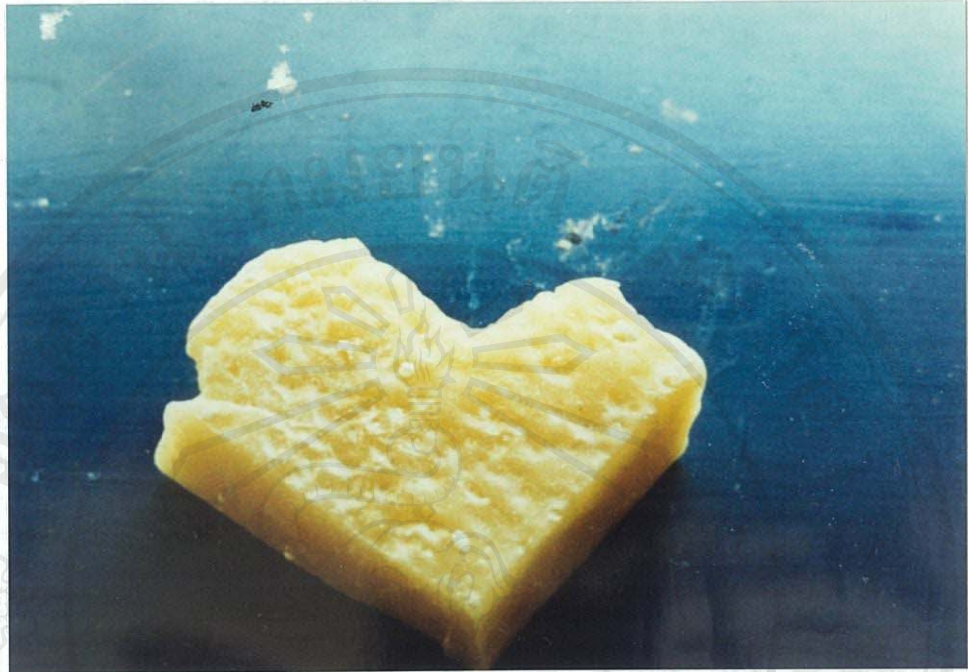
2. การทดลอง

2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของปิโตรเลียมแวกซ์ ตัวอย่างแวกซ์ชนิดอื่น ๆ และผลิตภัณฑ์เทียนไข

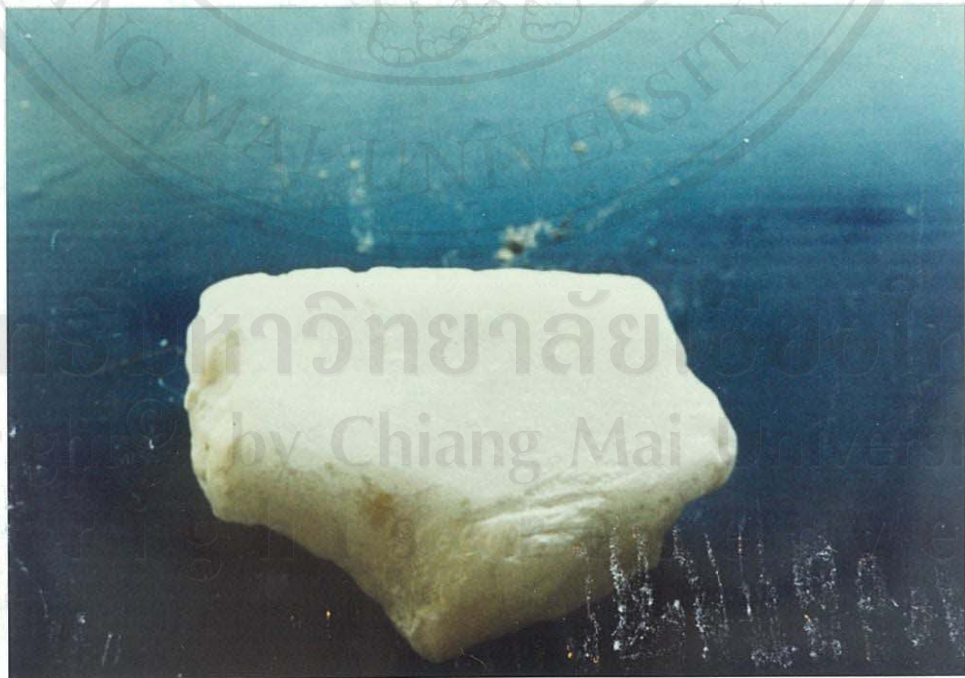
2.1.1 สารตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ตัวอย่างแวกซ์จากโรงงานผลิตเทียนไขในจังหวัดเชียงใหม่ ประกอบด้วย แวกซ์จากฝางฟอกสีและไม่ฟอกสี, แวกซ์จากจีน, ปาล์มแวกซ์ และไมโครแวกซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 - 2.5 ตัวอย่างเทียนไขประกอบด้วย เทียนไขชนิดไม่หวังผลสีเหลือง เทียนไขชนิดหวังผลสีส้ม เทียนไขชนิดหวังผลสีแดง และเทียนไขชนิดหวังผลสีขาว



รูปที่ 2.1 แวกซ์จากฝางไม่ฟอกสี



รูปที่ 2.2 แวกซ์จากฝางฟอกสี



รูปที่ 2.3 แวกซ์จากจีน



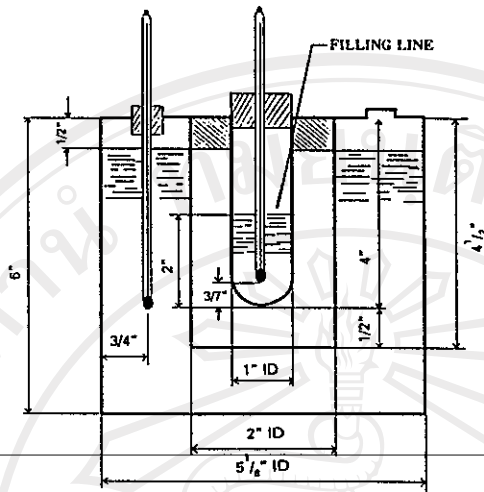
รูปที่ 2.4 ปาล์มแวกซ์



รูปที่ 2.5 ไมโครแวกซ์

2.1.2. เครื่องมือการทดลอง เครื่องมือหาจุดหลอมเหลวจากกราฟการเย็นตัว ดังแสดงในรูปที่

2.6



รูปที่ 2.6 เครื่องมือหาจุดหลอมเหลวจากกราฟการเย็นตัว

เครื่องมือหาจุดหลอมเหลวแบบบูชีเอสเอ็มพี 20 (Buchi SMP-20 Melting Point Determinater), Stormer Viscometer เพื่อหาความหนืด และเครื่องมือวัดความขาว (Universal-Me Beinheil UME 3)

2.1.3 การทดลองและวิธีการ ในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์หาความหนาแน่น ปริมาณน้ำมัน ความหนืด ความขาว และจุดหลอมเหลว

2.1.3.1 วิเคราะห์หาความหนาแน่น หาความหนาแน่นของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเทียนไข ทั้ง 5 ชนิด

2.1.3.2 หาปริมาณน้ำมันที่เจือปนในปิโตรเลียมแวกซ์ โดยวิธีการตกผลึก ใช้สารละลายผสมระหว่าง เมทิล เอทิล คีโตน (Methyl Ethyl Ketone) ต่อโทลูอิน (Toluene) ในอัตราส่วน 1.5 ต่อ 1 โดยปริมาตร แล้วนำไปผสมกับแวกซ์ตัวอย่างในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก นำสารผสมที่ได้ไปอุ่นที่อุณหภูมิประมาณ 40 - 50 องศาเซลเซียส จนกระทั่งรวมเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว มาทำการตกผลึกโดยแช่ในน้ำเย็นจนเกิดผลึกสมบูรณ์ จากนั้นนำไปกรองภายใต้สุญญากาศและหาปริมาณน้ำมันที่เจือปนได้

2.1.3.3 ความหนืด ใช้เครื่องมือ Stormer Viscometer หาความหนืดของตัวอย่างแวกซ์ โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียสตามลำดับ

2.1.3.4 ความขาว หาค่าความขาวของตัวอย่างแวกซ์ทั้ง 5 ชนิดโดยเครื่องมือวัดค่าความขาวและใช้สารมาตรฐานคือ แบริท์ที่มีค่าความขาว 99 % เป็นตัวเปรียบเทียบ นำตัวอย่างมาประมาณ 20 กรัม บรรจุในแม่แบบทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร จากนั้นกดอัด

ด้วยเครื่องไฮดรอลิกความดัน 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะได้ตัวอย่างหนาประมาณ 1 เซนติเมตร

2.1.3.4 หลอมเหลว การหาจุดหลอมเหลวทำ 2 วิธี คือ

1. หากจากกราฟการเย็นตัวโดยเครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้น นำสารตัวอย่างไปอุ่นจนหลอมเหลวใส่ในหลอดทดลอง นำมาประกอบเครื่องมือดังรูปที่ 2.6 บันทึกอุณหภูมิกับเวลาทุก ๆ 30 วินาที นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จุดเปลี่ยนความชันที่ได้คือจุดหลอมเหลวของสารตัวอย่าง

2. หาจุดหลอมเหลวโดยประมาณจาก Electrothermal Melting Point Apparatus จากนั้นหาจุดหลอมเหลวแบบละเอียดโดย Buchi SMP-20 Melting Point Determinater

2.2 ศึกษาวิธีทางกายภาพที่สามารถจัดน้ำมันออกจากปิโตรเลียมแวกซ์

ทำการศึกษาหาสภาวะเหมาะสมในการขจัดน้ำมันออกจากปิโตรเลียมแวกซ์ โดยใช้เครื่องอัด 2 ชนิด คือ เครื่องอัด compression molding และเครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydraulic compressor)

ตอนที่ 1 การขจัดน้ำมันออกจากปิโตรเลียมแวกซ์ โดยเครื่องอัด compression molding

1. สารตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

- ปิโตรเลียมแวกซ์จาก โรงกลั่นน้ำมันฝางซึ่งผ่านกระบวนการแยกแวกซ์แล้ว
- ปิโตรเลียมแวกซ์จาก โรงงานชาติปิโตรเคมีคอด

2. เครื่องมือการทดลอง

- เครื่องอัด compression molding ผลิตโดยบริษัท Lab Tech Engineering Company Ltd. Model SM 986 ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เครื่องอัด compression molding

3. สารเคมี

- เมทิลเอทิลคีโตน (MEK), $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_3$
- โทลูอีน (Toluene), C_7H_6

4. ผ้า

- ผ้าชั้นใน เป็นผ้าลินินที่มีลักษณะเนื้อละเอียด เหนียว ทนต่อแรงกดอัดได้
- ผ้าชั้นนอก เป็นผ้าไนลอน

5. การทดลองและวิธีการ

5.1 การเตรียมตัวอย่างปิโตรเลียมแว็กซ์

นำปิโตรเลียมแว็กซ์จากโรงกลั่นน้ำมันฝางผสมกับปิโตรเลียมแว็กซ์จากโรงงานชาติปิโตรเลียม ด้วยอัตราส่วน 5 : 1 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปอุ่นที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส แล้วคนให้เข้ากัน เพื่อให้ปิโตรเลียมแว็กซ์ทั้งสองชนิดผสมกันเป็นอย่างดี ซึ่งจะใช้ปิโตรเลียมแว็กซ์ผสมที่ได้ตลอดการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้

5.2 การหาคุณสมบัติของปิโตรเลียมแว็กซ์ผสม

นำปิโตรเลียมแว็กซ์ผสมมาวิเคราะห์หา ความขาว จุดหลอมเหลว ความหนาแน่น และ ปริมาณน้ำมันที่เจือปนอยู่ ตามวิธีการข้อที่ 2.1.3 สำหรับการหาจุดหลอมเหลวใช้ Electrothermal Melting Point Apparatus และ Buchi SMP-20 Melting Point Determiner

5.3 การหาความดันที่เหมาะสมในการกดอัดปิโตรเลียมแว็กซ์เพื่อขจัดน้ำมันออก

1. ชั่งน้ำหนักปิโตรเลียมแว็กซ์ผสมให้ได้น้ำหนัก 60 กรัม
2. นำปิโตรเลียมแว็กซ์มาห่อด้วยผ้าลินินที่ตัดขนาด 20×20 เซนติเมตร ให้มีลักษณะเป็น ห่อสี่เหลี่ยมจำนวน 2 ชั้น
3. นำปิโตรเลียมแว็กซ์ที่ห่อแล้วมาห่ออีกครั้งหนึ่ง ด้วยผ้าไนลอนที่มีขนาดเดียวกับผ้าลินิน ในลักษณะเดียวกับห่อครั้งแรก
4. นำห่อปิโตรเลียมแว็กซ์จำนวน 2 ห่อ ไปกดอัดด้วยเครื่องกดอัด โดยใช้เวลาในการกดอัด 7 นาที ความดันในการกดอัด 600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 และ 2 โดยเปลี่ยนความดันเป็น 700 และ 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้วตามลำดับ
6. นำปิโตรเลียมแว็กซ์ที่ผ่านการกดอัดแล้วไปหาปริมาณน้ำมันที่คงเหลืออยู่ในปิโตรเลียมแว็กซ์ตามวิธีการทดลองในข้อ 2.1.3.2

5.4 การหาเวลาที่เหมาะสมในการกดอัดปิโตรเลียมแวกซ์เพื่อขจัดน้ำมันออก

1. ห่อปิโตรเลียมแวกซ์ตามวิธีดังข้อที่ 5.3
2. นำห่อปิโตรเลียมแวกซ์ไปกดอัดด้วยความดันที่เหมาะสมจากผลการทดลองในข้อที่ 5.3 โดยใช้เวลาในการกดอัด 5 นาที
3. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 และ 2 แต่เปลี่ยนเวลาที่กดอัดเป็น 5 และ 10 นาที
4. นำปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการกดอัดแล้วไปหาปริมาณน้ำมันที่คงเหลืออยู่ในปิโตรเลียมแวกซ์ตามวิธีการทดลองในข้อ 2.1.3.2

นำปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการกดอัดภายใต้สภาวะที่เหมาะสมแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปสกัดน้ำมันออกด้วยสารละลายผสมของเมธิลเอธิลคีโตนกับโทลูอิน เพื่อแยกน้ำมันที่เจือปนออกให้หมด จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาความหนาแน่น วัดค่าความขาว ตามการทดลองข้อ 2.1.3 และนำไปขึ้นรูปเทียนไข แล้วทดสอบอัตราการเผาไหม้

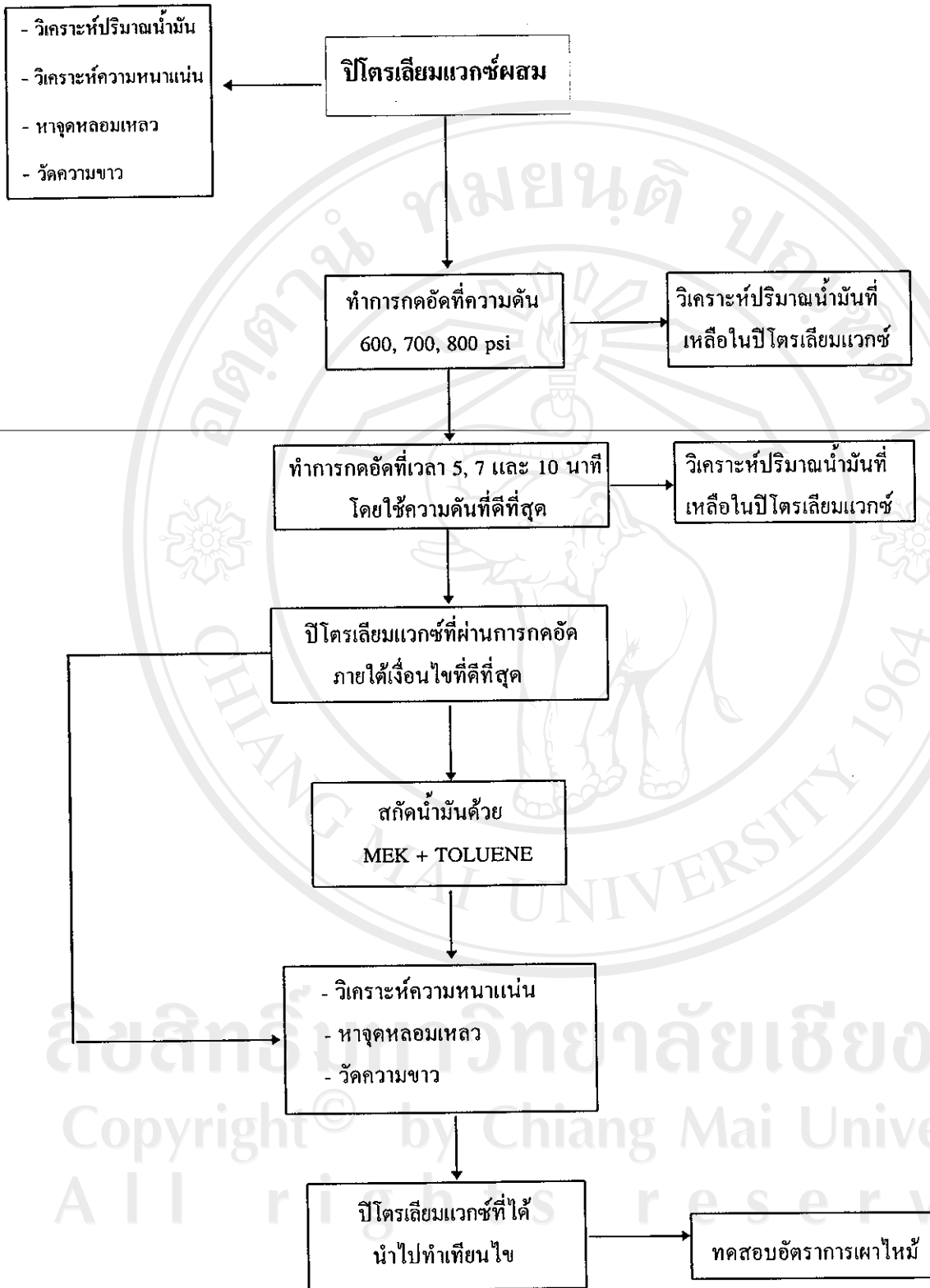
ส่วนที่ 2 นำไปวิเคราะห์ความหนาแน่นและวัดค่าความขาวตามการทดลองข้อ 2.1.3 โดยไม่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายดังกล่าว จากนั้นนำไปขึ้นรูปเทียนไข และทดสอบอัตราการเผาไหม้

โดยการหาอัตราการเผาไหม้ของปิโตรเลียมแวกซ์ทั้งสองส่วนจะทำการทดลองตามข้อ 5.5

5.5 การหาอัตราการเผาไหม้ของเทียนไขที่ทำจากปิโตรเลียมแวกซ์

1. นำปิโตรเลียมแวกซ์ส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 มาขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ ให้มีความยาว 10 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.2 เซนติเมตร โดยใส่เทียนทำจากฝ้าย
 2. ชั่งน้ำหนักเทียนไขแต่ละเล่ม บันทึกผลที่ได้
 3. บันทึกเวลาเมื่อเทียนไขถูกเผาไหม้เป็นระยะ 5 และ 10 เซนติเมตร
 4. สังเกตลักษณะการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น
- ขั้นตอนการทดลองในตอนที่ 1 สามารถสรุปได้แผนภาพที่ 1

แผนภาพที่ 1 สรุปการทดลองตอนที่ 1



ตอนที่ 2 การขจัดน้ำมันออกจากปิโตรเลียมแวกซ์โดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิก

1. สารตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

- ปิโตรเลียมแวกซ์จากโรงกลั่นน้ำมันฝางซึ่งผ่านกระบวนการแยกแวกซ์แล้ว
- ปิโตรเลียมแวกซ์จากโรงงานชาติปิโตรเคมีคอลล

2. เครื่องมือการทดลอง

- เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก ผลิตโดยบริษัท CARVER, INC. ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก

3. สารเคมี

- เมทิลเอทิลคีโตน (MEK), $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_3$
- โทลูอีน (Toluene), C_7H_6

4. ผ้า

- ผ้าชั้นใน เป็นผ้าลินินที่มีลักษณะเนื้อละเอียด เหนียว ทนต่อแรงกดอัดได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

5. การทดลองและวิธีการ

5.1 การเตรียมตัวอย่างปิโตรเลียมแวกซ์

นำปิโตรเลียมแวกซ์จากโรงกลั่นน้ำมันฟางผสมกับปิโตรเลียมแวกซ์จากโรงงานชาติปิโตรเลียม ด้วยอัตราส่วน 5 : 1 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปอุ่นที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส แล้วคนให้เข้ากัน เพื่อให้ปิโตรเลียมแวกซ์ทั้งสองชนิดผสมกันเป็นอย่างดี ซึ่งจะใช้ปิโตรเลียมแวกซ์ผสมที่ได้ตลอดการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้

5.2 การหาคุณสมบัติของปิโตรเลียมแวกซ์ผสม

นำปิโตรเลียมแวกซ์ผสมมาวิเคราะห์หา ความขาว จุดหลอมเหลว ความหนาแน่น และ ปริมาณน้ำมันที่เจือปนอยู่ ตามวิธีการข้อที่ 2.1.3 สำหรับการหาจุดหลอมเหลวใช้ Electrothermal Melting Point Apparatus และ Buchi SMP-20 Melting Point Determiner

5.3 การหาความดันที่เหมาะสมในการกดอัดปิโตรเลียมแวกซ์เพื่อขจัดน้ำมันออก

1. ชั่งน้ำหนักปิโตรเลียมแวกซ์ผสม 30 กรัม
2. นำปิโตรเลียมแวกซ์มาห่อด้วยผ้าลินินที่ตัดขนาด 20×20 เซนติเมตร มัดห่อผ้าด้วย โดยให้มีลักษณะดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะของปิโตรเลียมแวกซ์ที่ถูกห่อด้วยผ้าลินิน

3. นำห่อปิโตรเลียมเวกซ์ไปกดอัดด้วยเครื่องกดอัดแบบไฮดรอลิกโดยใช้ความดัน 4,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1, 2 และ 3 โดยเปลี่ยนความดันเป็น 6,000, 8,000 และ 10,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้วตามลำดับ

5. นำปิโตรเลียมเวกซ์ที่ผ่านการกดอัดแล้วไปหาปริมาณน้ำมันที่ขจัดออกไปได้

2.8 โครงสร้างผลึกของตัวอย่างปิโตรเลียมเวกซ์

เป็นการศึกษาผิวภายนอกของผลึกปิโตรเลียมเวกซ์จากการปล่อยให้เวกซ์จัดเรียงตัวตามธรรมชาติ

2.8.1 สารตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

- ไมโครเวกซ์
- ปาล์มเวกซ์
- เวกซ์จากจีน
- เวกซ์ผสมก่อนการกดอัด
- เวกซ์ที่ผ่านการกดอัดโดยเครื่องอัด compression molding ที่สภาวะความดันและเวลาที่เหมาะสมตามการทดลอง ข้อ 2.2 ตอนที่ 1 (ก่อนการสกัด)
- เวกซ์ที่ผ่านการกดอัดโดยเครื่องอัด compression molding ที่สภาวะความดันและเวลาที่เหมาะสมตามการทดลอง ข้อ 2.2 ตอนที่ 1 (หลังการสกัด)
- เวกซ์ที่ผ่านการกดอัดโดยเครื่องอัดไฮดรอลิก ที่สภาวะความดันและเวลาที่เหมาะสมตามการทดลอง ข้อ 2.2 ตอนที่ 2 (ก่อนการสกัด)
- เวกซ์ที่ผ่านการกดอัดโดยเครื่องอัดไฮดรอลิก ที่สภาวะความดันและเวลาที่เหมาะสมตามการทดลอง ข้อ 2.2 ตอนที่ 2 (หลังการสกัด)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

2.3.2 เครื่องมือการทดลอง

Reflection Microscope ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 Reflection Microscope

2.3.3 การเตรียมตัวอย่างปิโตรเลียมแวกซ์

1. ทำการหลอมปิโตรเลียมแวกซ์ที่ต้องการศึกษาที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส
2. เมื่อปิโตรเลียมแวกซ์หลอมหมดให้นำไปเทใส่ในแบบที่เตรียมไว้
3. ทิ้งไว้ให้เย็น และปล่อยให้ปิโตรเลียมแวกซ์แข็งตัวตามธรรมชาติแล้วจึงนำปิโตรเลียม

แวกซ์ออกจากแบบ

4. นำไปส่องกล้องจุลทรรศน์ (Reflection Microscope)

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของปิโตรเลียมแวกซ์ชนิดอื่น ๆ และผลิตภัณฑ์

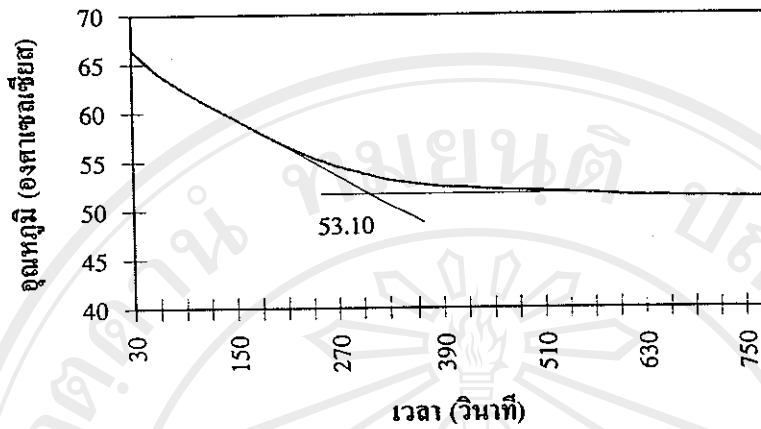
ได้ทดลองหาความหนาแน่น ปริมาณน้ำมันที่เจือปน จุดหลอมเหลว ความหนืด และความขาวของตัวอย่างแวกซ์จากโรงงานผลิตเทียนไขในจังหวัดเชียงใหม่ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3.1 และภาคผนวก ตัวอย่างการหาจุดหลอมเหลวของแวกซ์จากฝาง (ไม่ฟอกสี) โดยวิธีกราฟการเย็นตัว แสดงดังรูปที่ 3.1 ส่วนผลการทดลองหาจุดหลอมเหลวโดยเครื่อง Buchi SMP-2 แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 สรุปผลการทดลอง

ชนิด	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ปริมาณน้ำมัน (%)	จุดหลอมเหลว* ($^{\circ}\text{C}$)	ความหนืด** (cp.)	ความขาว (%)
แวกซ์จากจีน	0.5421	4.10	59.10	0.79	82.30
แวกซ์ฝาง(ฟอกสี)	0.6495	10.44	57.84	0.71	67.46
แวกซ์ฝาง(ไม่ฟอกสี)	0.5420	42.54	53.30	0.69	7.00
ไมโครแวกซ์	0.8414		99.50		22.44
ปาล์มแวกซ์	1.2101		108.20		68.16
เทียนไขชนิดไม่หวัง ผลสีเหลือง			55.60		
เทียนไขชนิดไม่หวัง ผลสีส้ม			56.30		
เทียนไขชนิดหวังผล สีแดง			59.20		
เทียนไขชนิดหวังผล สีขาว			58.90		

* จุดหลอมเหลวที่ได้จากกราฟการเย็นตัว

** ความหนืดที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการหาจุดหลอมเหลวของแว็กซ์จากฝาง (ไม่ฟอกสี) โดยวิธีการกราฟการเย็นตัว

ตารางที่ 3.2 จุดหลอมเหลวที่ได้จากเครื่อง Buchi SMP-20

ชนิด	Buchi SMP-20 (°C)
แว็กซ์จากจีน	58.04-58.84
แว็กซ์ฝาง(ฟอกสี)	54.26-55.58
แว็กซ์ฝาง(ไม่ฟอกสี)	53.02-54.10
ไมโครแว็กซ์	94.78-96.55
ปาล์มแว็กซ์	102.50-113.40
เทียนไขชนิดไม่หวังผลสีเหลือง	56.60-57.74
เทียนไขชนิดไม่หวังผลสีส้ม	56.68-57.66
เทียนไขชนิดหวังผลสีแดง	57.84-58.80
เทียนไขชนิดหวังผลสีขาว	57.88-58.80

3.2 ผลการศึกษาวิธีทางกายภาพที่สามารถจัดน้ำมันออกจากบีโตรเลียมแว็กซ์

ตอนที่ 1 การขจัดน้ำมันออกจากบีโตรเลียมแว็กซ์โดยเครื่องอัด *compression molding*

1. คุณสมบัติของบีโตรเลียมแว็กซ์ผสม

บีโตรเลียมแว็กซ์ที่ใช้นำมาจากโรงกลั่นน้ำมันฝางและโรงงานชาติบีโตรเคมีคอล ทำการผสมบีโตรเลียมแว็กซ์ทั้งสองแหล่ง โดยใช้บีโตรเลียมแว็กซ์จากโรงกลั่นน้ำมันฝางผสมกับบีโตรเลียมแว็กซ์จากโรงงานชาติบีโตรเคมีคอลด้วยอัตราส่วน 5 : 1

นำบีโตรเลียมแว็กซ์ผสมมาหาปริมาณน้ำมันที่เจือปน จุดหลอมเหลว ความหนาแน่น และค่าความขาว ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3.3, 3.4 และ 3.5

ตารางที่ 3.3 การหาปริมาณน้ำมันในแว็กซ์ผสมก่อนอัด

ครั้งที่	น้ำหนักของแว็กซ์ ก่อนสกัด (กรัม)	น้ำหนักของแว็กซ์ หลังสกัด (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่ เหลือ (กรัม)	% น้ำมันที่เหลือ
1	20.044	10.195	9.848	49.13
2	20.049	10.018	10.031	50.03
3	20.086	10.213	9.873	49.15
4	20.022	10.234	9.877	48.88
			เฉลี่ย	49.29

ปริมาณน้ำมันในบีโตรเลียมแว็กซ์ผสมตั้งต้นมีค่าเท่ากับ 49.29 %

ตารางที่ 3.4 ผลการหาค่าความขาวและความหนาแน่นของปิโตรเลียมแวกซ์ผสมเริ่มต้น

คุณสมบัติของปิโตรเลียมแวกซ์ที่ยังไม่ได้ผ่านการกดอัด			
ความขาว	เฉลี่ย	ความหนาแน่น	เฉลี่ย
15.2		0.7635	
14.7	14.8	0.6989	0.6787
14.5		0.6638	

ตารางที่ 3.5 ผลการหาจุดหลอมเหลวของปิโตรเลียมแวกซ์ผสม

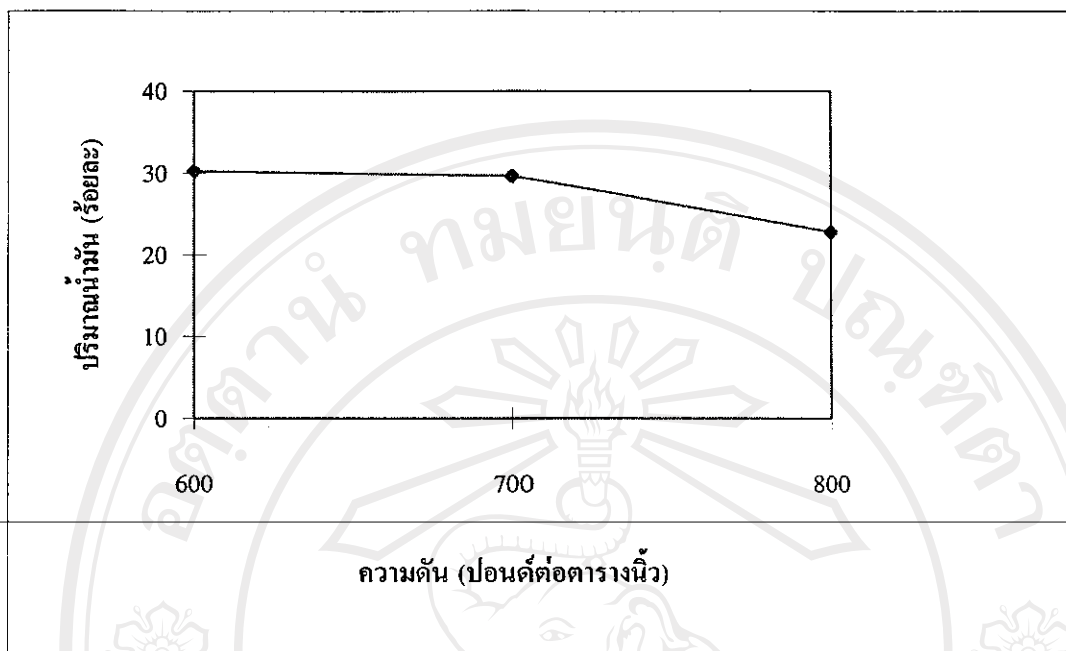
ครั้งที่	ช่วงจุดหลอมเหลว (°C)	ช่วงจุดหลอมเหลวเฉลี่ย (°C)
1	50.0 - 52.0	
2	49.5 - 51.0	49.7 - 51.5
3	49.0 - 51.0	
4	50.2 - 52.0	

2. ผลการหาความดันที่เหมาะสมที่ใช้ในการกดอัดปิโตรเลียมแวกซ์เพื่อขจัดน้ำมันออก

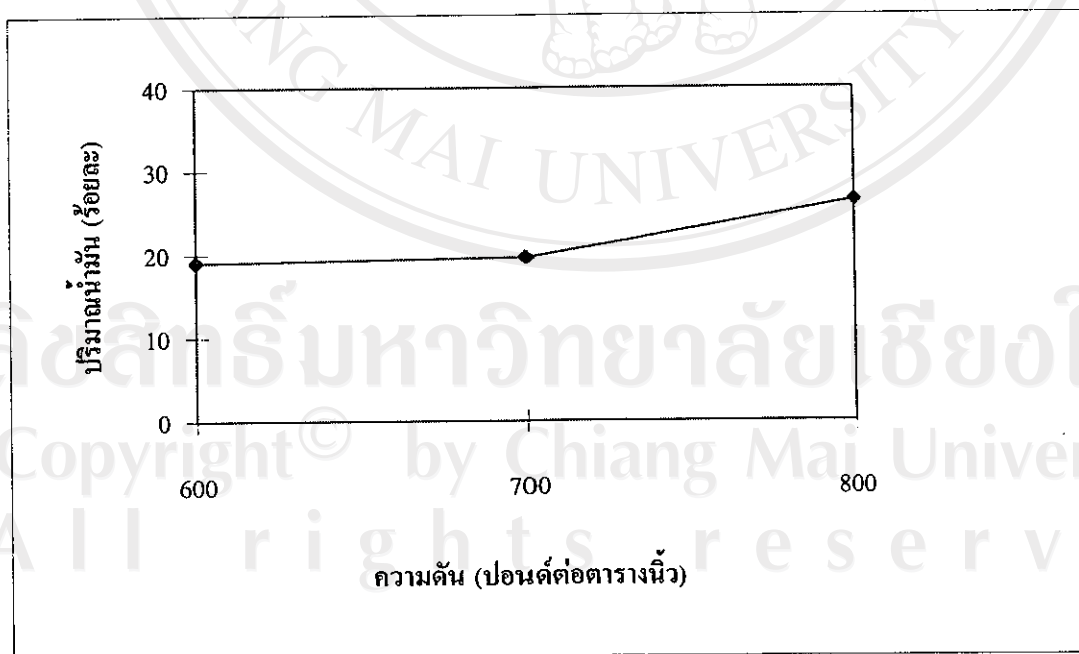
ปิโตรเลียมแวกซ์จะถูกอัดตามวิธีการทดลองข้อ 2.2 ตอนที่ 1 เพื่อหาความดันที่เหมาะสมซึ่งสามารถขจัดปริมาณน้ำมันออกได้มากที่สุด ปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่ในปิโตรเลียมแวกซ์สามารถวิเคราะห์โดยใช้สารละลายผสมระหว่างเมธิลเฮริลดีโตนกับ โทลูอินตามวิธีการทดลองข้อ 2.1.3 ซึ่งปิโตรเลียมแวกซ์จะถูกสกัดน้ำมันออกโดยวิธีทางเคมี ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3.6 และรูปที่ 3.2 และ 3.3

ตารางที่ 3.6 ผลการหาร้อยละของน้ำมันที่จัดได้หลังการกดอัดที่ความดัน 600, 700 และ 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ความดัน (Psi)	ครั้งที่	น้ำหนัก ก่อนสกัด (g)	น้ำหนัก ก่อนสกัด (g)	ปริมาณน้ำ มันที่เหลือ (g)	% น้ำมันที่ เหลือ	% น้ำมันที่ จัดออก
600	1	20.030	13.945	6.085	30.38	18.91
	2	20.014	14.048	5.966	29.81	19.48
	3	20.019	13.771	6.419	30.68	18.61
	4	20.036	13.981	6.055	30.22	19.07
				เฉลี่ย	30.27	19.01
700	1	20.035	14.036	5.999	29.94	19.35
	2	20.015	14.107	5.908	29.52	19.77
	3	20.009	14.105	5.904	29.50	19.79
	4	20.023	14.044	5.979	29.86	19.43
				เฉลี่ย	29.70	19.58
800	1	20.034	15.274	4.760	23.76	25.53
	2	20.013	15.506	4.507	22.52	26.77
	3	20.012	15.974	4.034	20.18	29.11
	4	20.017	15.033	4.989	24.89	24.40
				เฉลี่ย	22.84	26.45



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ใช้กดอัดกับร้อยละน้ำมันที่เหลือ



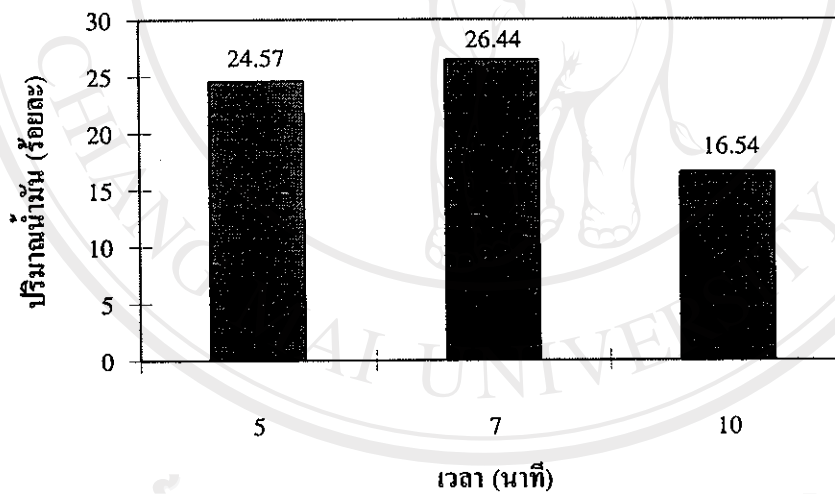
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ใช้กดอัดกับร้อยละน้ำมันที่จัดได้

3. ผลการหาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการกดอัดปิโตรเลียมแก๊สเพื่อขจัดน้ำมันออก

ปิโตรเลียมแก๊สจะถูกอัดที่ความดัน 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้วโดยทำการกดอัดที่เวลา 7 และ 10 นาที จากนั้นนำปิโตรเลียมแก๊สที่ผ่านการกดอัดมาหาปริมาณน้ำมันที่สามารถขจัดออก ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.7 และ รูปที่ 3.4

ตารางที่ 3.7 ผลการกดอัดที่เวลา 5, 7 และ 10 นาทีกับร้อยละของน้ำมันที่ขจัดได้

เวลาในการกด (นาที)	ร้อยละน้ำมันที่ขจัดได้				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ค่าเฉลี่ย
5	24.81	24.62	24.34	24.51	24.57
7	26.40	26.55	26.43	26.38	26.44
10	16.65	16.73	16.28	16.50	16.54



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่ขจัดออกจากปิโตรเลียมแก๊สและเวลาที่ใช้ในการกดอัด

สรุป : การกดอัดที่เวลา 7 นาทีสามารถขจัดน้ำมันออกได้เป็นปริมาณมากที่สุดดังนั้นเวลา 7 นาทีจึงเหมาะสมในการกดอัด

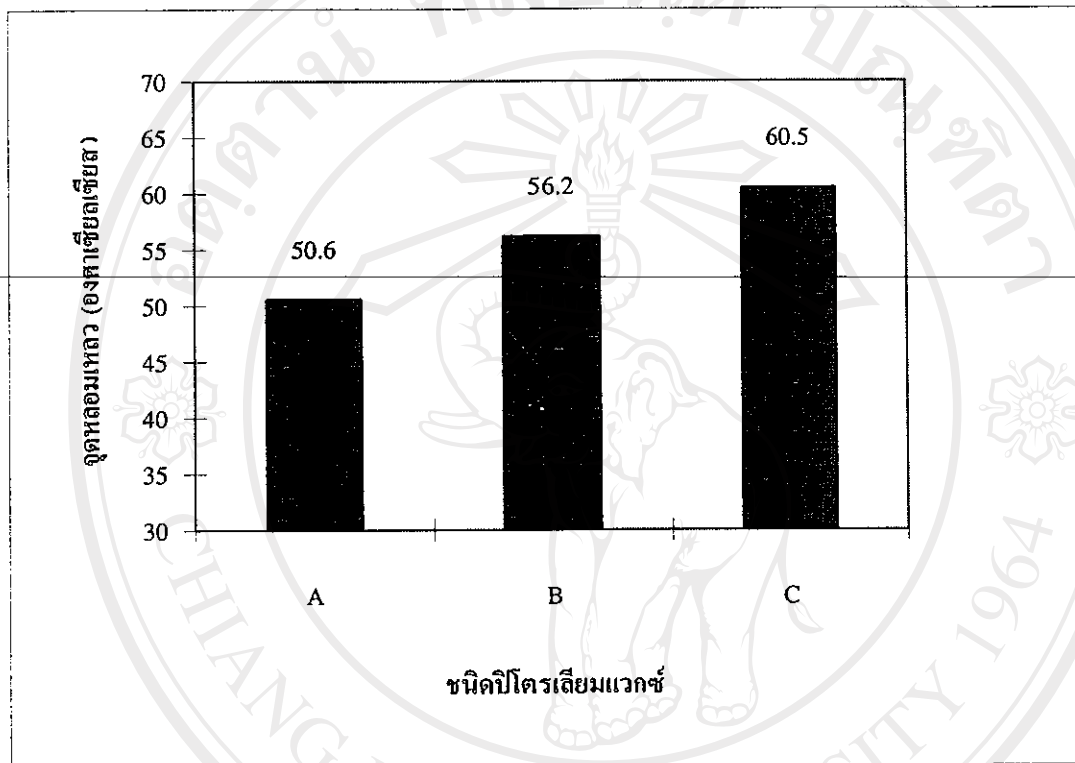
หมายเหตุ : เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการกดอัดคือกดอัดที่ความดัน 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 7 นาที

4. ผลการหาจุดหลอมเหลวของปีโตรเลียมแวกซ์

นำปีโตรเลียมแวกซ์และปีโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการทดลองตามตอนที่ 1 ภายใต้งี้อุ่นใจที่เหมาะสม มาหาจุดหลอมเหลวตามวิธีการทดลองที่ 2.3.1 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างจุดหลอมเหลวของปีโตรเลียมแวกซ์ก่อนกดอัด หลังกดอัด และปีโตรเลียมแวกซ์ที่กดอัดและสกัดน้ำมันแล้วด้วยสารละลายผสมเมธิลเอธิลคีโตนและโทลูอีน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.8 และรูปที่ 3.5

ตารางที่ 3.8 ผลการหาจุดหลอมเหลวของปีโตรเลียมแวกซ์

ปีโตรเลียม แวกซ์	ครั้งที่	ช่วงจุดหลอม เหลว (°C)	ผลต่าง (°C)	ช่วงจุดหลอม เหลว (°C)	จุดหลอมเหลว เฉลี่ย (°C)
ก่อนอัด	1	50.0 - 52.0	2	49.7 - 51.5	50.6
	2	49.5 - 51.0	1.5		
	3	49.0 - 51.0	2		
	4	50.5 - 52.0	1.5		
หลังอัด	1	55.0 - 56.0	1	55.5 - 56.8	56.2
	2	56.0 - 57.0	1		
	3	56.0 - 57.5	1.5		
	4	55.0 - 56.5	1.5		
หลังสกัด	1	60.0 - 62.0	2	59.8 - 61.2	60.2
	2	60.0 - 61.0	1		
	3	60.0 - 61.0	1		
	4	59.0 - 61.0	1		



A : ปีโตรเลียมแวกซ์ก่อนกดอัด

B : ปีโตรเลียมแวกซ์หลังกดอัด

C : ปีโตรเลียมแวกซ์หลังกดอัดและสกัดน้ำมันออกแล้ว

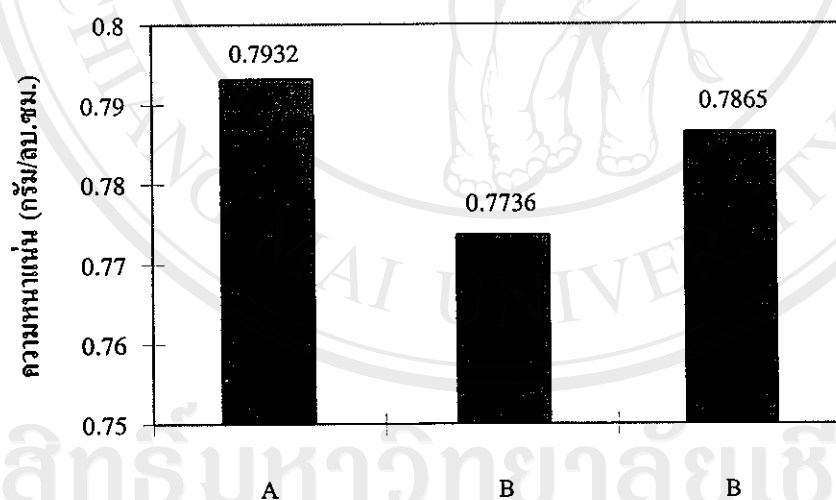
รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดหลอมเหลวกับชนิดของปีโตรเลียมแวกซ์

5. ผลการหาความหนาแน่นของปิโตรเลียมแวกซ์

กดอัดปิโตรเลียมแวกซ์ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม (จากผลการทดลองข้อ 2 และ 3) แล้วนำมาสกัดน้ำมันออก และหาความหนาแน่นเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของปิโตรเลียมแวกซ์ก่อนการกดอัด หลังการกดอัด และปิโตรเลียมแวกซ์ที่กดอัดและสกัดน้ำมันออกแล้ว ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3.9 และรูปที่ 3.6

ตารางที่ 3.9 ผลการหาความหนาแน่นของปิโตรเลียมแวกซ์

ครั้งที่	ความหนาแน่นของปิโตรเลียมแวกซ์ (g/cm^3)		
	ก่อนกดอัด	หลังกดอัด	หลังกดอัดและสกัดน้ำมัน
1	0.6735	0.7363	0.7932
2	0.6989	0.7554	0.7736
3	0.6683	0.7681	0.7865
เฉลี่ย	0.6802	0.7533	0.7844



ชนิดปิโตรเลียมแวกซ์

A : ปิโตรเลียมแวกซ์ก่อนกดอัด

B : ปิโตรเลียมแวกซ์หลังกดอัด

C : ปิโตรเลียมแวกซ์หลังกดอัดและสกัดน้ำมันออกแล้ว

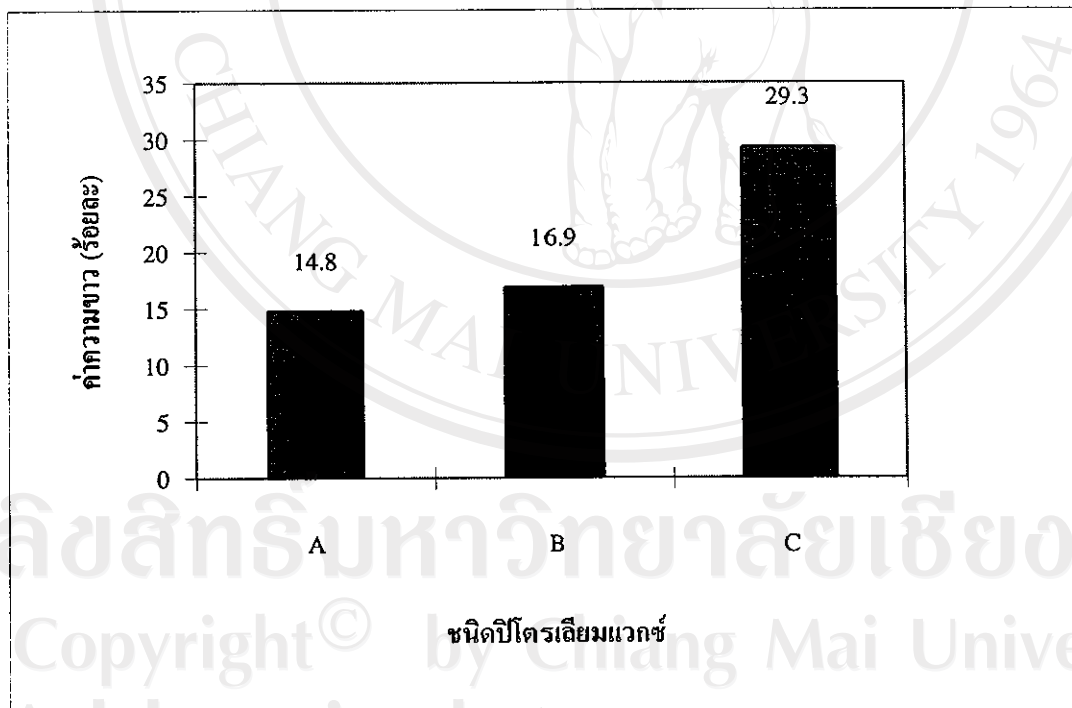
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับชนิดของปิโตรเลียมแวกซ์

6. ผลการวัดค่าความขาวของปิโตรเลียมแวกซ์

นำปิโตรเลียมแวกซ์ก่อนการกวดอัด หลังการกวดอัด และปิโตรเลียมแวกซ์ที่กวดอัดและสกัดน้ำมันออกแล้วมาทำการวัดค่าความขาว ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.10 และรูปที่ 3.7

ตารางที่ 3.10 ผลการวัดค่าความขาวของปิโตรเลียมแวกซ์

ครั้งที่	ค่าความขาวของปิโตรเลียมแวกซ์ (ร้อยละ)		
	ก่อนกวดอัด	หลังกวดอัด	หลังกวดอัดและสกัดน้ำมัน
1	15.8	16.9	31.0
2	15.7	16.8	30.6
3	13.4	16.7	28.1
4	14.3	16.7	27.8
5	14.7	17.3	29.1
เฉลี่ย	14.8	16.9	29.3



A : ปิโตรเลียมแวกซ์ก่อนกวดอัด

B : ปิโตรเลียมแวกซ์หลังกวดอัด

C : ปิโตรเลียมแวกซ์หลังกวดอัดและสกัดน้ำมันออก

รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขาวกับชนิดของปิโตรเลียมแวกซ์

7. ผลการวัดอัตราการเผาไหม้ของปิโตรเลียมแวกซ์หลังการกดอัดและปิโตรเลียมแวกซ์หลังการกดอัดและสกัดน้ำมันแล้ว

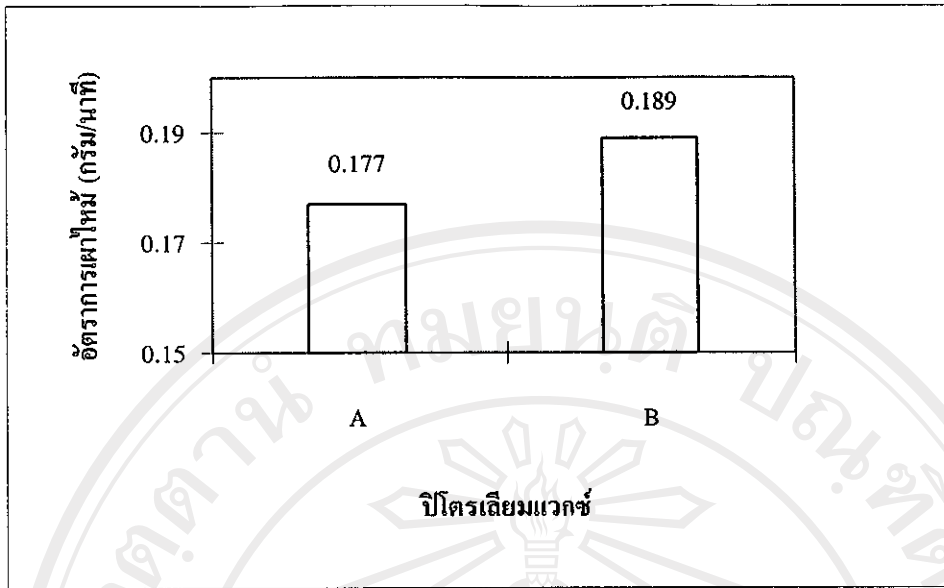
ปิโตรเลียมแวกซ์หลังการกดอัดและปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการกดอัดและสกัดน้ำมันแล้ว มาขึ้นรูปทำเทียนไขตามวิธีการทดลองข้อ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3.11, 3.12 รูปที่ 3.8, 3.9, 3.10 และ 3.11

ตารางที่ 3.11 ผลการทดลองแสดงเวลาการเผาไหม้ของปิโตรเลียมแวกซ์

เล่มที่	น้ำหนัก (กรัม)	เวลาในการเผาไหม้ที่ระยะทาง 5 ซม.(นาท)	เวลาในการเผาไหม้ที่ระยะทาง 10 ซม.(นาท)
ปิโตรเลียมแวกซ์ที่กดอัด			
1	11.607	32.33	66.34
2	11.938	33.51	67.07
3	11.739	32.45	66.23
	เฉลี่ย	32.76	66.55
ปิโตรเลียมแวกซ์ที่กดอัดและสกัดน้ำมันแล้ว			
1	11.615	30.27	63.03
2	11.717	31.38	64.08
3	11.581	30.06	60.53
	เฉลี่ย	30.57	62.55

ตารางที่ 3.12 อัตราการเผาไหม้ของปิโตรเลียมแวกซ์ในช่วงระยะทาง 5 และ 10 ซม.

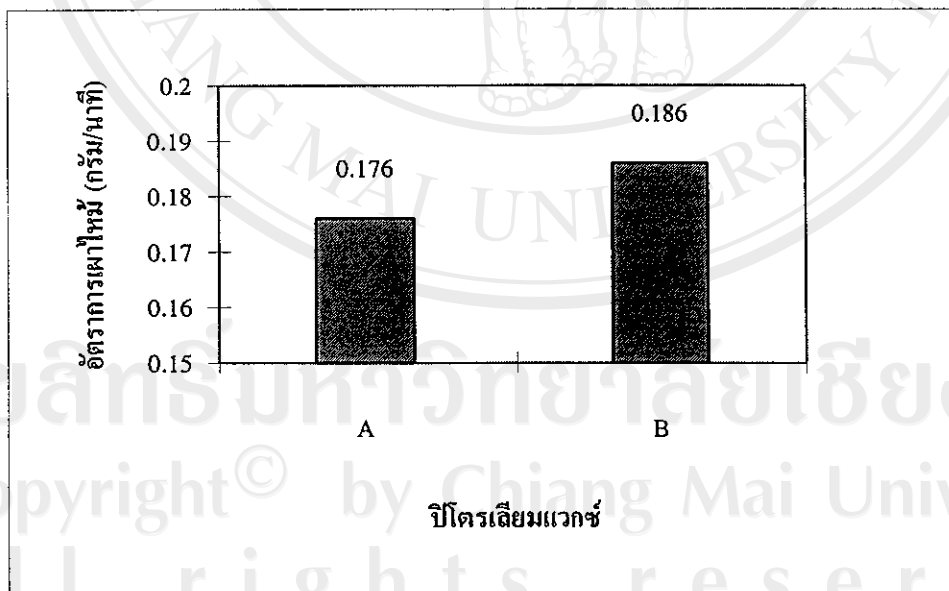
เล่มที่	อัตราการเผาไหม้ในช่วงระยะทาง 0-5 ซม.				อัตราการเผาไหม้ในช่วงระยะทาง 5-10 ซม.			
	ปิโตรเลียมแวกซ์ที่กดอัด		ปิโตรเลียมแวกซ์ที่กดอัดและสกัดน้ำมันแล้ว		ปิโตรเลียมแวกซ์ที่กดอัด		ปิโตรเลียมแวกซ์ที่กดอัดและสกัดน้ำมันแล้ว	
	g/min	cm/min	g/min	cm/min	g/min	cm/min	g/min	cm/min
1	0.178	0.154	0.191	0.164	0.174	0.150	0.184	0.159
2	0.176	0.148	0.185	0.158	0.178	0.149	0.183	0.156
3	0.179	0.153	0.192	0.166	0.177	0.151	0.190	0.164
เฉลี่ย	0.177	0.152	0.189	0.163	0.176	0.150	0.186	0.160



A : ปิโตรเลียมแวกซ์ซึ่งกดอัดแล้ว

B : ปิโตรเลียมแวกซ์ซึ่งกดอัดและสกัดน้ำมันแล้ว

รูปที่ 3.8 อัตราการเผาไหม้ของปิโตรเลียมแวกซ์ในช่วงระยะทาง 0 - 5 เซนติเมตร



A : ปิโตรเลียมแวกซ์ซึ่งกดอัดแล้ว

B : ปิโตรเลียมแวกซ์ซึ่งกดอัดและสกัดน้ำมันแล้ว

รูปที่ 3.9 อัตราการเผาไหม้ของปิโตรเลียมแวกซ์ในช่วงระยะทาง 5 - 10 เซนติเมตร

8. ภาพถ่ายของปิโตรเลียมแวกซ์

ตัวอย่างภาพถ่ายของปิโตรเลียมแวกซ์ก่อนการทดลองและหลังการทดลองแสดงดังในรูปที่ 3.10, 3.11, 3.12 และ 3.13



รูปที่ 3.10 ปิโตรเลียมแวกซ์ก่อนการกดอัด



รูปที่ 3.11 ปิโตรเลียมแวกซ์หลังการกดอัด



รูปที่ 3.12 ปิโตรเลียมแวกซ์หลังการสกัด



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างเทียนไขซึ่งผลิตจากปิโตรเลียมแวกซ์

ตอนที่ 2 การขจัดน้ำมันออกจากปิโตรเลียมแวกซ์โดยเครื่องอัดไฮดรอลิก

1. ผลการหาความดันที่เหมาะสมในการกดอัดปิโตรเลียมแวกซ์เพื่อขจัดน้ำมันออก

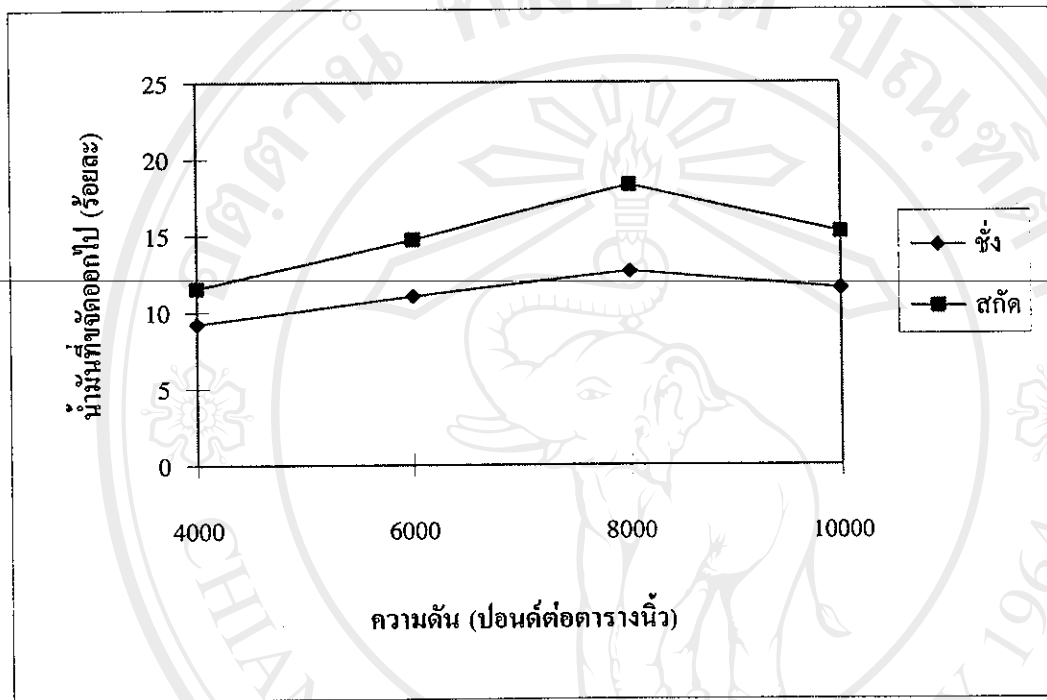
นำปิโตรเลียมแวกซ์มากกดอัดโดยใช้เครื่องกดอัดแบบไฮดรอลิก โดยทำการเปลี่ยนแปลงความดันเป็น 4,000, 6,000, 8,000 และ 10,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้วตามลำดับ จากนั้นนำแวกซ์ที่ผ่านการกดอัดแล้ว ไปหาปริมาณน้ำมันที่ขจัดออกไปได้ โดยการชั่งด้วยเครื่องชั่งและการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมเมทิลเอธิลคีโตนและโทลูอิน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 ผลการหาร้อยละของน้ำมันที่ขจัดออกไปหลังการกดอัดที่ความดันต่าง ๆ

ความดัน (psi)	ร้อยละน้ำมันที่ขจัดออกไป						เฉลี่ย	
	1	2	3	4	5	6		
4000	ชั่ง	9.38	9.57	9.32	8.41	8.58	10.09	9.22
	สกัด	10.38	12.74	11.52	11.40	11.26	11.95	11.54
6000	ชั่ง	10.47	10.38	10.30	9.78	12.85	11.90	11.02
	สกัด	13.91	15.09	14.44	15.08	16.16	13.60	14.71
8000	ชั่ง	12.35	12.47	11.68	11.51	13.35	14.46	12.64
	สกัด	17.79	18.68	17.25	18.08	17.54	20.48	18.30
10000	ชั่ง	11.07	11.46	10.86	10.76	12.52	12.47	11.52
	สกัด	14.79	14.02	15.49	14.41	16.96	15.68	15.22

หมายเหตุ : ชั่งหมายถึง การหาน้ำหนักที่หายไปของปิโตรเลียมแวกซ์หลังการกดอัด โดยใช้เครื่องชั่ง

สกัดหมายถึง การทดลองตามข้อ 2.1.3.2



ซัง หมายถึง การหาน้ำมันที่หายไปของปิโตรเลียมแวกซ์หลังการกดอัดโดยใช้เครื่องซัง
 สกัด หมายถึง การทดลองตามข้อ 2.1.3.2

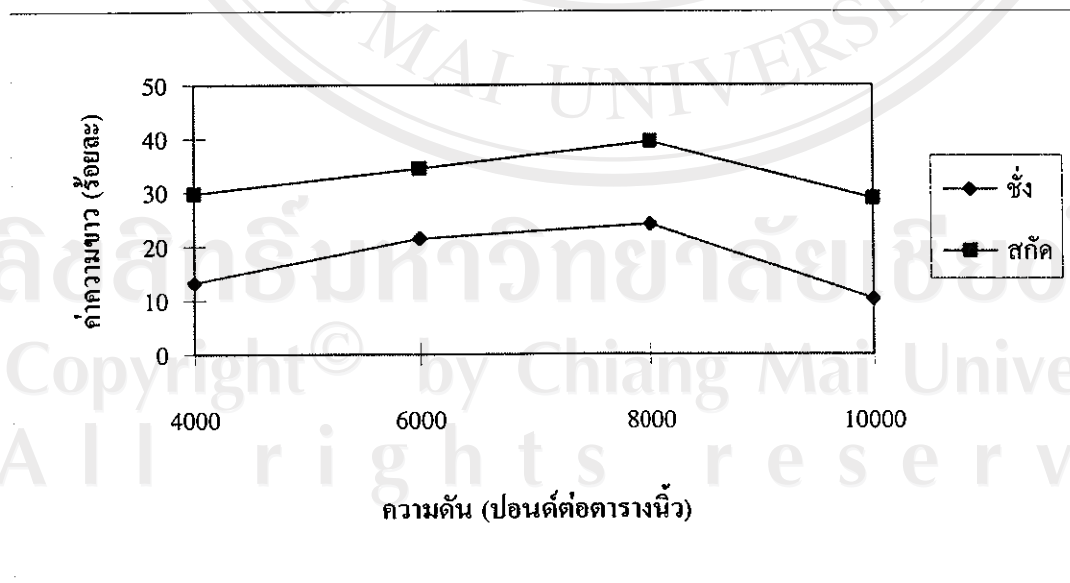
รูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ใช้กดอัดกับร้อยละของน้ำมันที่จัดออกได้

2. ความขาวของปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดันต่าง ๆ

นำปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการกดอัด ณ.ความดันต่าง ๆ มาหาค่าความขาว โดยใช้แบไรท์ เป็นสารมาตรฐาน ซึ่งมีค่าความขาวเป็นร้อยละ 99 ค่าความขาวที่ได้จึงเป็นค่าที่เทียบกับความขาวของแบไรท์ ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 3.14 และรูป 3.15

ตารางที่ 3.14 ผลการหาค่าความยาวของปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดันต่าง ๆ

ความดัน (psi)	ความยาว (ร้อยละ)						
	1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย
4000							
ก่อนสกัด	12.0	13.9	12.8	13.6	14.2	13.2	13.3
หลังสกัด	28.2	30.7	28.7	29.9	31.5	29.5	29.8
6000							
ก่อนสกัด	19.1	22.5	20.5	22.0	23.1	21.6	13.8
หลังสกัด	32.5	34.9	33.5	34.0	36.6	33.7	34.2
8000							
ก่อนสกัด	20.2	25.8	23.2	25.1	26.4	23.9	15.2
หลังสกัด	38.0	40.8	38.4	39.6	41.3	38.9	39.5
10000							
ก่อนสกัด	8.8	11.4	9.2	10.8	11.9	9.7	10.3
หลังสกัด	27.4	29.7	28.0	29.2	31.0	28.1	28.9



รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ใช้ในการกดอัดกับค่าความยาวของปิโตรเลียมแวกซ์

3. จุดหลอมเหลวของปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดันต่าง ๆ

นำปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการกดอัดแล้วมาหาจุดหลอมเหลวโดยใช้ Electrothermal Melting Point Apparatus หาจุดหลอมเหลวโดยประมาณก่อนจากนั้นจึงใช้ Buchi SM-20 หาอย่างละเอียด ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 3.15

ตารางที่ 3.15 ผลการหาจุดหลอมเหลวของปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดันต่าง ๆ

ความดัน (psi)		ช่วงจุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	
		ก่อนสกัด	หลังสกัด
4000	1	54.05 - 57.0	58.5 - 59.0
	2	53.5 - 56.0	58.5 - 59.0
	3	54.0 - 56.5	57.5 - 58.0
	4	54.0 - 55.5	59.0 - 59.5
	5	53.5 - 55.0	58.0 - 58.5
	6	54.5 - 56.0	59.0 - 59.5
เฉลี่ย		54.0 - 56.0	58.4 - 59.0
6000	1	54.5 - 56.5	59.0 - 59.5
	2	53.5 - 55.0	58.5 - 59.0
	3	55.0 - 57.0	59.5 - 60.5
	4	54.0 - 55.5	58.0 - 59.0
	5	54.0 - 57.5	58.5 - 59.5
	6	53.0 - 54.5	59.0 - 59.5
เฉลี่ย		54.0 - 56.0	59.0 - 59.5
8000	1	55.5 - 57.5	59.0 - 59.5
	2	55.0 - 57.0	59.5 - 60.0
	3	55.5 - 57.0	59.5 - 60.0
	4	55.5 - 57.0	59.0 - 59.5
	5	55.0 - 56.0	58.5 - 59.0
	6	56.5 - 57.5	58.5 - 59.0
เฉลี่ย		55.5 - 57.0	59.0 - 59.5

ตารางที่ 3.15 (ต่อ)

ความดัน (psi)	ช่วงจุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)		
	ก่อนสกัด	หลังสกัด	
10000	1	54.5 - 56.0	58.0 - 58.5
	2	55.0 - 56.5	59.0 - 59.5
	3	55.0 - 56.5	58.5 - 59.0
	4	54.5 - 56.0	58.5 - 59.0
	5	55.5 - 56.5	59.0 - 59.5
	6	55.5 - 57.5	58.0 - 58.5
เฉลี่ย	55.0 - 56.5	58.5 - 59.0	

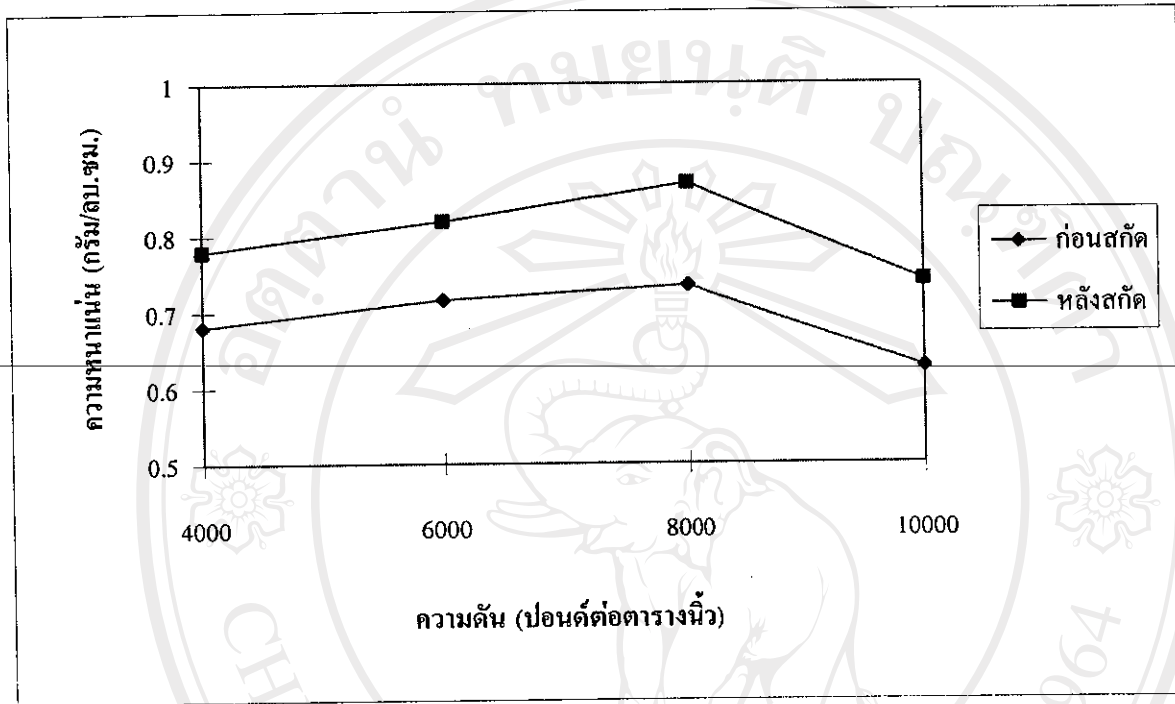
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved

4. ความหนาแน่นของปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดันต่าง ๆ

นำปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดันต่าง ๆ มาหาความหนาแน่น ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.16 และรูปที่ 3.16

ตารางที่ 3.16 ผลการความหนาแน่นของปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดันต่าง ๆ

ความดัน (psi)	ความหนาแน่น (g/ml)						เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	
4000							
ก่อนสกัด	0.6452	0.7013	0.6882	0.6979	0.6884	0.6662	0.6812
หลังสกัด	0.7271	0.7954	0.7555	0.7977	0.7874	0.7712	0.7797
6000							
ก่อนสกัด	0.7134	0.7099	0.7224	0.7017	0.7170	0.7342	0.7164
หลังสกัด	0.7550	0.7984	0.8125	0.8416	0.8550	0.8499	0.8187
8000							
ก่อนสกัด	0.7330	0.7118	0.7484	0.7174	0.7554	0.7412	0.7345
หลังสกัด	0.8325	0.8500	0.8764	0.8840	0.8766	0.8895	0.8682
10000							
ก่อนสกัด	0.6020	0.6557	0.6421	0.6255	0.6184	0.6202	0.6273
หลังสกัด	0.7121	0.7450	0.7272	0.7595	0.7440	0.7555	0.7406



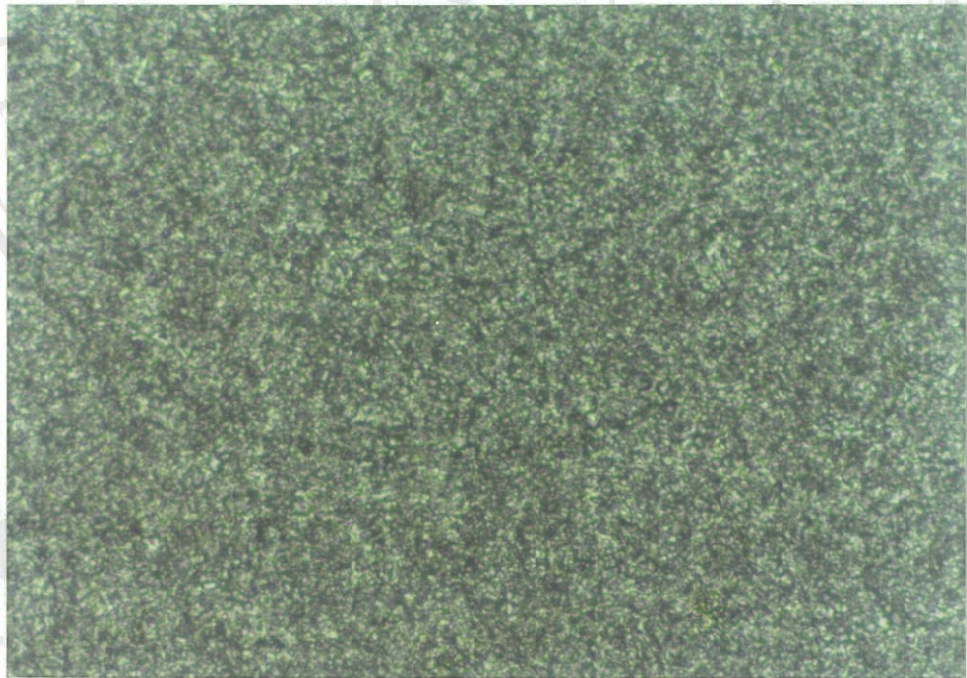
ก่อนสกัด หมายถึง แวกซ์ที่ผ่านการกดอัดแล้ว แต่ยังไม่ผ่านการสกัด

หลังสกัด หมายถึง แวกซ์ที่ผ่านการกดอัดและผ่านการสกัดด้วยสารละลายผสมเมธิลเอธิลคีโตน

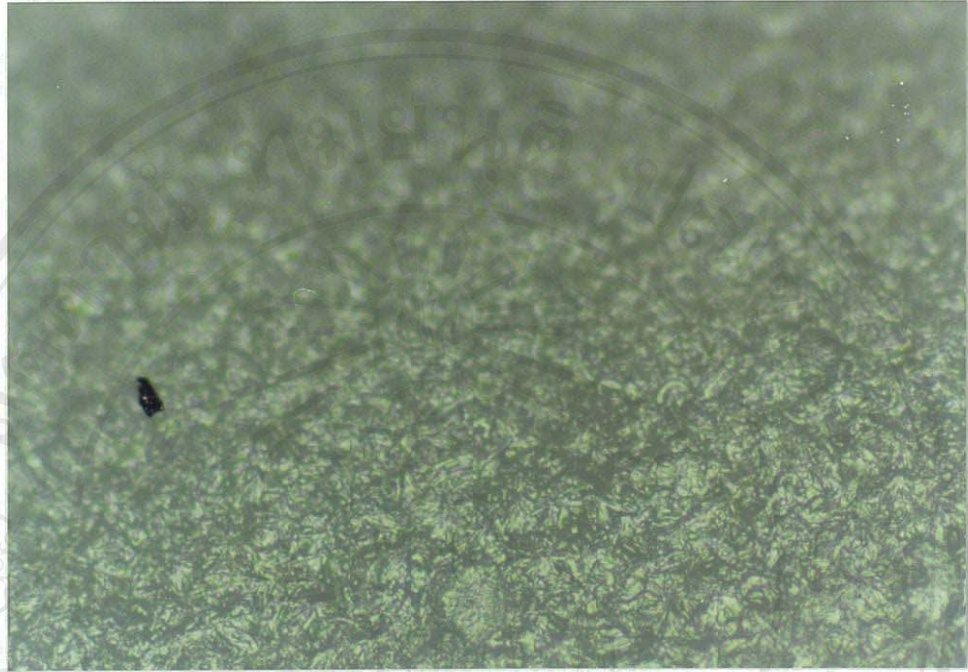
รูปที่ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่ใช้กดอัดกับความหนาแน่น

5. ผลึกปิโตรเลียมแว็กซ์

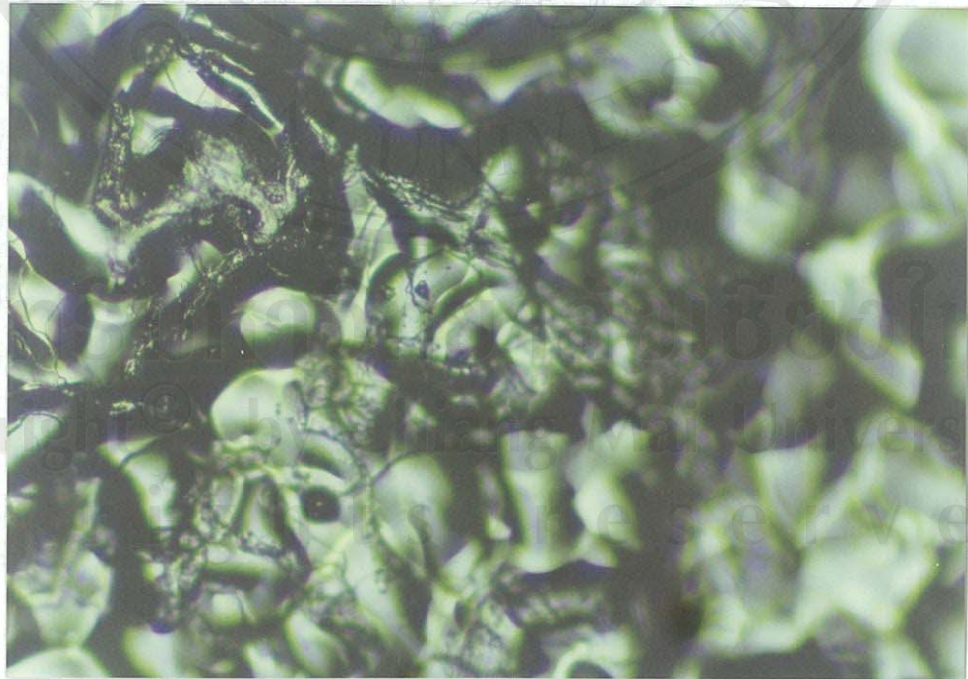
นำตัวอย่างแว็กซ์ซึ่งได้แก่ ไมโครแว็กซ์ ปาล์มแว็กซ์ แวกซ์จากจีน แวกซ์ผสมก่อนการกดอัด แวกซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดัน 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมของการกดอัดด้วยเครื่อง compression molding ก่อนและหลังสกัด แวกซ์ที่ผ่านเครื่องกดอัดที่ความดัน 8,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการกดอัดด้วยเครื่องไฮดรอลิกก่อนและหลังสกัด และแว็กซ์ที่ผ่านการฟอกซึ่งมีความขาว 55.5 เทียบกับแบโรท์ที่มีความขาวร้อยละ 99 ไปส่องดูลักษณะผลึกโดยใช้กล้อง reflection microscope กำลังขยาย $\times 10$ และในการดูโครงสร้างในงานวิจัยนี้เป็นการดูผิวภายนอกของผลึกที่จัดเรียงตัวตามธรรมชาติเท่านั้น ผลแสดงในรูปที่ 3.17 - 3.25



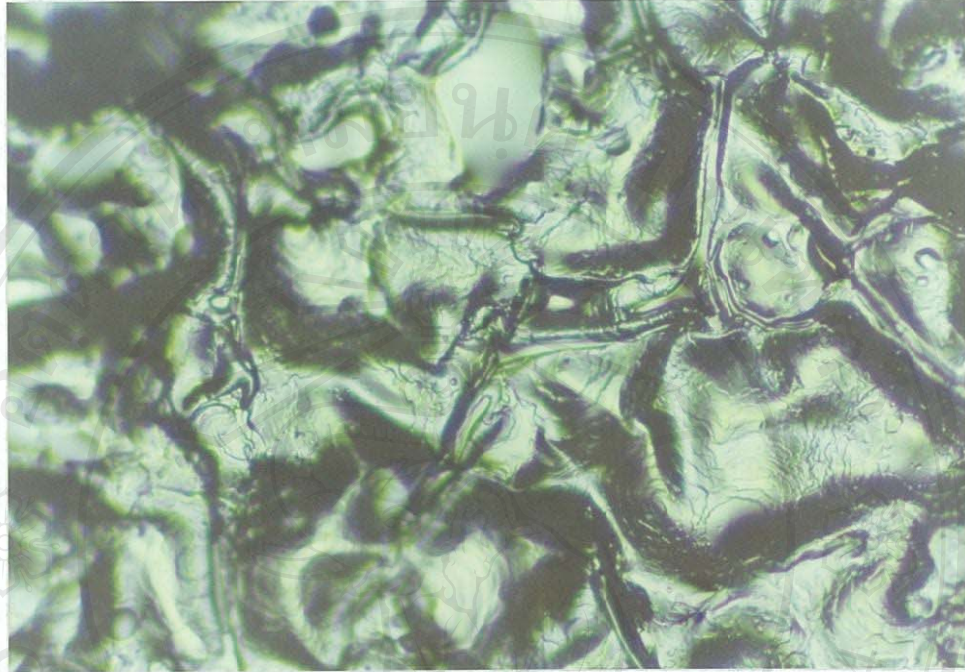
รูปที่ 3.17 ไมโครแว็กซ์



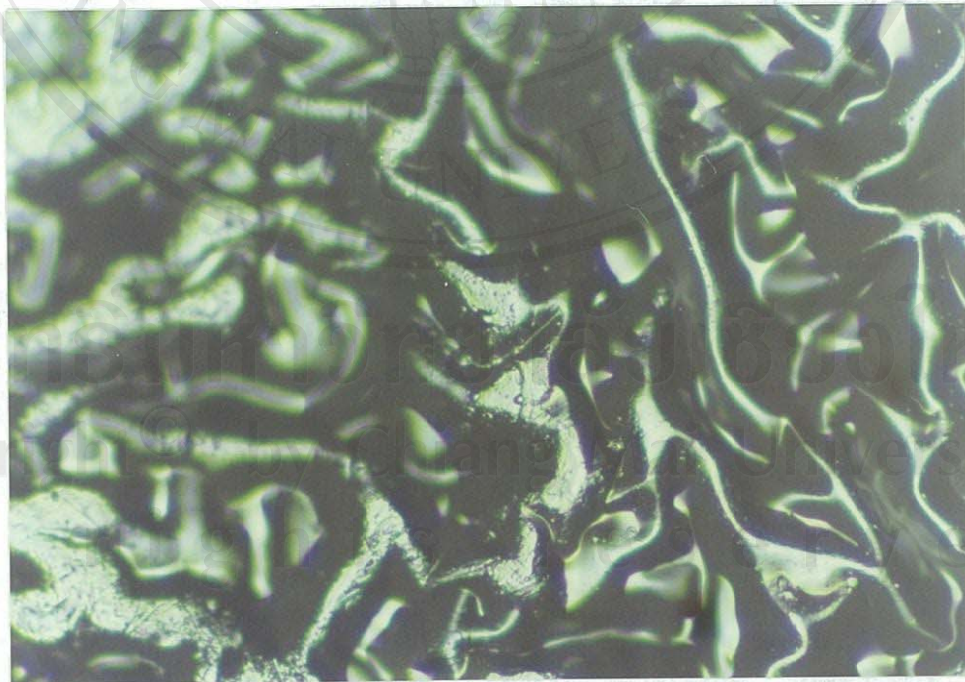
รูปที่ 3.18 ปาล์มแวกซ์



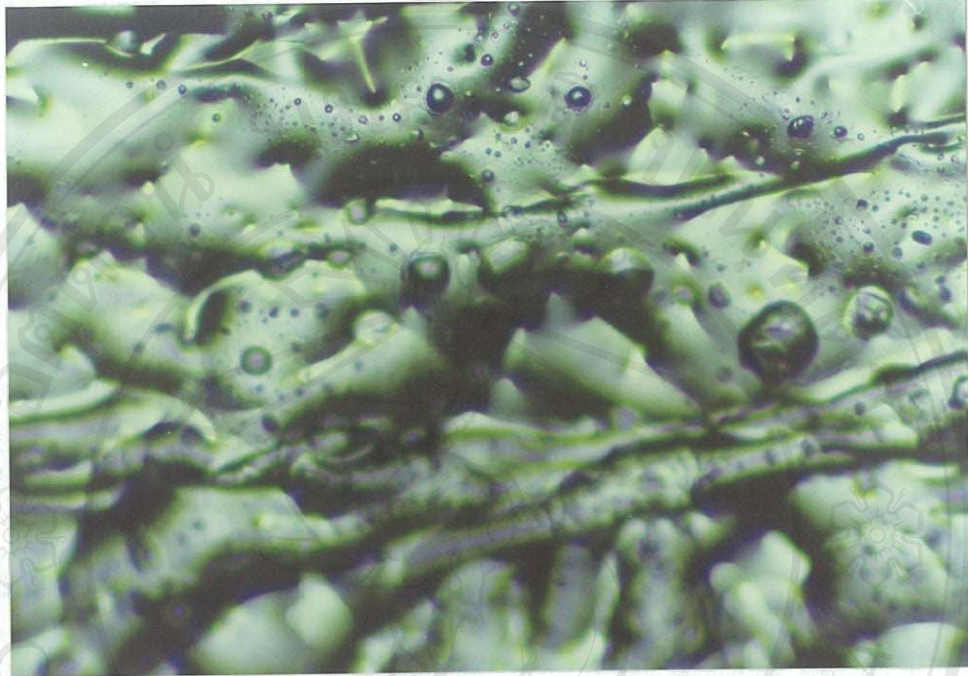
รูปที่ 3.19 แวกซ์จากจีน



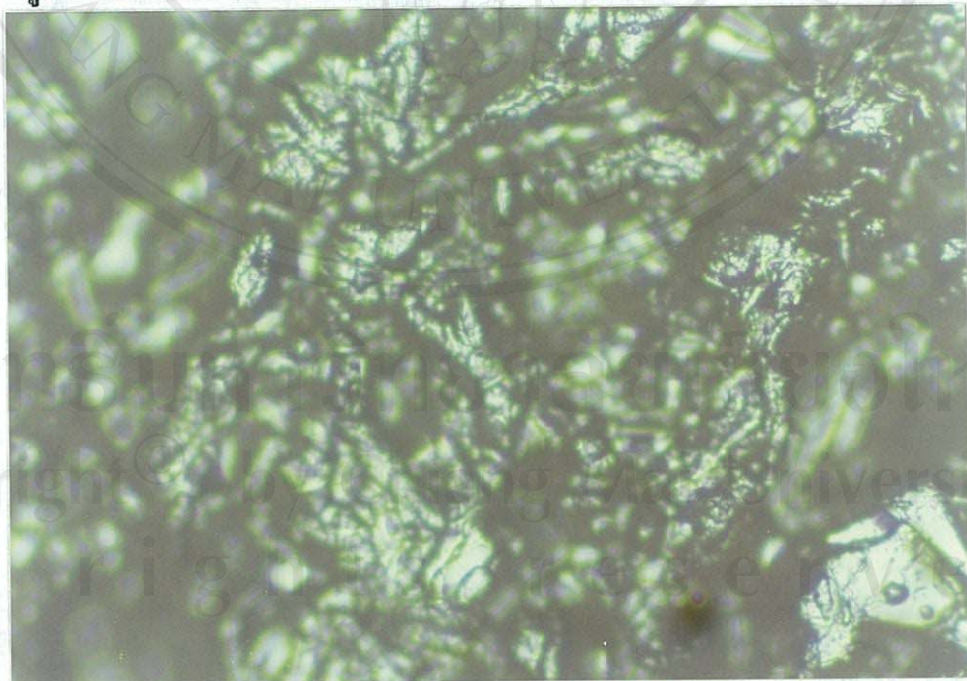
รูปที่ 3.20 แวกซ์ผสมก่อนการกดอัด



รูปที่ 3.21 แวกซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดัน 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (ก่อนสกัด)



รูปที่ 3.22 แว่นซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดัน 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (หลังสกัด)

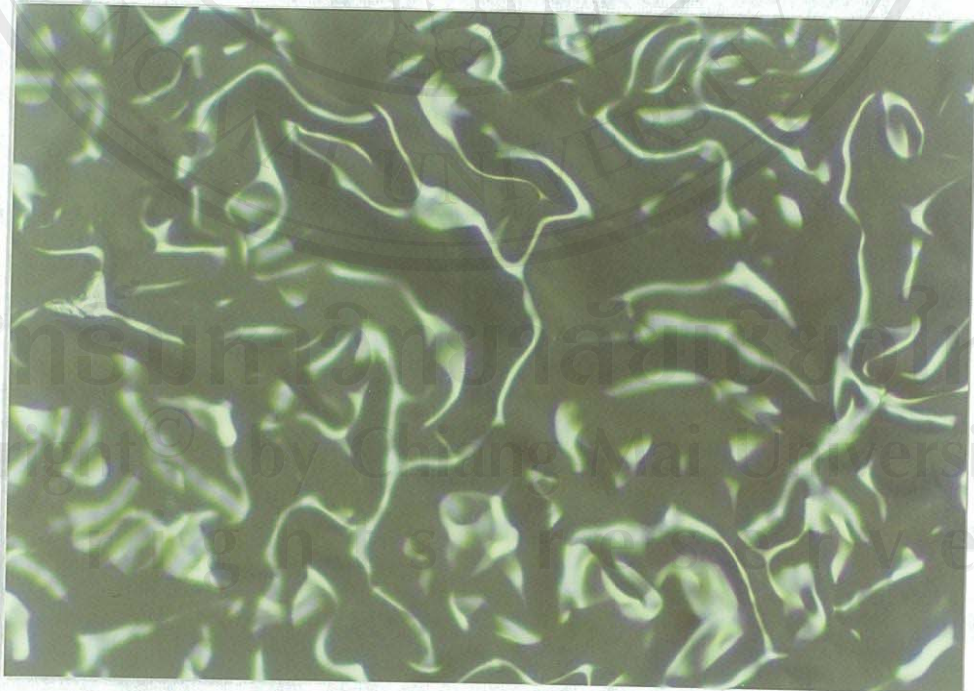


รูปที่ 3.23 แว่นซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดัน 8,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (ก่อนสกัด)

Q7 15391



รูปที่ 3.24 แวกซ์ที่ผ่านกระบวนการอัดที่ความดัน 8000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (หลังสกัด)



รูปที่ 3.25 แวกซ์ที่ผ่านการอัดที่ความดัน 8000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และผ่านการฟอกแล้ว

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
Copy by © by Chulalongkornrajavidyalaya University
All rights reserved

4 สรุปและวิจารณ์

คุณสมบัติของปิโตรเลียมแวกซ์

การตรวจสอบคุณสมบัติของแวกซ์ที่จะนำไปผลิตเทียนไข สามารถตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ได้ เช่น จุดหลอมเหลวและจุดแข็งตัว (Melting and setting point) ความหนาแน่น (Density) องค์ประกอบของน้ำมัน (Oil content) ความหนืด (Viscosity) ความขาว (Whiteness) สี (Color) กลิ่น (Odor) และความทนแรงดึง (Tensile strength)

ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาคูสมบัติต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย ความหนาแน่น ปริมาณน้ำมัน ความหนืด ความขาวและจุดหลอมเหลวของแวกซ์ ที่เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของปิโตรเลียมแวกซ์ที่ใช้ในการผลิตเทียนไข โดยตัวอย่างทั้งหมดประกอบด้วย แวกซ์จากจีน แวกซ์จากฝางฟอกสี และไม่ฟอกสี ปาล์มแวกซ์ และไมโครแวกซ์ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาคูสมบัติดังกล่าวบางอย่างของผลิตภัณฑ์เทียนไข คือ เทียนไขชนิดหวังผลสีแดงและสีขาว เทียนไขชนิดไม่หวังผลสีเหลืองและสีส้ม โดยที่ปาล์มแวกซ์และไมโครแวกซ์จัดเป็นสารเติมแต่งเพื่อให้คุณสมบัติของเทียนไขดีขึ้น เช่น เพิ่มความเหนียวให้กับเนื้อเทียนไข ช่วยให้สามารถแกะจากแบบได้ง่ายขึ้น และแวกซ์จากจีนเป็นส่วนผสมหลักของกระบวนการผลิตเทียนไขของบริษัทแสงธรรมจำกัด

จากผลการทดลองพบว่า ความหนาแน่นของแวกซ์จากฝาง (ฟอกสี) จะมีค่าสูงกว่าแวกซ์จากฝาง(ไม่ฟอกสี) และแวกซ์จากจีน (ดังแสดงในตารางที่ 3.1) ความหนาแน่นที่ได้มีความสัมพันธ์กับปริมาณองค์ประกอบของน้ำมันที่มีอยู่ในแวกซ์ โดยแวกซ์จากฝาง (ไม่ฟอกสี) มีปริมาณน้ำมันมากกว่าแวกซ์จากฝาง (ฟอกสี) เนื่องจากปริมาณน้ำมันที่เจือปนอยู่เป็นสารที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ จึงมีผลต่อค่าความหนาแน่นของแวกซ์ โดยแวกซ์ที่มีปริมาณน้ำมันเจือปนมากจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าแวกซ์ที่มีปริมาณน้ำมันเจือปนน้อย ส่วนแวกซ์จากจีนมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับแวกซ์จากฝาง (ไม่ฟอกสี) ทั้ง ๆ ที่มีปริมาณน้ำมันเจือปนน้อยกว่า ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของแวกซ์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของน้ำมันภายในแวกซ์อย่างเดียว อาจมีปัจจัยอื่นมาเป็นตัวกำหนดด้วย เช่น ปริมาณสิ่งเจือปน โครงสร้างภายในแวกซ์ที่แตกต่างกันออกไป

จากการหาปริมาณน้ำมันในแวกซ์พบว่า แวกซ์จากฝาง (ไม่ฟอกสี) มีปริมาณน้ำมันเจือปนมากกว่าแวกซ์จากฝาง (ฟอกสี) และแวกซ์จากจีนตามลำดับ (ดังแสดงในตารางที่ 3.1)

สำหรับความหนืดพบว่า แวกซ์จากฝาง (ฟอกสี) จะมีความหนืดมากกว่าแวกซ์จากฝาง (ไม่ฟอกสี) เนื่องจากปริมาณน้ำมันที่เจือปนในแวกซ์จากฝาง (ไม่ฟอกสี) ที่มากกว่าจะไปช่วยลดแรงดึงดูดทำให้มีความหนืดน้อยกว่าแวกซ์จากฝาง (ฟอกสี) ส่วนแวกซ์จากจีนที่มีค่าความหนืดน้อยกว่าแวกซ์จากฝาง (ฟอกสี) อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบภายในที่แตกต่างกันของแวกซ์เองทำให้ได้ค่าความหนืดที่ต่างกันไป

คุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งของแวกซ์ที่ดีคือความขาว จากการทดลองพบว่า แวกซ์ที่มีปริมาณน้ำมันเจือปนอยู่น้อยจะมีค่าความขาวมากกว่าแวกซ์ที่มีปริมาณน้ำมันเจือปนมากกว่า โดยแวกซ์จากจีนซึ่งมีปริมาณน้ำมันน้อยกว่าแวกซ์จากฝาง (ฟอกสี) และแวกซ์จากฝาง (ไม่ฟอกสี) ดังนั้นจึงมีความขาวมากกว่าแวกซ์ทั้งสองชนิดตามลำดับ ทำให้เทียนไขชนิดหวังผลที่มีแวกซ์จากจีนเป็นส่วนประกอบหลักมีโทนสีอ่อน หรือขาว ส่วนแวกซ์ที่มีความขาวน้อยลงไปเมื่อนำมาผลิตเทียนไขจึงต้องมีการเติมสารให้สี หรือฟอกสีอีกครั้ง เพื่อลดสีที่เกิดจากแวกซ์เองและเพื่อความสวยงาม

ได้เปรียบเทียบผลการทดลองหาจุดหลอมเหลวของแวกซ์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเทียนไขและตัวอย่างเทียนไขชนิดต่างๆ จากกราฟการเย็นตัวและเครื่อง Buchi SMP-20 ดังตารางที่ 4.1 จุดหลอมเหลวที่ได้จากการทดลองโดยวิธีกราฟการเย็นตัวจะแสดงออกมาเป็นตัวเลขที่แน่นอนค่าหนึ่ง ส่วนจุดหลอมเหลวที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Buchi SMP-20 จะแสดงค่าออกมาเป็นช่วงอุณหภูมิ จากการเปรียบเทียบจุดหลอมเหลวที่ได้จากทั้งสองวิธีพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบจุดหลอมเหลวซึ่งได้จากกราฟการเย็นตัวและเครื่อง Buchi SMP-20

ชนิด	กราฟการเย็นตัว (°C)	Buchi SMP-20 (°C)
แวกซ์จากจีน	59.10	58.04-58.84
แวกซ์ฝาง(ฟอกสี)	57.84	54.26-55.58
แวกซ์ฝาง(ไม่ฟอกสี)	53.30	53.02-54.10
ไมโครแวกซ์	99.50	94.78-96.55
ปาล์มแวกซ์	108.20	102.50-113.40
เทียนไขชนิดไม้หวังผลสีเหลือง	55.60	56.60-57.74
เทียนไขชนิดไม้หวังผลสีส้ม	56.30	56.68-57.66
เทียนไขชนิดหวังผลสีแดง	59.20	57.84-58.80
เทียนไขชนิดหวังผลสีขาว	58.90	57.88-58.80

แวกซ์จากจีนมีจุดหลอมเหลวมากกว่าแวกซ์จากฝางทั้งสองชนิด เนื่องจากความบริสุทธิ์ของแวกซ์และปริมาณน้ำมันที่เจือปน ส่วนปาล์มแวกซ์และไมโครแวกซ์มีจุดหลอมเหลวสูงกว่ามาก เพราะมีความบริสุทธิ์สูงและคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารเอง ในกระบวนการผลิตเทียนไขใช้ปาล์มแวกซ์และไมโครแวกซ์ปริมาณเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปิโตรเลียมแวกซ์ ซึ่งแวกซ์ทั้งสองชนิดจะเป็นตัวช่วยให้สามารถขึ้นรูปเทียนไขได้ดีขึ้น สำหรับเทียนไขชนิดหวังผลและไม้หวังผลจะมี

องค์ประกอบหลักของวัตถุดิบที่ใช้ต่างกันคือ อัตราส่วนแวกซ์จากจีนของเทียนไขชนิดหวังผลจะสูงกว่าชนิดไม่หวังผล ทำให้มีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่า

สำหรับเทียนไขชนิดหวังผลกับเทียนไขชนิดไม่หวังผล พบว่า เทียนไขชนิดหวังผลซึ่งมีอัตราส่วนแวกซ์จากจีนเป็นสารตั้งต้นในการผลิตที่มากกว่าเทียนไขชนิดไม่หวังผล ทำให้มีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่าเทียนไขชนิดไม่หวังผล จึงได้เทียนไขที่มีคุณภาพดี ให้แสงสว่างนวลตา มีน้ำตาเทียนน้อย เผาไหม้ช้า

นั่นคือ คุณสมบัติดังกล่าวมีผลต่อเทียนไขที่ผลิตได้ โดยการเปรียบเทียบแวกซ์จากจีนและจากฝาง (ฟอกสี) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักในการผลิตเทียนไขชนิดหวังผลและไม่หวังผล พบว่า ความหนาแน่นของ แวกซ์จากจีน มีค่าน้อยกว่า แวกซ์จากฝาง(ฟอกสี) ปริมาณน้ำมันของ แวกซ์จากจีน มีค่าน้อยกว่า แวกซ์จากฝาง(ฟอกสี) จุดหลอมเหลวของ แวกซ์จากจีน มีค่ามากกว่า แวกซ์จากฝาง(ฟอกสี) ความขาวของ แวกซ์จากจีน มีค่ามากกว่า แวกซ์จากฝาง(ฟอกสี) ความเหนียวของ แวกซ์จากจีน มีค่ามากกว่า แวกซ์จากฝาง(ฟอกสี)

จากการทดลองทำให้ทราบว่าปิโตรเลียมแวกซ์จากจีนมีคุณสมบัติที่ดีกว่าปิโตรเลียมแวกซ์จากฝางเมื่อนำไปผลิตเทียนไขจะได้เทียนไขที่มีคุณภาพดี ให้แสงสว่างนวลตา เผาไหม้ช้า ให้น้ำตาเทียนน้อย มีสีโทนอ่อนซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและสวยงามตามต้องการได้

ปิโตรเลียมแวกซ์ที่มีความบริสุทธิ์สูงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้ เช่น ใช้ทำกระดาษเคลือบไข เทียนไขและสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมเคมีเป็นต้น ในการขจัดน้ำมันออกจากปิโตรเลียมแวกซ์มีอยู่หลายวิธี วิธีทางกายภาพเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถขจัดน้ำมันที่ปนเปื้อนออกได้ในระดับหนึ่ง และเป็นวิธีที่ประหยัดราคาสูงกว่าการใช้วิธีทางเคมีอย่างเดียวในกระบวนการขจัด ดังนั้นการศึกษาการขจัดน้ำมันที่ปนเปื้อนในปิโตรเลียมแวกซ์โดยวิธีทางกลจึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อกระบวนการทำให้ปิโตรเลียมแวกซ์บริสุทธิ์มากขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเรื่องดังกล่าวโดยใช้เครื่องมือทางกล 2 ชนิด คือ เครื่อง compression molding และ เครื่องอัดไฮดรอลิก

การขจัดน้ำมันออกจากปิโตรเลียมแวกซ์โดยเครื่อง compression molding

ในการศึกษาการขจัดน้ำมันออกจากปิโตรเลียมแวกซ์โดยวิธีกดอัดด้วยเครื่อง compression molding เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกดอัดให้น้ำมันแยกออกจากแวกซ์ โดยในการทดลองใช้แวกซ์ผสมซึ่งประกอบด้วยแวกซ์จากฝางและแวกซ์จากโรงงานชาติปิโตรเคมีคอลในอัตราส่วน 5 ต่อ 1 เพื่อให้ได้แวกซ์ที่มีปริมาณน้ำมันเจือปนอยู่มากขึ้นโดยแวกซ์ที่ได้มีปริมาณน้ำมันผสมอยู่ร้อยละ 49.29 จากนั้นนำแวกซ์ผสมนี้ไปทำการกดอัดเพื่อหาสภาวะเหมาะสมต่อไป

การทดลองเริ่มต้นจากการนำแว็กซ์ผสมที่เตรียมไว้มาทำการกดอัดที่ความดันต่าง ๆ คือ 600, 700 และ 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แล้วนำมาทำการทดสอบหาปริมาณน้ำมันที่เหลือ โดยทำการสกัดด้วยสารละลายผสมเมธิลเอธิลคีโตนและโทลูอิน เพื่อให้ทราบปริมาณน้ำมันที่ถูกขจัดออกไป ซึ่งจากการทดลองที่ได้ความดันที่เหมาะสมคือ 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สามารถขจัดน้ำมันออกไปได้มากที่สุดคือ ร้อยละ 26.45 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการกดอัดที่ความดันที่สูงขึ้นจะกดอัดน้ำมันออกมาได้มากขึ้น

ขั้นต่อไปนำแว็กซ์ไปทำการกดอัดเพื่อหาเวลาที่เหมาะสม โดยทำการทดลองใช้เวลาในการกดอัดนาน 7 และ 10 นาที ผลการทดลองที่ได้พบว่า ที่เวลา 7 นาที จะสามารถขจัดน้ำมันออกได้มากกว่าที่เวลา 10 นาที เนื่องมาจากการกดอัดด้วยเครื่อง compression molding มีข้อจำกัดคือ ในช่วงที่อัดทิ้งไว้ช่วงแรก ๆ ความดันจะคงที่ แต่เมื่อทิ้งช่วงไว้ระยะเวลาหนึ่งความดันของการกดอัดจะค่อย ๆ ลดลง

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสถานะที่เหมาะสมในการกดอัดด้วยเครื่อง compression molding คือที่ความดัน 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลา 7 นาที

ต่อจากนั้นนำแว็กซ์ที่ผ่านการกดอัดมาทดสอบคุณสมบัติต่างๆ โดยแว็กซ์ที่นำมาทดสอบคือ แว็กซ์ผสมก่อนการกดอัด (แว็กซ์ก่อนกดอัด) , แว็กซ์ที่ผ่านการกดอัดที่สถานะเหมาะสมแล้ว (แว็กซ์หลังกดอัด) และแว็กซ์ที่ผ่านการกดอัดที่สถานะเหมาะสมและสกัดด้วยสารละลายผสมเมธิลเอธิลคีโตนและโทลูอิน (แว็กซ์หลังกดอัดและสกัดน้ำมันแล้ว) นำมาทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

1. ความหนาแน่น ผลการทดสอบที่ได้คือ ความหนาแน่นของแว็กซ์ก่อนกดอัด, แว็กซ์หลังกดอัด และแว็กซ์หลังกดอัดและสกัดน้ำมันแล้ว เท่ากับ 0.6802, 0.7533 และ 0.7844 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ จะเห็นว่าแว็กซ์ที่มีปริมาณน้ำมันปนอยู่น้อยกว่าจะมีความหนาแน่นสูงกว่า

2. ความขาว ในการวัดความขาวจะต้องทำการเตรียมชิ้นทดสอบก่อน คือต้องนำแว็กซ์ที่ต้องการจะวัดความขาวไปทำการอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นกลมแบนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 เซนติเมตร ความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร โดยใช้ความดันในการอัดเท่ากันทุกตัวอย่าง ลักษณะแว็กซ์ที่แตกต่างกันจะให้ความขาวที่แตกต่างกัน ผลความขาวที่ได้คือ ความขาวของแว็กซ์ก่อนกดอัด, แว็กซ์หลังกดอัด และแว็กซ์หลังกดอัดและสกัดน้ำมันออกแล้ว เท่ากับ 14.8, 16.9 และ 29.3 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าแว็กซ์ที่มีปริมาณน้ำมันผสมอยู่มาก จะมีความขาวต่ำกว่าแว็กซ์ที่มีปริมาณน้ำมันผสมอยู่น้อย แสดงว่าปริมาณน้ำมันที่ผสมอยู่มีผลต่อสีของแว็กซ์

3. จุดหลอมเหลว การหาจุดหลอมเหลวนั้นทำการทดสอบโดย Electrothermal melting point apparatus และ Buchi SM-20 ผลที่ได้คือ จุดหลอมเหลวของแว็กซ์ก่อนกดอัด แว็กซ์หลังกดอัด และแว็กซ์หลังกดอัดและสกัดน้ำมันแล้ว เท่ากับ 50.6, 56.2 และ 60.5 องศาเซลเซียสตามลำดับ จากค่าของจุดหลอมเหลวที่ได้จะเห็นว่า แว็กซ์ที่มีปริมาณน้ำมันผสมอยู่มากจะมีจุดหลอม

เหลวต่ำกว่าแวกซ์ที่มีปริมาณน้ำมันเจือปนอยู่น้อย เนื่องจากองค์ประกอบที่เป็นน้ำมันมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่าองค์ประกอบที่เป็นแวกซ์ ดังนั้นจึงทำให้จุดหลอมเหลวลดลง

นอกจากการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้แล้ว ยังนำแวกซ์ 2 ชนิดคือ แวกซ์หลังการกดอัด และแวกซ์หลังกดอัดและสกัดน้ำมันแล้ว มาทำเทียนไขแท่งเพื่อทดสอบการเผาไหม้ของแวกซ์ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- เทียนไขที่ทำจากแวกซ์หลังกดอัดจะมีสีเข้มมากกว่าที่ทำจากแวกซ์หลังกดอัดและสกัดน้ำมันแล้ว อัตราการเผาไหม้ช่วง 0 - 5 เซนติเมตรเท่ากับ 0.177 กรัมต่อนาที (0.152 เซนติเมตรต่อนาที) อัตราการเผาไหม้ช่วง 5 - 10 เซนติเมตรเท่ากับ 0.176 กรัมต่อนาที (0.150 เซนติเมตรต่อนาที) และขณะเผาไหม้จะมีน้ำตาเทียนหยดลงมา

- เทียนไขที่ทำจากแวกซ์หลังกดอัดและสกัดน้ำมันออกแล้ว จะมีสีขาวกว่าเทียนไขที่ทำจากแวกซ์หลังกดอัด อัตราการเผาไหม้ช่วง 0 - 5 เซนติเมตรเท่ากับ 0.189 กรัมต่อนาที (0.163 เซนติเมตรต่อนาที) อัตราการเผาไหม้ช่วง 5 - 10 เซนติเมตรเท่ากับ 0.186 กรัมต่อนาที (0.160 เซนติเมตรต่อนาที) และขณะเผาไหม้จะไม่มีน้ำตาเทียนหยดลงมา

การขจัดน้ำมันออกจากปิโตรเลียมแวกซ์โดยเครื่องอัดไฮดรอลิก

ทำการลดน้ำมันในปิโตรเลียมแวกซ์โดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกที่สามารถปรับความดันในการกดอัดได้หลายค่า สำหรับการหาปริมาณน้ำมันที่เจือปนจะใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลายผสมเมธิลเอธิลคีโตนกับโทลูอินในอัตราส่วน 1.5 : 1 โดยปริมาตร แล้วหาผลต่างของน้ำหนักปิโตรเลียมแวกซ์ก่อนและหลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยสมมุติว่าตัวทำละลายสามารถสกัดน้ำมันที่มีอยู่ในปิโตรเลียมแวกซ์ออกได้หมด

การหาปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในปิโตรเลียมแวกซ์ก่อนและหลังกดอัดจะใช้ 2 วิธี คือ การชั่งน้ำหนักเพื่อหาผลต่างของน้ำหนักของปิโตรเลียมแวกซ์โดยตรงหลังการกดอัด และวิธีการสกัดเอาน้ำมันออกจากปิโตรเลียมแวกซ์ด้วยตัวทำละลายผสมแล้วหาผลต่างน้ำหนักที่หายไป แต่วิธีการชั่งน้ำหนักโดยตรงค่าที่ได้ค่อนข้างหยาบดังผลการทดลองในตารางที่ 3.13 และรูปที่ 3.14 ดังนั้นต้องนำปิโตรเลียมแวกซ์ไปทำการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและในการสกัดใช้อัตราส่วนของปิโตรเลียมแวกซ์ต่อตัวทำละลายผสมเป็น 1 : 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ซึ่งได้มีผู้ศึกษาและทำการวิจัยมาแล้วว่าอัตราส่วนดังกล่าวเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมทำให้การสกัดน้ำมันออกจากปิโตรเลียมแวกซ์ได้มากที่สุด โดยที่เมธิลเอธิลคีโตนมีคุณสมบัติทำให้ปิโตรเลียมแวกซ์แตกผลึกและแยกตัวออกจากของผสม ส่วนโทลูอินจะเป็นทำให้การแยกชั้นของเมธิลเอธิลคีโตนกับน้ำมันดีขึ้น

จากการศึกษาถึงผลของความดันต่อปริมาณน้ำมันที่ขจัดออกได้โดยใช้ปิโตรเลียมแวกซ์ผสม 30 กรัม ที่ความดันต่าง ๆ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3.13 และรูปที่ 3.14 พบว่าการเพิ่มความดันมีผลทำให้ปริมาณน้ำมันที่ไหลออกมามีแนวโน้มมากขึ้น แต่ถ้าความดันมากเกินไปก็จะไม่

เหมาะสมกับปริมาณแวกซ์ที่ใช้ในการกดอัด ก็จะทำให้เกิดปัญหาการแตกของห่อปิโตรเลียมแวกซ์ ความดันที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันจากการกดอัดมาก และเหมาะสมกับน้ำหนักปิโตรเลียมแวกซ์ที่ใช้คือความดัน 8,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

จากการศึกษาพบว่าน้ำมันในปิโตรเลียมแวกซ์เป็นสิ่งที่สามารถกำหนดความขาวของปิโตรเลียมแวกซ์ได้ โดยที่ปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการกดอัดเอาน้ำมันออกไปบางส่วนแล้ว จะมีค่าความขาวมากกว่าปิโตรเลียมแวกซ์ที่ยังไม่ได้ผ่านการกดอัด ส่วนปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมแล้วจะมีค่าความขาวมากกว่าปิโตรเลียมแวกซ์ที่ยังไม่ได้ผ่านการกดอัดและปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการกดอัดเอาน้ำมันออกไปบางส่วนแล้ว ดังแสดงผลในตารางที่ 3.14 และรูปที่ 3.15 จะเห็นว่าค่าความขาวของปิโตรเลียมแวกซ์จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำมันที่ถูกขจัดออกไปจากปิโตรเลียมแวกซ์ ค่าความขาวทุกค่าที่วัดได้จากปิโตรเลียมแวกซ์หลังการกดอัดและหลังการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม จะมีค่ามากกว่าค่าความขาวของปิโตรเลียมแวกซ์ที่ไม่ได้ผ่านการกดอัด ถ้าหากต้องการให้ปิโตรเลียมแวกซ์มีความขาวมากกว่านี้จำเป็นต้องนำไปผ่านกระบวนการฟอกขาวด้วย

ส่วนความหนาแน่นของปิโตรเลียมแวกซ์ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.16 และรูปที่ 3.16 พบว่า ความหนาแน่นของปิโตรเลียมแวกซ์มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในปิโตรเลียมแวกซ์ โดยปิโตรเลียมแวกซ์ที่ไม่ได้ผ่านการกดอัดมีความหนาแน่นน้อยกว่าปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการกดอัดและปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมแล้ว เนื่องจากปริมาณน้ำมันที่เจือปนอยู่ เป็นสารที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ จึงมีผลต่อความหนาแน่นของปิโตรเลียมแวกซ์ โดยปิโตรเลียมแวกซ์ที่มีน้ำมันเจือปนมากจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าปิโตรเลียมแวกซ์ที่มีปริมาณน้ำมันเจือปนน้อยกว่า

จุดหลอมเหลวที่ได้เป็นช่วงอุณหภูมิหนึ่ง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.15 พบว่าไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ใช้ในการกดอัดกับจุดหลอมเหลวได้ แต่ปิโตรเลียมแวกซ์ที่ไม่ได้ผ่านการกดอัดจะมีช่วงอุณหภูมิจุดหลอมเหลวที่กว้างกว่าและมีค่าต่ำกว่าปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการกดอัดและผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมแล้ว ส่วนปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการกดอัดแล้วจะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณน้ำมันที่มีในปิโตรเลียมแวกซ์มีผลต่อช่วงจุดหลอมเหลว ยังมีปริมาณน้ำมันน้อย ช่วงจุดหลอมเหลวจะแคบลงและมีค่าสูงขึ้น แต่จุดหลอมเหลวของปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดันต่าง ๆ นั้น จะมีความสัมพันธ์ไม่แน่นอน

จะเห็นได้ว่าการใช้เครื่องมือทางกลทั้ง 2 ชนิดในการขจัดน้ำมันออก คือ เครื่อง compression molding และเครื่องอัดแบบไฮดรอลิกสามารถขจัดน้ำมันออกจากปิโตรเลียมแวกซ์ได้

ระดับหนึ่ง โดยที่ทั้งเครื่องอัดสองชนิดมีข้อดีและข้อเสียต่างกันในความเหมาะสมสำหรับใช้งานในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

จากผลการทดลองพบว่า เครื่องอัดแบบ compression molding มีความเหมาะสมสำหรับใช้งานในอุตสาหกรรมขนาดเล็กมากกว่าเครื่องอัดไฮดรอลิก เนื่องจากลักษณะของเครื่องมือซึ่งเป็นดังรูปที่ 2.7 สามารถกดอัดน้ำมันออกได้มากกว่าดังผลการทดลองในตารางที่ 3.6 นอกจากนี้ยังใช้ความดันในการกดอัดน้อยกว่าเครื่องไฮดรอลิก และสามารถเพิ่มปริมาณของห่อปิโตรเลียมแวกซ์ได้ตามความเหมาะสม ซึ่งหมายถึงจะได้ปริมาณปิโตรเลียมแวกซ์ที่นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในปริมาณที่มากเพียงพอต่อความต้องการ ส่วนเครื่องอัดแบบไฮดรอลิกต้องมีแบบ (mold) ใส่ปิโตรเลียมแวกซ์ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนสำหรับโรงงานและมีข้อจำกัดเรื่องของปริมาณแวกซ์ที่ได้

นอกจากการศึกษาถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะผลึกของแวกซ์ชนิดต่าง ๆ โดยให้แวกซ์จัดเรียงตัวตามธรรมชาติจากนั้นใช้กล้องขยายดูผิวภายนอก ตัวอย่างแวกซ์ได้แก่ ไมโครแวกซ์, ปาล์มแวกซ์, แวกซ์จากจีน, ปิโตรเลียมแวกซ์ก่อนการกดอัด, แวกซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดัน 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งเป็นความดันที่เหมาะสมในการกดอัดด้วยเครื่อง compression molding (ก่อนและหลังสกัด), แวกซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดัน 8,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งเป็นสถานะที่เหมาะสมในการกดอัดด้วยเครื่องกดอัดแบบไฮดรอลิก (ก่อนและหลังสกัด), แวกซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดัน 8,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้วและผ่านการฟอกแล้วซึ่งมีความขาว 55.5 เทียบกับแบไรท์ที่มีความขาวร้อยละ 99 ลักษณะผลึกของแวกซ์ที่ได้จากการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย $\times 10$ แสดงดังรูปที่ 3.17 - 3.25 จากการทดลองพบว่าไมโครแวกซ์และปาล์มแวกซ์มีลักษณะผลึกที่ละเอียดใกล้เคียงกัน แต่ไมโครแวกซ์จะมีความละเอียดมากกว่า ส่วนแวกซ์ชนิดอื่น ๆ จะมีลักษณะที่หยาบและมีความละเอียดกันเคียงกันมาก จะสังเกตเห็นว่าแวกซ์จากจีนจะมีลักษณะการจัดเรียงตัวกันเป็นระเบียบมากกว่า ปิโตรเลียมแวกซ์ที่ผ่านการกดอัดที่ความดันต่าง ๆ ลักษณะของปิโตรเลียมแวกซ์ก่อนและหลังการกดอัดจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่หลังการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและหลังการฟอกแล้วผลึกจะจัดเรียงตัวกันเป็นระเบียบมากขึ้น

บรรณานุกรม

1. G.D. Hobson, "*Modern Petroleum technology*", 4th ed, Applied Science Publisher Ltd., Great Britain, 1973.
2. W.L. Nelson, "*Petroleum Refining Engineering*", 4th ed, McGraw-Hill Book Company, 1978.
3. V. Janith, "*Candle Making and Decoration*", Hamlym, London, 1983.
4. W.P. Ridenour, "*Composition Verus Properties of Microcrystalline Waxes*", TAPPI, 1978.
5. W.F. Bland and R.L. davidson, "*Petroleum Processing Handbook*", McGraw-Hill Book Company, USA, 1987.
6. ASTM Standard D721, Standard Test Method for Oil Content of Petroleum Waxes, The American Society for Testing and Material, USA, 1993.
7. ASTM Standard D87, Standard Test Method for Melting Point of Petroleum Waxes (Cooling Curve), The American Society for Testing and Material, USA, 1994.
8. P. Shubik, "*Studies on Toxicity of Petroleum Waxes*", 4th ed, Phamacology, 1972.
9. Jenking, *Oil and Gas J.*, 15:98 (1993).
10. E.P. Kiys, *Oil and Gas J.*, 8:128 (1992).

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก1 ความหนืดของปิโตรเลียมแวกซ์แต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส

ชนิด ครั้งที่	แวกซ์จากฟาง(ไม้ฟอกสี)			แวกซ์จากฟาง(ฟอกสี)			แวกซ์จากจีน		
	ค่าความหนืด (cp.)			ค่าความหนืด (cp.)			ค่าความหนืด (cp.)		
	60°C	70°C	80°C	60°C	70°C	80°C	60°C	70°C	80°C
1	0.724	0.581	0.475	0.825	0.654	0.519	0.707	0.575	0.487
2	0.686	0.573	0.479	0.778	0.620	0.503	0.713	0.591	0.490
3	0.683	0.564	0.473	0.775	0.630	0.513	0.717	0.591	0.487
4	0.682	0.570	0.476	0.788	0.633	0.507	0.707	0.588	0.485
5	0.695	0.566	0.460	0.802	0.650	0.523	0.718	0.581	0.491
เฉลี่ย	0.694	0.570	0.473	0.794	0.637	0.513	0.712	0.585	0.488

ภาคผนวก ข

ตาราง ข.1 ข้อมูลการทดลองหาจุดหลอมเหลวโดยวิธีกราฟการเย็นตัว ของแวกซ์จากฝาง (ไม่ฟอกสี)

การทดลองที่	1	2	3	4	5
เวลา(วินาที)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)
30	66.20	72.00	67.30	67.70	66.50
60	64.10	70.00	65.10	65.50	64.00
90	62.00	67.80	63.40	63.90	62.30
120	60.60	65.70	61.70	62.10	60.80
150	59.00	63.80	59.80	60.40	59.40
180	57.80	62.10	58.60	58.90	57.90
210	56.30	60.40	57.20	57.70	56.60
240	55.40	59.00	56.00	56.50	55.40
270	54.80	57.50	54.90	55.30	54.50
300	54.10	56.20	54.40	54.50	53.80
330	53.70	55.00	53.80	53.80	53.10
360	53.40	54.10	53.30	53.40	52.70
390	53.30	53.40	52.90	52.90	52.40
420	53.10	52.90	52.70	52.80	52.30
450	53.00	52.60	52.50	52.60	52.10
480	52.90	52.50	52.40	52.50	52.00
510	52.70	52.40	52.30	52.40	51.90
540	52.60	52.30	52.30	52.30	51.80
570	52.50	52.00	52.10	52.20	51.70
600	52.30	51.90	51.90	52.00	51.50
630	52.10	51.80	51.90	52.00	51.40
660	51.90	51.70	51.70	51.80	51.20
690	51.80	51.50	51.50	51.50	51.10
720	51.70	51.50	51.40	51.40	51.00
750	51.60	51.40	51.20	51.40	50.90
780	-	51.20	-	-	50.80
810	-	51.00	-	-	-

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลการทดลองหาจุดหลอมเหลวโดยวิธีกราฟการเย็นตัวของแก้วจากฝาง(ฟอกสี)

การทดลองที่	1	2	3	4	5
เวลา(วินาที)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)
30	83.50	82.70	80.00	83.20	81.80
60	81.00	80.20	78.00	81.00	79.80
90	78.80	78.20	76.00	79.30	77.60
120	76.50	76.40	74.50	77.30	75.50
150	74.70	74.50	72.50	75.40	73.80
180	72.80	73.80	71.20	73.80	72.00
210	71.00	71.20	69.80	72.00	70.60
240	69.50	69.70	68.20	70.60	69.40
270	67.80	68.00	66.80	69.00	67.50
300	66.30	66.50	65.50	67.60	66.30
330	65.00	65.00	64.20	66.00	65.00
360	63.70	63.60	63.00	65.00	63.20
390	62.50	62.40	61.80	64.70	62.80
420	61.40	61.20	61.00	62.50	61.80
450	60.30	60.30	60.20	61.80	60.90
480	59.60	59.70	59.50	60.60	60.00
510	58.90	58.80	58.30	59.70	59.20
540	58.30	58.20	57.80	58.90	58.50
570	57.70	57.50	57.30	58.40	58.00
600	57.40	57.00	56.80	57.90	57.60
630	57.00	56.80	56.60	57.40	57.00
660	56.80	56.40	56.10	57.00	56.80
690	56.50	56.10	55.90	56.70	56.50
720	56.10	55.90	55.70	56.00	56.10
750	56.00	55.70	55.50	55.80	55.60

ตาราง ข.3 ข้อมูลการทดลองหาจุดหลอมเหลวโดยวิธีกราฟการเย็นตัว ของแวกซ์จากจีน

การทดลองที่	1	2	3	4	5
เวลา(วินาที)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)
30	78.50	81.00	77.30	80.50	78.00
60	76.20	78.80	75.00	78.60	76.00
90	74.50	76.50	73.40	76.30	74.50
120	72.60	74.70	71.70	75.00	72.80
150	70.80	72.40	70.00	73.00	71.20
180	69.30	70.40	68.40	72.60	69.70
210	67.60	69.40	66.90	70.00	68.20
240	66.00	67.90	65.40	68.50	66.70
270	64.70	66.30	64.30	67.00	65.50
300	63.30	65.00	63.00	65.90	64.30
330	62.10	63.70	62.00	64.70	63.00
360	61.20	62.60	61.10	63.40	61.90
390	60.30	61.50	60.20	62.30	60.90
420	59.70	60.60	59.60	61.30	60.00
450	59.30	60.00	59.30	60.50	59.20
480	59.00	59.50	59.00	60.00	58.70
510	58.70	59.20	58.90	59.50	58.50
540	58.60	59.00	58.80	59.20	58.50
570	58.50	58.80	58.60	58.90	58.40
600	58.50	58.70	58.50	58.80	58.30
630	58.50	58.60	58.50	58.70	58.20
660	58.50	58.50	58.50	58.70	58.10
690	58.50	58.50	58.50	58.50	58.10
720	58.50	58.50	58.50	58.50	58.00
750	58.50	58.50	58.50	58.50	58.00
780	58.50	58.50	58.50	58.50	57.90
810	58.50	58.50	58.50	58.50	57.90
840	58.50	58.50	58.50	58.50	57.80

ตาราง ข.4 ข้อมูลการทดลองหาจุดดอมเหลวโดยวิธีการกราฟการเย็นตัว ของพอลิเมอร์

การทดลองที่	1	2	3	4	5
เวลา(วินาที)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)
30	155.50	155.00	158.50	160.00	152.50
60	149.00	149.00	152.50	153.20	147.50
90	143.00	144.00	146.50	147.20	142.00
120	137.50	138.50	141.00	141.50	137.00
150	132.00	133.50	136.00	136.00	132.50
180	128.00	129.50	131.00	131.20	128.50
210	123.00	125.00	127.00	127.00	124.50
240	119.00	121.00	123.00	122.80	120.50
270	115.00	117.00	118.80	118.50	117.00
300	111.50	113.50	115.00	114.80	113.50
330	109.00	110.00	111.80	111.20	110.50
360	107.00	108.00	109.00	108.60	108.00
390	105.00	106.00	105.20	106.50	106.00
420	104.00	104.50	104.00	105.00	104.80
450	103.50	103.80	103.00	103.80	103.90
480	102.50	102.80	102.00	102.80	103.00
510	101.00	102.00	101.00	102.00	102.30
540	100.00	101.00	99.80	101.00	101.50
570	99.00	100.00	98.60	100.00	100.40
600	97.50	98.50	97.20	98.50	99.00
630	96.50	97.00	95.80	97.20	97.80
660	95.00	95.80	93.50	96.00	96.50
690	94.00	94.50	92.40	95.00	95.50
720	93.00	93.00	91.20	93.60	94.00
750	92.00	92.50	90.30	92.70	93.00
780	90.50	91.30	89.30	91.90	92.00
810	-	-	88.30	91.00	-
840	-	-	87.50	90.00	-

ตาราง ข.5 ข้อมูลการทดลองหาจุดหลอมเหลวโดยวิธีกราฟการเย็นตัวของ ไมโครแว็กซ์

การทดลองที่	1	2	3	4	5
เวลา(วินาที)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)
30	126.00	136.30	118.60	116.80	109.30
60	121.80	132.20	115.00	113.30	106.30
90	117.80	128.30	111.50	110.10	103.20
120	114.00	124.00	108.50	107.20	100.50
150	111.00	120.00	105.70	104.30	98.30
180	108.00	116.00	102.90	101.90	96.20
210	105.00	112.80	100.40	99.30	94.50
240	102.20	109.30	98.40	97.30	93.10
270	100.00	106.70	96.30	95.50	91.90
300	98.00	104.00	94.80	94.00	90.40
330	96.20	101.40	93.50	92.80	89.00
360	95.00	99.00	92.30	91.60	87.40
390	93.50	97.00	91.00	90.40	85.90
420	92.40	95.40	89.80	89.10	84.30
450	91.20	94.00	88.40	87.90	82.70
480	90.00	92.80	86.90	86.30	81.00
510	87.50	91.50	85.40	84.90	79.70
540	86.90	90.40	83.90	83.40	78.20
570	85.30	89.00	82.50	81.90	76.40
600	84.00	87.80	81.20	80.70	74.90
630	81.00	86.30	79.80	79.30	73.30
660	79.80	84.90	78.40	78.00	72.00
690	78.70	83.50	76.90	76.50	70.50
720	76.80	82.00	75.30	75.00	69.20
750	75.20	80.70	73.90	74.80	68.10
780	74.00	79.30	72.40	72.20	66.90
810	72.50	78.00	71.30	71.10	65.40
840	71.20	76.40	69.90	69.80	64.20

ตาราง ข.6 ข้อมูลการทดลองหาจุดหลอมเหลวโดยวิธีการกราฟการเย็นตัวของ เทียนไขชนิดไม่หวังผลสีเหลือง

การทดลองที่	1	2	3	4	5
เวลา(วินาที)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)
30	81.60	80.80	82.30	81.10	81.70
60	79.70	79.00	80.50	79.20	79.70
90	78.00	77.00	78.50	77.30	77.90
120	76.20	75.30	76.80	75.80	76.00
150	74.50	73.80	75.10	74.50	74.30
180	73.00	72.30	73.70	73.40	73.00
210	71.70	71.00	72.20	72.10	71.80
240	70.20	69.60	70.90	71.00	70.60
270	68.80	68.30	69.50	69.70	69.40
300	67.50	67.00	68.20	68.20	68.00
330	66.00	66.00	66.00	67.00	66.50
360	64.70	64.80	65.70	65.70	65.30
390	63.20	63.30	64.20	64.00	64.00
420	61.50	62.30	62.70	62.80	62.80
450	60.80	61.20	62.00	61.50	61.70
480	59.80	60.10	61.00	60.30	60.60
510	58.90	59.00	60.00	59.40	59.60
540	57.90	58.10	58.90	58.50	58.80
570	57.00	57.80	58.10	57.10	58.00
600	56.20	57.00	57.50	56.70	57.20
630	55.70	56.20	57.00	55.90	56.80
660	55.30	55.80	56.30	55.50	56.10
690	54.90	55.40	56.00	55.20	55.40
720	54.50	55.10	55.50	55.00	55.20
750	54.30	54.90	55.20	54.80	55.00
780	54.20	54.70	54.90	54.50	54.80
810	54.20	54.60	54.70	54.30	54.50
840	54.10	54.50	54.50	54.20	54.50
870	54.10	54.40	54.40	54.10	54.50

ตาราง ข.7 ข้อมูลการทดลองหาจุดหลอมเหลวโดยวิธีกราฟการเย็นตัวของ เทียนไขชนิดไม่หวังผลสีส้ม

การทดลองที่	1	2	3	4	5
เวลา(วินาที)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)
30	86.50	72.90	81.50	80.50	81.00
60	84.40	71.30	79.70	78.80	78.60
90	82.00	69.90	75.90	76.60	76.50
120	79.80	68.20	73.50	74.70	74.80
150	77.90	66.80	71.90	72.80	71.20
180	76.00	65.40	69.90	71.20	69.50
210	74.30	64.20	68.40	69.80	68.00
240	72.60	63.10	67.00	68.30	66.60
270	71.00	62.20	65.70	67.00	65.20
300	69.80	61.50	64.50	65.90	64.20
330	68.00	61.00	63.40	64.90	63.10
360	66.50	60.50	62.60	63.90	62.30
390	65.30	60.00	61.90	62.80	61.50
420	64.10	59.70	61.20	62.00	60.60
450	63.10	59.40	60.50	61.40	60.30
480	62.20	59.00	60.00	60.90	59.70
510	61.40	58.90	59.70	60.10	59.50
540	60.80	58.70	59.30	59.90	59.10
570	60.20	58.60	58.90	59.60	58.90
600	59.40	58.40	58.80	59.40	58.60
630	59.10	58.50	58.80	59.30	58.60
660	58.90	58.50	58.70	59.00	58.50
690	58.80	58.40	58.80	58.90	58.50
720	58.70	58.40	58.80	58.90	58.50
750	58.50	58.40	58.80	58.90	58.40
780	58.50	58.30	58.80	58.80	58.40
810	58.40	58.20	58.70	58.70	58.30
840	58.40	58.20	58.60	58.80	58.20

ตาราง ข.8 ข้อมูลการทดลองหาจุดหลอมเหลวโดยวิธีกราฟการเย็นตัวของ เทียนไขชนิดหวังผลสีแดง

การทดลองที่	1	2	3	4	5
เวลา(วินาที)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)
30	76.10	74.20	76.20	73.80	75.30
60	74.60	72.90	74.70	72.60	74.00
90	73.20	71.60	73.40	71.20	72.60
120	71.80	70.40	72.00	70.00	71.40
150	70.50	69.20	70.70	68.80	70.20
180	69.40	68.00	69.50	67.20	69.10
210	68.00	66.80	68.20	66.60	68.00
240	66.90	65.60	67.10	65.60	67.00
270	65.80	64.60	66.90	64.70	65.90
300	64.90	63.60	64.90	63.80	65.00
330	63.80	62.90	63.90	63.00	64.10
360	63.00	62.20	63.00	62.20	63.40
390	62.10	61.60	62.20	61.70	62.20
420	61.50	61.00	61.50	61.00	62.10
450	60.90	60.60	60.90	60.50	61.50
480	60.30	60.10	60.40	60.10	60.50
510	59.90	59.90	60.00	59.80	60.20
540	59.50	59.60	59.60	59.60	60.00
570	59.20	59.40	59.40	59.20	59.70
600	58.90	59.10	59.00	59.00	59.50
630	58.80	59.00	58.90	58.90	59.20
660	58.70	58.90	58.80	58.70	59.00
690	58.60	58.80	58.60	58.70	58.90
720	58.60	58.80	58.60	58.60	58.80
750	58.50	58.80	58.50	58.60	58.70
780	58.50	58.80	58.50	58.60	58.70
810	58.50	58.70	58.50	58.60	58.70
840	58.50	58.60	58.50	58.60	58.70

ตาราง ข.9 ข้อมูลการทดลองหาจุดหลอมเหลวโดยวิธีการกราฟการเย็นตัวของ เทียนไขชนิดหัวผดสีขาว

การทดลองที่	1	2	3	4	5
เวลา (วินาที)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)
30	74.30	71.40	74.50	73.10	73.00
60	72.80	70.00	73.00	71.90	71.60
90	71.40	68.90	71.80	70.60	70.20
120	70.00	67.60	70.60	69.50	69.50
150	68.90	66.50	69.50	68.30	68.40
180	67.70	65.50	68.30	67.10	67.20
210	66.60	64.50	67.20	66.00	66.10
240	65.40	63.50	66.30	65.10	65.20
270	64.50	62.80	65.30	64.30	64.30
300	63.50	62.10	64.50	63.40	63.50
330	62.90	61.50	63.60	62.70	62.70
360	62.10	61.00	62.90	62.00	62.20
390	61.60	60.40	62.20	61.60	61.70
420	61.00	60.00	61.60	61.00	61.10
450	60.50	59.80	61.10	60.50	60.70
480	60.00	59.30	60.60	60.10	60.30
510	59.70	59.10	60.20	59.70	60.00
540	59.40	58.90	60.00	59.60	59.70
570	59.10	58.80	59.70	59.30	59.50
600	59.00	58.70	59.40	59.00	59.30
630	58.80	58.70	59.20	58.90	59.00
660	58.70	58.60	59.00	58.90	58.90
690	58.60	58.60	58.90	58.70	58.80
720	58.60	58.60	58.80	58.70	58.70
750	58.60	58.60	58.80	58.70	58.70
780	58.60	58.60	58.80	58.70	58.70
810	58.60	58.50	58.80	58.70	58.70
840	58.60	58.50	58.80	58.70	58.70